ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ім В.С. МАРТИНОВСЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА НАФТОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МАТЕРІАЛИ

XVI Всеукраїнської науково-технічної конференції

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕКОЛОГІЇ

5-7 жовтня 2016 року, м. Одеса

НТБ ОНАХТ

ОДЕСА

2016

УДК 621
ББК 31:20.1
А 43

Копіювання, сканування, запис на електронні носії та тому подібне книжки в цілому або будь-якої її частини заборонені

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова:

Єгоров Богдан Вікторович – ректор Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., професор.

Замісники:

Поварова Наталія Миколаївна – проректор з наукової роботи Одеської національної академії харчових технологій, к.т.н., доцент,

Косой Борис Володимирович – директор Навчально-наукового інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., професор.

Члени оргкомітету:

Артеменко С.В.	**Котлик С.В.**	**Роженцев А.В.**
Бошкова І.Л.	**Крусір Г.В.**	**Сагала Т.А.**
Бошков Л.З.	**Мазур В.О.**	**Семенюк Ю.В.**
Василів О.Б.	**Мазур О.В.**	**Смирнов Г.Ф.**
Гоголь М.І.	**Мілованов В.І.**	**Тітлов О.С.**
Дьяченко Т.В.	**Морозюк Л.І.**	**Шпирко Т.В.**
Желєзний В.П.	**Нікулина А.В.**	**Хлієва О.Я.**
Зацеркляний М.М.	**Ольшевська О.В.**	**Хмельнюк М.Г.**
Князєва Н.О.	**Плотніков В.М.**	**Хобин В.А.**
Кологривов М.М.	**Роганков В.Б.**	**Цикало А.Л.**

Відповідальний за випуск: Тітлов О.С., завідувач кафедри теплоенергетики та трубопровідного транспорту енергоносіїв

Мова видання: українська, російська, англійська

За достовірність інформації відповідає автор публікації

Рекомендовано до друку Радою факультету прикладної екології, енергетики та нафтогазових технологій, протокол № 2 від 21 вересня 2016 року.

А 43 **Актуальні проблеми енергетики та екології** / Матеріали XVI Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Херсон: ФОП Грінь Д.С., 2016. – 312 с.

ББК 31:20.1

ISBN 978-966-930-137-6

© Одеська національна академія харчових технологій
© Факультет прикладної екології, енергетики та нафтогазових технологій

НТБОНАХТ

СЕКЦІЯ 1:

НЕТРАДИЦІЙНІ І ПОНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

ТЕПЛОВІ НАСОСИ ТА ТЕПЛОВИКОРИСТОВУЮЧІ ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ І АГРЕГАТИ

НТБ ОНАХТ

УДК 662.995

СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕПЛОВОГО НАСОСА ТА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ҐРУНТОВОГО КОЛЕКТОРА

Басок Б.І., чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, професор, Недбайло О.М., канд. техн. наук, Ткаченко М.В., канд. техн. наук, Божко І.К.
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

Анотація. В статті розглянута система опалення на основі теплового насоса та горизонтального ґрунтового колектора, що розроблена в Інституті технічної теплофізики НАН України. Авторами приводиться детальний опис режимів роботи систем опалення та пасивного кондиціювання. Обґрунтовується доцільність широкого впровадження таких систем при теплопостачанні адміністративних будівель.
Ключові слова: *тепловий насос, ґрунтовий колектор, система опалення, пасивне кондиціювання.*

Abstract. In the article the heating system based on heat pumps and horizontal ground collector, developed by the Institute of Engineering Thermophysics, NAS of Ukraine is reviewed . The authors provided a detailed description of the mode of passive heating and air conditioning. The expediency of the widespread introduction of district heating systems in public buildings.
Keywords: *heat pump, soil collector, heating, passive air conditioning.*

Одним з найбільш важливих напрямків енергетики є раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів (копалин органічної сировини у вигляді нафти, природного газу, кам'яного вугілля), запаси яких з кожним роком зменшуються. Серйозну проблему представляють негативні екологічні наслідки спалювання традиційних видів палива, які згубно впливають на навколишнє середовище. Перераховані вище обставини, а також нестабільна ситуація із природним газом, різкі й постійні темпи росту світових цін на нафту й нафтопродукти, а також безліч інших факторів призводять до складних економічних проблем в Україні та змушують до неминучого пошуку нетрадиційних джерел енергії, застосуванню нових енергозберігаючих технологій і максимальному використанню власних енергоресурсів.

Одним з альтернативних джерел невичерпної теплоти є ґрунт, що має здатність протягом тривалого часу акумулювати й зберігати сонячну теплову енергію. Вилучення та подальше використання даної природної теплоти для теплопостачання приміщень базується на застосуванні теплонасосних технологій і реалізується, як один з варіантів, за допомогою ґрунтових колекторів (горизонтальних теплообмінників неглибокого залягання) або ґрунтових зондів (теплообмінників вертикального розташування).

Забезпечення теплопостачання житлових і виробничих приміщень на основі енергетичних технологій з використанням теплових насосів є одним з напрямків світової відновлюваної енергетики, що найбільш динамічно розвиваються. Щорічний приріст кількості таких систем, що встановлені майже в тридцяти країнах світу, оцінюється в 10 %.

Виходячи з цього, колективом виконавців відділу ТОЕТ Інституту технічної теплофізики НАН України було поставлено за мету розробку і створення експериментальної установки на сонові теплового насоса та горизонтального ґрунтового колектора, яка дозволила б здійснювати опалення та кондиціювання лабораторного приміщення площею 18 м^2.

Будівництво експериментальної установки здійснювалось за наступними основними етапами:

1) розпланування та розмітка місцевості для будівництва ґрунтового колектору (рис. 1);

2) земляні роботи: копання траншей та закладення труб ґрунтового колектора;

3) оснащення об'єкта датчиками для вимірювання температури;

4) установка теплового насосу в приміщенні лабораторії теплових насосів (кімната 110 першого адміністративного корпусу ІТТФ НАН України);

5) монтаж системи опалення типу водяна „тепла підлога" приміщення загальною площею 18 м^2 (кімната 110);

6) установка систем повітряного опалення (кондиціювання) на базі фанкойлів у відповідних приміщеннях першого адміністративного корпусу ІТТФ НАН України (у кімнаті 110 та виставковому залі);

7) монтаж гідравлічної систем підключення теплового насоса згідно відповідної схеми (рис. 2).

Заздалегідь (перед установкою датчиків у траншеї та свердловини) було проведено їх маркування за попередньо розробленим проектом «Маркування термоперетворювачів опору типу ТСМ-205, розташованих на об'єкті ґрунтового колектора» (рис. 1), відповідно до якого: В, С – вертикаль і стовпчик (розташовуються на стійках і встановлюються в свердловинах), Г – горизонталь (встановлюються на глибині 0,4 м від

поверхні ґрунту на бокових стінках траншеї), Т – перша петля (кріпляться хомутами на зовнішню поверхню трубопроводів першої петлі ГК), А – розріз А-А (встановлюються перпендикулярно до першої траншеї на рівні розміщення труби й на відстані близько 4 м від початку траншеї №1), ВХ – вхід у першу петлю (кріпляться хомутами на зовнішню поверхню трубопроводу ГК), БИВ, АИВ – виходи із усього теплообмінника-колектора (безпосередньо кріпляться хомутами на зовнішній поверхні труби), Р – резерв (датчик для виміру температури повітря над ГК).

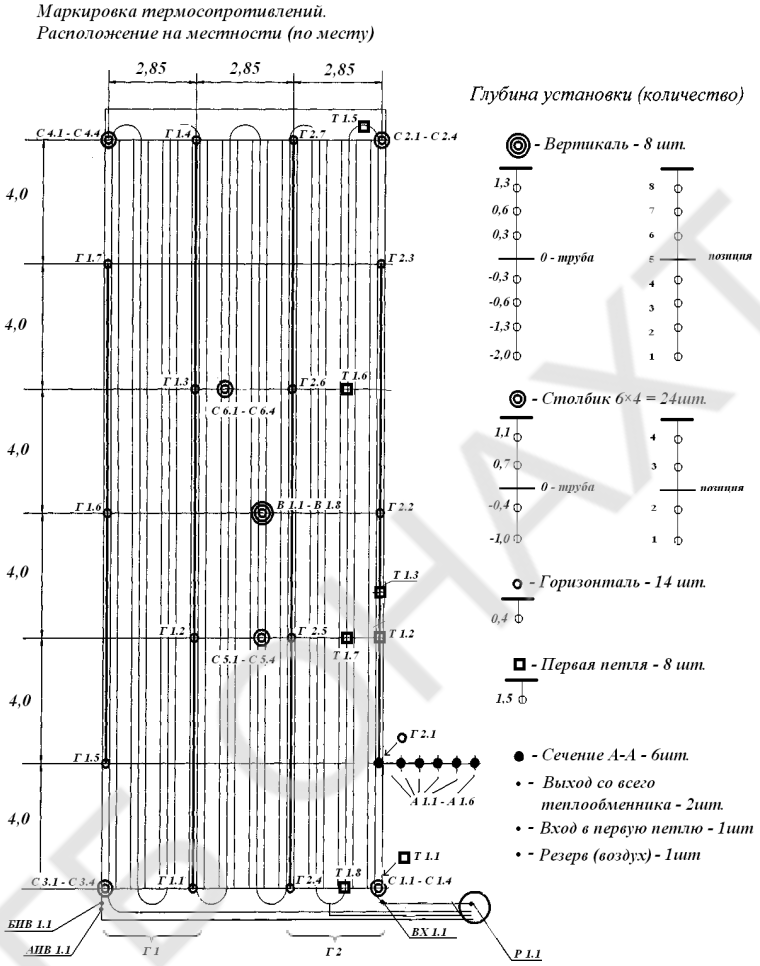


Рис.1. – Маркування і розташування датчиків типу ТСМ-205 на об'єкті ґрунтового колектора.

Принципова схема та опис роботи теплонасосної установки.

Схема гідравлічного підключення теплового насоса 1 представлена на рис. 2. У холодний період року схема дозволяє застосовувати його для водяного 3 (зустрічноспрямований змійовик із труби Рех 16×3 мм – система типу водяна «тепла підлога») або повітряного опалення 4 (1 фанкойл тепловою потужністю 3,8 кВт), і гарячого водопостачання окремого лабораторного приміщення площею 18 м^2, одночасно з повітряним опаленням 5 (2 фанкойла сумарною тепловою потужністю 7,6 кВт) адміністративного приміщення площею 54 м^2, а також для кондиціювання останнього за допомогою фанкойлів у теплий період року.

Циркуляція теплоносія в контурі повітряного опалення здійснюється насосом 6 Wilo Star RS 15/6. Можливість кондиціювання в схемі реалізується за допомогою гідравлічного відокремлення контурів ґрунтового колектора та повітряних опалювальних приладів пластинчастим теплообмінником 2 SWEP E6TH. Компресор теплового насосу при цьому не працює, а вбудований циркуляційний насос виконує перекачку теплоносія у ґрунтовому колекторі. При цьому відбувається скидання теплоти в ґрунт, тим самим відновлюючи його тепловий режим. Компенсаційна ємність 7 необхідна для накопичення теплоносія при заповненні контурів опалення (кондиціювання), а також як буфер при теплообміні з конденсатором теплового насоса. Розширювальні мембранні баки 8 дозволяють компенсувати об'ємне термічне

розширення теплоносіїв у відповідних контурах. Схема містить редуктор 9, що знижує тиск живильної води, теплові лічильники 10 (3 Apator LQM-III в опалювальних контурах, витратомір Balteco КХ10 гарячої води, тепловодолічильник Х12 у контурі ГК), розширювальні баки 11 контуру горизонтального ґрунтового теплообмінника, а також манометри і безконтактні термометри на трубопроводах подачі та відведення теплоносія.

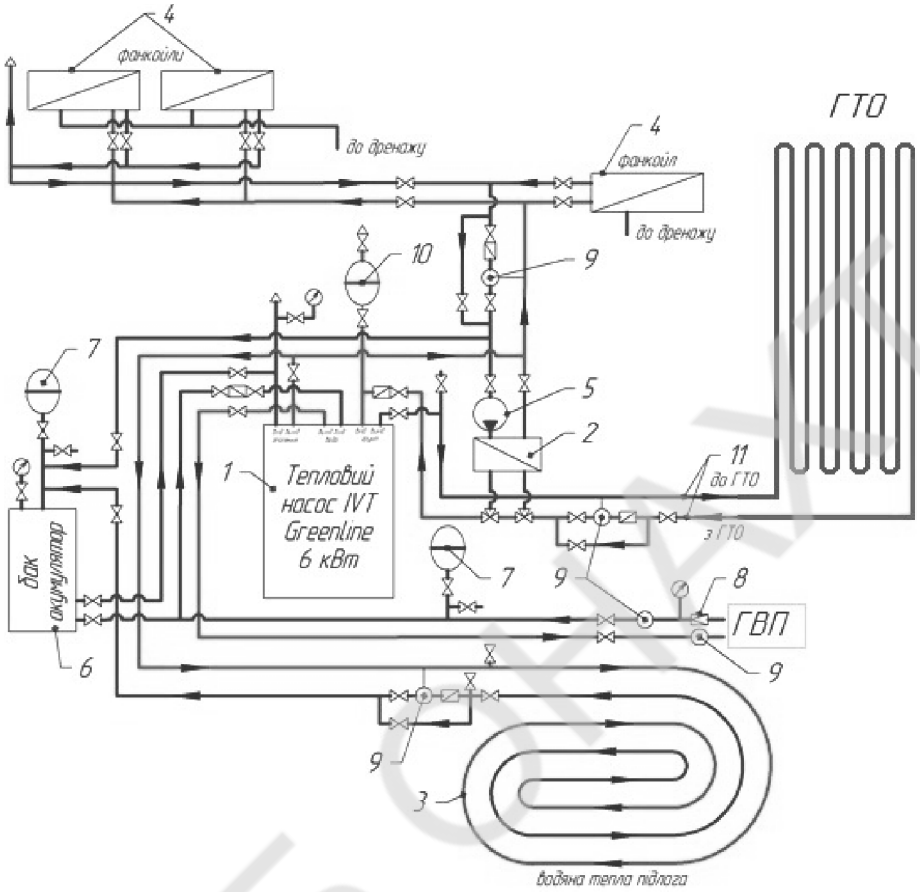


Рис. 2 – Гідравлічна схема підключення теплового насоса, тут: 1 – тепловий насос; 2 – пластинчатий теплообмінник; 3 – система опалення типу водяна «тепла підлога»; 4,5 – система повітряного опалення (кондиціювання) на базі фанкойлів; 6 – насос; 7 – компенсаційна ємність; 8 – розширювальний мембранний бак; 9 – редуктор; 10 – лічильники; 11 – розширювальні бачки контуру ГК; ГТО – контур ґрунтового колектора; ГВП – гаряче водопостачання.

Висновки

Результати досліджень системи опалення на основі теплового насоса та горизонтального ґрунтового колектора показують, що при використанні такої системи у громадських будівлях різного призначення можлива економія теплової енергії на теплопостачання (у порівнянні з централізованим теплопостачанням) складає 14 – 18%. При цьому, значно підвищується якість роботи системи опалення, оскільки відбувається регулювання роботи теплового насоса не за температурою навколишнього повітря, а за температурою всередині приміщення.

Література

1. *Васильев Г. П., Шилкин Н. В.* Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах // АВОК. 2003. №2. С. 52 – 60.
2. *Накорчевский А.И., Басок Б.И.* Оптимальная конструкция грунтовых теплообменников // Промышленная теплотехника. 2005. Т.27, № 6. С. 27 – 31.
3. *Басок Б.И., Давыденко Б.В., Лунина А.О., и др.* Опытно-промышленная установка для автономного отопления, кондиционирования и горячего водоснабжения зданий с использованием тепловых насосов. Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Энергоэффективность - 2010». Киев, 2010. С. 147 – 148.
4. *Лунина А.А., Беляева Т.Г., Хибина М.А., и др.* Экспериментальная теплонасосная установка с

грунтовым коллектором для автономного теплоснабжения и кондиционирования // Промышленная теплотехника. 2009. Т. 31, № 7. С. 25 – 31.

УДК 620.92:631.572:662.63

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА УТВОРЕННЯ ПАЛИВНИХ ПЕЛЕТ, ЩО ВМІЩУЮТЬ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ (ПЕТФ)

Клименко В.В., д-р техн. наук, проф., Кравченко В. І., канд. техн. наук,
Личук М.В., канд. фіз.-мат. наук, Солдатенко В.П.
Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький

Експериментально встановлено, що з композиту зі складом «солома+відходи ПЕТФ» при певному тиску утворюються пелети задовільної якості та з максимальною щільністю 0,82 г/см^3 при вмісті ПЕТФ 10% , яка зменшується до 0,72 г/см^3 при вмісті ПЕТФ 30%; з композиту «рослинні відходи+буре вугілля» утворюються пелети задовільної якості, щільність яких при підвищенні вмісту бурого вугілля від 5% до 50 % збільшуються від 0, 95 г/см^3 до 1,09 г/см^3.

***Ключові слова**: біопаливо, пелети, брикети, рослинні відходи, ПЕТФ, буре вугілля, композити, матриця, пуансон, пресування, щільність, твердість.*

The experimental evaluation of solid biofuel manufacturing of composites based on recycling the press with vertical punch.

Found that a composite with the composition «straw + PET» at a pressure of 298 MPa pellets produced satisfactory quality and maximum density of 0,82 g/cm^3 at PET content 10%, which rensity is deduced to 0,72 g/cm^3 in pellets containing PET 30%; «vegetable waste + brown coal » composite pellets produced in satisfactory quality, where density increase from 0,95 g/cm^3 to 1,09 g/cm^3 (with increasing content of brown coal from 5% to 50%).

***Key words:** biofuels, pellets, briquettes, vegetable waste, PET, brown coal, composites, matrix, punch, pressing, density, hardness*

Одним з відновлюваних видів енергоресурсів, які створюються на основі великої кількості твердих рослинних відходів є біопаливо у вигляді пелет та брикетів. Разом з тим, необхідність застосування в енергетиці місцевих видів палива та велика кількість побутових відходів вимагає ефективної їх переробки і використання.

Підвищити ефективність використання різних видів твердих рослинних відходів для виробництва біопалива можна шляхом попереднього їх змішування та приготування композитів, що включають інші види відходів, наприклад, поліетилентерефталат (ПЕТФ) та місцеві види палива [1].

При створенні біопалива з композитів, компоненти яких мають суттєво різні фізико-механічні характеристиках, зокрема модулі Пуассона μ та Юнга Е, що можуть відрізнятися в декілька разів [2,3], потрібно оцінити умови, які необхідно забезпечувати для виготовлення доброякісних пелет та обґрунтувати вибір доцільного пресового обладнання.

Експериментальні дослідження по виготовленню пелет та брикетів з рослинної сировини, наприклад соломи, лушпиння соняшнику, тирси тощо, показує, що на їх якість впливають фізико-механічні характеристики біосировини, її вологість, фракційний склад, створюваний на неї тиск, геометричні розміри матриці або камери пресування та шорсткість бічної поверхні [4]. На сьогодні з літературних джерел не можна зробити однозначний висновок про величини оптимальних значень цих параметрів для сировини з різних рослинних відходів. Тому задача їх визначення для сировини, яка складається з композитів, значно ускладнюється.

Метою дослідження є експериментальна оцінка особливостей виготовлення якісного твердого біопалива з композитів на основі рослинних відходів на пресі з вертикальним пуансоном.

Для експериментальних досліджень процесу утворення паливних пелет з композитів, використовувалась універсальна випробувальна машина УВМ-50 зі спеціально виготовленим пресовим пристроєм, внутрішній діаметр матриці якого становить 27 мм.

Для експериментів використовувалась сировина рослинних відходів у вигляді соломи, тирси, опалого листя дубу, а також подрібнені відходи ПЕТФ (матеріал з використаних пляшок, товщина δ = 0,5 мм) та буре вугілля Олександрійського родовища. Фракційний склад сировини наведено в табл. 1.

Процес виготовлення біопалива здійснювався наступним чином. В матрицю пресового пристрою, встановленій в робочій частині випробувальної машини, спочатку завантажувались рослинні відходи або суміш на їх основі, приготовлена окремо. Потім в неї встановлювався пуансон, включалася машина УВМ-50 і відбувалось стискання сировини пуансоном з фіксацією значень зусилля пресування. Після досягнення планованого тиску пресування сировини і утворення сформованого зразка біопалива, навантаження знімалось, зразок виймався і визначались його щільність та міцність, досліджувалися фрактографії поверхні.

Таблиця 1 – Фракційний склад сировини, що використовувалась в експериментах

Сировина	Солома	Тирса	Опале листя дубу	ПЕТФ	Буре вугілля
Фракційний склад, мм	1…4	0,1…1,0	0,1…1,0	2…6	0,1…1,0 (80%) 1,0…3,0 (10%) 3,0…5,0 (10%)

Результати експериментів показали, що в пресовому пристрої з вертикальним пуансоном при застосуванні композиту «солома+ПЕТФ» при тиску 298,2 МПа утворюються зразки біопалива задовільної якості зі щільністю 0,82 г/см^3 з вмістом ПЕТФ 10%. Підвищення вмісту останнього у композиті до 30%, знижує щільність пелет до 0,72 г/см^3 і погіршує структуру їх поверхонь (рис. 1).

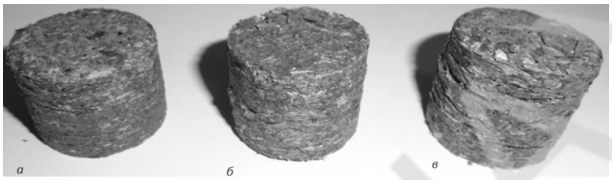


Рис. 1 – Зразки пелет з соломи і ПЕТФ (d=27 мм, h=20-25 мм) з вмістом останнього: а – 10%; б – 20%; в – 30%

Збільшення вмісту бурого вугілля від 5 до 50 % в суміші з соломою при пресуванні з тиском 298,2 МПа підвищує щільність пелет від 0,98 до 1,09 г/см^3. Аналогічне покращення фізико-механічних характеристик пелет було одержано при їх виготовленні з композиту рослинних відходів «солома + тирса + опале листя дубу + буре вугілля». В цьому випадку підвищення вмісту бурого вугілля з 5 до 25 %, сприяло збільшенню щільності пелет від 0,96 до 1,01 г/см^3 при такому ж тиску пресування.

При пресуванні біосировини, що складалась з соломи, а також сумішей: «тирса + солома», «солома + тирса + листя дубу» (вологість сировинних матеріалів знаходилась в межах 9…10%) при тиску 263,2 МПа, утворюються зразки біопалива задовільної якості зі щільністю 1,0 г/см^3, що відповідає вимогам, наприклад, стандартів ФРН, Швеції [5] та середньою твердістю по НВ 2,55 кгс/мм^2 (25,0 МПа).

Висновки

З композиту зі складом «солома+відходи ПЕТФ» можна утворювати пелети задовільної якості зі щільністю 0,72÷0,82 г/см3 при відповідному вмісті ПЕТФ 30% ÷ 10%; з композиту «рослинні відходи+буре вугілля» утворюються пелети з задовільними фізико-механічними характеристиками, щільність яких при вмісті бурого вугілля від 30% до 50 % відповідає європейським стандартам.

Література

1. Dian Andrianiaand Tinton Dwi Atmaja. Alternative mixing scenarios and pretreatment manner to optimize wood fuel pellet. International Conferenceon Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA) Inna Garuda Hotel, Yogyakarta, Indonesia, 6 – 7 November 2012, P. 21-26.
2. Штефан Є.В. Дослідження структурно-механічних властивостей дисперсних матеріалів рослинного походження. / Є.В. Штефан, Д.В. Риндюк, О.В. Таран // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Випуск 10 т. 1 (58). – Вінниця: 2012. – С. 181-185.
3. Основные типы сложных полиэфиров или аналогов ПЭТ материала. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.e-plastic.ru/spravochnik/materiali/pet
4. Блюм Я.Б. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія/Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григорюк, В.О. Дубровін, А.І. Ємець, Г.М. Забарний та ін. – К: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 С.
5. P. Židková, O. Obdržálek, L. Kovář. The pelletising proces: the aspects that influence denstity of wood pellets. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Řada strojní. 2011. Roč. 57, č. 1, PP. 283-289.

УДК 621.577

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УКРАИНЫ

Стоянов П.Ф., канд. техн. наук, ст. преподаватель, Лагутин А.Е., д-р техн. наук, профессор
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Работа посвящена анализу характеристик грунтовых тепловых насосов. Определены факторы, которые влияют на энергетическую эффективность, оценены особенности работы грунтовых тепловых насосов для климатических условий города Одесса. Рассмотрены особенности проектирования геотермальных тепловых насосов.

Ключевые слова: *Тепловой насос – Низкопотенциальное тепло – Температура – Тепловой поток – Эффективность.*

Истощение запасов ископаемых энергоносителей, а также возрастающие темпы их потребления повышают актуальность применения тепловых насосов. Потенциал геотермальной энергии, а, следовательно, использования грунтовых тепловых насосов, колоссальный. Принцип действия теплового насоса впервые был изложен в диссертации Сади Карно в 1824 г., а практическое схемное решение в свою очередь было уже предложено Вильямом Томпсоном (впоследствии - лорд Кельвин) в 1852 г. Впоследствии в 1912 г. в Швейцарии был выдан патент на технологию тепловых насосов. Широкое распространение использования тепловых насосов в различных сферах промышленности позволяет на сегодняшний день решать многочисленные задачи, такие как, горячее водоснабжение, отопление объектов, использование в различных технологических процессах. Мировой энергетический комитет прогнозирует, что в развитых странах к 2020 году тепловые насосы будут обеспечивать порядка 75% потребностей отопления и горячего водоснабжения. Одним из основных показателей устойчивого развития государства является степень автономности его энергетического комплекса. Учитывая, что для Украины характерен значительный импорт углеводородов, идея повсеместного внедрения повышающих термотрансформаторов звучит более чем актуально. Применение тепловых насосов позволяет решить как энергетические вопросы, так и улучшить экологическое состояние окружающей среды. Характерной отличительной особенностью тепловых насосов от электрических, газовых либо дизельных генераторов тепловой энергии является то, что в процессе производства тепла до 80% энергии извлекается из окружающей среды либо источников бросовой теплоты.

За последние годы в Украине отмечается существенное повышение динамики внедрения тепловых насосов в жилищно-коммунальном секторе. Однако, потенциал тепловых насосов еще достаточно мало практически применяется на крупных промышленных предприятиях. Это связано, прежде всего, с достаточно большими первоначальными капиталовложения, а также низкими тарифами на энергоносители, по сравнению, например, со странами Европейского союза.

Украина потребляет огромное количество энергии на отопление, поэтому рассмотрение опыта широкого внедрения тепловых насосов странами Северной Европы звучит более чем актуально. В случае широкого внедрения тепловых насосов также значительно сокращаются выбросы в атмосферу CO_2, канцерогенных соединений образуемых при сгорании полезных ископаемых. Целью данной работы является анализ характеристик и возможностей применения грунтовых тепловых насосов для климатических условий Украины.

В качестве низкопотенциального источника тепла (НПИТ) возможно использование: вытяжного воздуха, наружного воздуха, грунта, сточных вод, подземных вод, поверхностных вод (озера, моря) и т.д. Оптимальный вариант источника НПИТ определяется в ходе анализа градостроительных условий расположения проектируемых объектов, архитектурно-планировочных решений и конструктивных параметров.

Одним из постоянных источников возобновляемой энергии для теплового насоса является грунт. При проектировании геотермальных тепловых насосов возможно использование вертикальных и горизонтальных грунтовых теплообменников. Распространено мнение, что температура грунта в течение года незначительно изменяется. На рисунке 1 представлен характер изменение температуры грунта в зависимости от глубины и месяца года.

По данным Одесской геофизической обсерватории изменение температуры грунта на различной глубине представлено на рисунке 2 [1]. Анализ рисунка 2 позволяет сделать вывод, что температура грунта на глубине порядка 4 м постоянна в течение года.

Для условий г.Брюссель в литературе [2] имеются экспериментальные данные, исходя из которых изменения температуры в грунте на протяжении года довольно существенны и даже на глубине 1 м зимой температура приближается к 0 °С (рисунок 3). Характер изменения изотерм по глубине грунта на рисунках 2 и 3 хорошо согласуется. Это позволяет распространять закономерность, изображенную на рисунке 3, на грунты Причерноморского региона Украины. Исследования показывают, что температура грунта по глубине зависит главным образом от типа грунта (песок, глина, гравий и т.д.) и его влажности. Все эти особенности необходимо учитывать в стадии проектирования геотермального теплового насоса.

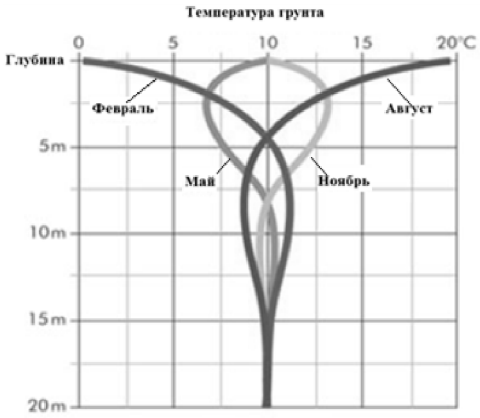


Рис. 1 – Характер изменения температуры грунта по глубине в зависимости от месяца года

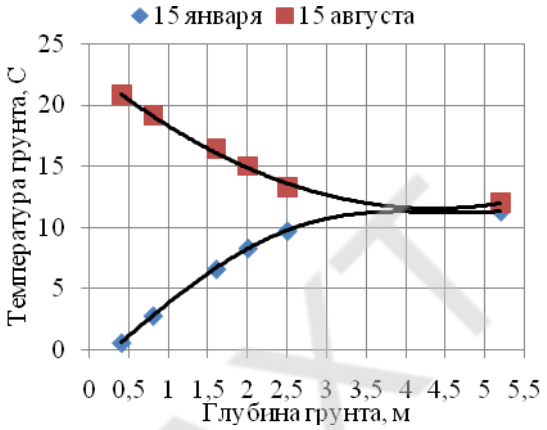


Рис. 2 - Изменение температуры в грунте по глубине (г. Одесса)

Контур горизонтального грунтового коллектора теплового насоса на практике располагается на глубине 1,2-1,5 м [4]. Глубина закладки горизонтальных коллекторов лежит в пределах существенного изменения температуры грунта в течение года (рисунок 3), поэтому следует учитывать существенное изменение производительности геотермального теплового насоса. Более глубокая закладка в грунт коллекторов приводит к неоправданному повышению строительных расходов и используется для регионов с более холодным и продолжительным зимним периодом. Для эффективной регенерации грунта участки земли, под которыми проложены горизонтальные коллектора теплового насоса должны быть минимально застроены и хорошо освещены. Таким образом обеспечивается подготовка грунта к началу отопительного сезоны и эффективная работа термотрансформатора. Теплосъем грунтовых горизонтальных теплообменников зависит от типа грунта, его влагосодержания и климатической зоны, в которой располагается объект. Теплоотдача различных грунтов представлена в таблице 1 [4].

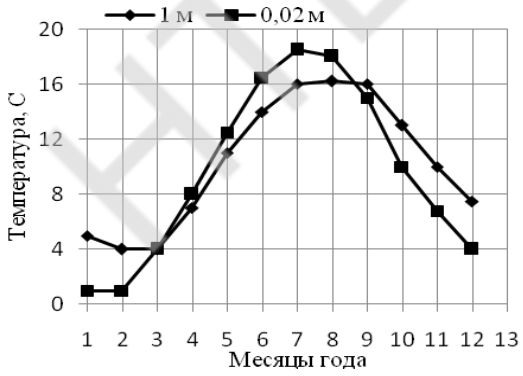


Рис. 3 – Изменение температуры в грунте в течение года (г.Брюссель)

Таблица 1 - Теплоотдача различных грунтов

Тип грунта	Удельный тепловой поток, Вт/м^2
Сухой песчаный грунт	10-15
Сырой песчаный грунт	15-20
Сухая глинистая почва	20-25
Сырая глинистая почва	25-30
Насыщення грунтовыми водами почва	30-35

Основным недостатком при использовании горизонтальных грунтовых коллекторов является масштаб необходимых земляных работ. Использование вертикальных тепловых зондов по сравнению с горизонтальными коллекторами позволяет уменьшить требуемую поверхность грунта для геотермального теплового насоса в 10-20 раз [5]. При прокладке коллекторов также следует учитывать тот фактор, что возможна ситуация частичного обмерзания трубок грунтового теплообменника, что не оказывает существенного влияния на регенерацию грунта. Однако, пагубно действует на корневые системы растений и деревьев.

Вертикальные грунтовые тепловые зонды термотрансформаторов устанавливаются путем бурения скважин на глубину порядка 50-200 м. В зависимости от типа грунтов удельный тепловой поток существенно изменяется. В таблице 2 приведены значения удельного теплового потока для вертикальных грунтовых тепловых зондов в зависимости от типа грунта [3]. Рекомендуется располагать горизонтальные зонды на растоянии друг от друга не менее 5-6 м.

Таблица 2 - Зависимость удельного теплового потока для вертикальных грунтовых тепловых зондов в зависимости от типа грунта

Тип грунта	Удельный тепловой поток, Вт/м
Сухой песчаный грунт	20
Сырой песчаный грунт	40
Влажный каменистый грунт	60
Водоносные слои грунта (содержащие гравий)	80-100

Выводы

В настоящей работе проведен анализ особенностей работы грунтового теплового насоса, определены факторы, оказывающее наибольшее влияние на энергетическую эффективность системы. Проанализирован температурный уровень работы грунтового теплообменника повышающего термотрансформатора при условии его эксплуатации в г. Одесса. Выявлено, что стандартная глубина закладки горизонтальных коллекторов геотермального теплового насоса не оптимальна с точки зрения поддержания стационарного температурного поля в толще грунта в течение года. Этот фактор оказывает существенное влияние на работу термотрансформатора. В открытых источниках содержатся ограниченные корректные экспериментальные данные относительно долговременной эксплуатации геотермальных тепловых насосов, надежности данных систем при условии их длительной эксплуатации, эффективного периода регенерации тепла грунта вокруг грунтового теплообменника.

Литература

1. Мартыновский В.С. Тепловые насосы: Государственное энергетическое издательство. - Москва-Ленинград, 1955. - 191 с.
2. Godard O. and Poppe H. Temperatures in the soil in Belgium and in Luxembourg/ Bulletin of the Belgian Society of Astronomy, Meteorology anr Earth Sciences, Vol.76, №9-10, Sept/Oct. 1963. (In French).
3. В.Г.Горшков Тепловые насосы. Аналитический обзор/ Справочник промышленного оборудования, №2, 2004, с.47-80
4. Руководство по проектированию. Тепловые насосы // Viessmann Werke GmbH &Co,2011, 125 с.
5. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. - М.: Энергоиздат, 1982. - 224 с., ил.

ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ПАРИ СИСТЕМ ВИПАРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ДОМЕННИХ ПЕЧЕЙ

Кошельнік О.В., канд. техн. наук, доцент
Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна

Сутність системи випарного охолодження (СВО) полягає у використанні прихованої теплоти пароутворення води для відводу тепла від охолоджуваних деталей металургійних печей. Прихована теплота пароутворення води при атмосферному тиску становить приблизно 2260 кДж/кг. При переході на випарне охолодження витрата води скорочується в 60 − 100 разів залежно від конструктивних й експлуатаційних характеристик системи в порівнянні з проточною схемою.

Водяна пара СВО доменних печей може бути використана для виробництва електричної енергії безпосередньо в електрогенераторах, так і в двоконтурних схемах із нетрадиційним робочим тілом. У

випадку, коли відсутні споживачі тепла, що забезпечують повне використання пари СВО на протязі всього року, доцільно розглянути питання ефективності вироблення електричної енергії. Використання водяної пари з температурою $t_н$ = 110 – 130 °С як джерела теплової енергії для водневого термосорбційного компресора може зробити роботу цієї схеми досить ефективною. На рисунку 1 представлена схема двоконтурної водневої силової установки для утилізації низькопотенційної пари системи випарного охолодження металургійного агрегату (МА).

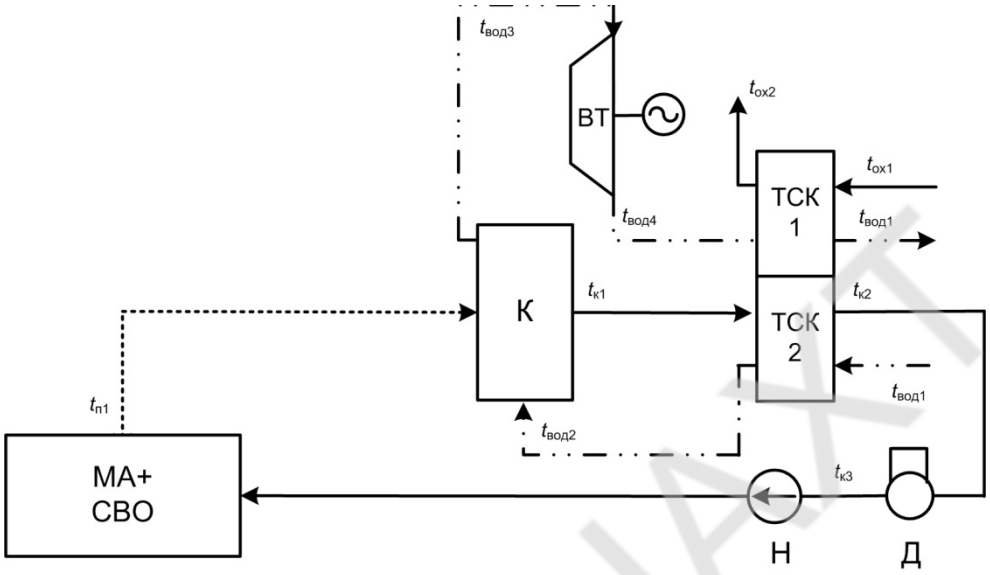


Рис. 1 – Схема двоконтурної водневої силової установки для утилізації низькопотенційної пари СВО

Водяна пара, що виробляється в системі випарного охолодження, з температурою $t_{п1}$ направляється в конденсатор К, де теплота конденсату передається водневому контуру установки. Температура водню при цьому підвищується з $t_{вод2}$ до $t_{вод3}$, він направляється в турбіну ВТ, а після неї в термосорбційний компресор ТСК1, принцип роботи якого базується на здатності гідридів металів сорбувати та десорбувати водень при відповідному температурному рівні. Далі конденсат, що охолоджується, з температурою $t_{к1}$ потрапляє в компресор ТСК2, а після нього з температурою $t_{к2}$ – в деаератор Д. Після деаератору насосом Н конденсат направляється в систему випарного охолодження доменної печі.

Перевагами застосування турбоустановок з нетрадиційним робочим тілом є відсутність необхідності в додатковому підвищенні тиску пари та повному використанні енергетичного потенціалу водяної пари систем випарного охолодження доменних печей.

СИСТЕМА УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ДИМОВИХ ГАЗІВ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ СКЛЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ

Кошельнік О.В., канд. техн. наук, доцент
Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна
Долобовська О.В.,
Національний технічний університет«Харківський політехнічний інститут»

Більша частина скломаси (для виробництва віконного, тарного, технічного скла) на сьогоднішній день виплавляється у ванних скловарних печах безперервної дії.

Температурний рівень технологічних процесів в сучасному виробництві скломаси може сягати 1500-1600 ºС, що призводить до необхідності підігріву повітря горіння.

Для цього всі агрегати обладнуються рекуперативними або регенеративними теплообмінними апаратами. Температура димових газів за ними дорівнює 400 – 500 ºС, основними втратами тут є втрати з теплотою газів, що йдуть, та через огородження. Для більш глибокого використання теплоти продуктів згоряння застосовуються багатоступінчасті утилізаційні схеми, що включають в себе додатково рекуперативні теплообмінники, водяні економайзери, котли-утилізатори, підігрівачі шихти. Але незважаючи на це, рівень температури газів перед димарем складає 200 – 300 ºС. Тобто існує значний енергетичний потенціал, який можна використати шляхом впровадження додаткових енергозберігаючих заходів. Це вимагає розробки компактних і ефективних теплообмінників-теплоутилізаторів з урахуванням особливостей роботи основного агрегату – скловарної печі.

Як відомо, одними з найбільш ефективних теплообмінників для утилізаційних систем при такому рівні температур є пластинчасті теплообмінні апарати із сітчасто-поточною формою гофр. Ці апарати відрізняються високою ефективністю теплообміну, їхні габарити й питома витрата металу набагато менше, ніж у традиційних апаратах трубчастої конструкції. Дані обставини дають можливість запропонувати теплообмінники даного типу для утилізації потоків димових газів низького температурного рівня. Умовам експлуатації в утилізаційних системах скловарних печей при наявності слабкозапиленого газового потоку найбільш відповідають пластини з синусоїдальною формою перетину бічної стінки. В даній конструкції передбачено можливість формування каналів, призначених для охолодження газів, що відходять (більші об'єми теплоносіїв і малі втрати тиску) із площею поперечного (прохідного) перетину значно більшою, ніж необхідно для рідких середовищ. З комбінацій спеціальних і базових пластин можливо формувати оптимальні порожнини різних прохідних перетинів (для відповідних середовищ, що обмінюються теплотою). Така комбінація гофрування пластин дозволяє спроектувати досить ефективний теплообмінник у повній відповідності із заданими параметрами та технічними вимогами.

Для одержання каналу з поверхнею складної форми (сітчасто-потокового типу) дві пластини зварюють між собою. Зварювання проводиться по колекторних отворах і по зовнішньому контуру. Пластини під зварювання збирають таким чином, щоб вершини гофр, контактуючи між собою, утворювали безліч точок взаємного обпирання пластин при їх накладанні, що необхідно для забезпечення заданої твердості форм проточних порожнин і міцності всієї конструкції утилізатора. Дві секції (чотири пластини) зварюються по зовнішньому контуру. Для набору сумарної поверхні збирають блок із двох пакетів пластин, встановлених паралельно. Пакети пластин розміщують у сталевому корпусі, окантованому прокатом.

Застосування таких уніфікованих пластинчастих блоків дає можливість ефективно використовувати теплообмінники даної конструкції для підігріву води на технологічні потреби або при генерації водяної пари в багатоступінчастих системах утилізації теплоти скловарного виробництва.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ КОГЕНЕРАЦІЙНО-ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК ПОРІВНЯНО З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Остапенко О. П., канд. техн. наук, доцент
Вінницький національний технічний університет

В дослідженні проаналізовано енергоефективність систем енергозабезпечення (СЕ) на основі комбінованих парокомпресійних когенераційно-теплонасосних установок (КТНУ) та пікових джерел теплоти (ПДТ) в порівнянні з альтернативними джерелами теплозабезпечення. Схеми СЕ на основі КТНУ та ПДТ наведені в [1-2]. Здійснено аналіз енергоефективності системи «Джерело приводної енергії КТНУ – СЕ на основі КТНУ та ПДТ – споживач теплоти від СЕ» з метою визначення ефективних режимів роботи СЕ, в порівнянні з альтернативними джерелами теплозабезпечення. В [3] запропоновано здійснювати комплексну оцінку енергоефективності СЕ на основі КТНУ та ПДТ за комплексним безрозмірним критерієм енергоефективності:

$$K_{CE} = (1-\beta)\cdot K_{ПДТ} + \beta \cdot K_{КТНУ}, \quad (1)$$

де β – частка навантаження (теплової потужності) КТНУ у складі СЕ з [4-7]; $K_{ПДТ}$ – безрозмірний критерій енергоефективності пікового джерела теплоти у складі СЕ (водогрійного паливного котла (ПК), електрокотла (ЕК), сонячних колекторів тощо) з [8-9]; $K_{КТНУ}$ – безрозмірний критерій енергоефективності

комбінованих КТНУ у складі СЕ з [3, 8-9].

Безрозмірний критерій енергоефективності альтернативних джерел теплозабезпечення, на основі дослідження [3], визначається:

– для електрокотла у випадку споживання електричної енергії з енергосистеми:

$$K_{EK}^{a} = \eta_{EC} \cdot \eta_{ЛЕП} \cdot \eta_{EK}, \quad (2)$$

де η_{EC} – усереднене значення ККД електростанцій в Україні або альтернативних джерел електричної енергії з дослідження [8], $\eta_{ЛЕП}$ – ККД розподільчих електричних мереж в Україні з [8], $\eta_{ЕК}$ – ККД електричного котла (електричної котельні);

– для паливного котла:

$$K_{ПК}^{a} = Q_{ПК} / Q_{n} = \eta_{ПК}, \quad (3)$$

де $Q_{ПК}$ – теплова потужність водогрійного паливного котла, Q_{n} – потужність, витрачена для вироблення теплової енергії від спалювання палива в котлі, $\eta_{ПК}$ – ККД водогрійного паливного котла або паливної котельної;

– для випадків використання альтернативних джерел теплоти (наприклад, сонячних колекторів), значення безрозмірного критерію енергоефективності альтернативного джерела теплоти (АДТ) $K_{АДТ}^{a}$ дорівнюватиме ККД альтернативного джерела теплоти $\eta_{АДТ}$ або ККД додаткової системи з альтернативним джерелом теплоти $\eta_{АДТ}^{c}$.

В [3] визначено, що значення безрозмірного показника енергоефективності альтернативних варіантів джерел теплозабезпечення становлять: $K_{EK}^{a} = 0{,}302…0{,}318$ для електрокотла у разі використання електроенергії з енергосистеми; $K_{ПК}^{a} = 0{,}8…0{,}9$ для паливного котла; для джерел теплозабезпечення на основі сонячних колекторів, в залежності від обраного ПДТ, значення показника $K_{АДТ}^{a}$ буде нижчим, ніж для електричних чи паливних котлів.

Дослідження енергоефективності СЕ проведено для режимів енергоефективної роботи КТНУ з $K_{КТНУ}$=1,1…2,1 за умови зміни частки навантаження КТНУ в діапазоні β = 0,1…1,0. Для СЕ з КТНУ малої потужності, зі споживанням електроенергії піковим електрокотлом з енергосистеми України, значення комплексного критерію енергоефективності СЕ становлять [3]: $K_{CE} = 0{,}396…1{,}92$ за умови β = 0,1…0,9 та $K_{CE} = 2{,}1$ за умови β = 1. Для СЕ з КТНУ малої потужності, зі споживанням електроенергії піковим електрокотлом від КТНУ, значення критерію енергоефективності СЕ становлять [3]: $K_{CE} = 0{,}31…1{,}92$ за умови β = 0,1…0,9 та $K_{CE} = 1{,}6…2{,}1$ за умови β = 1. Для СЕ з КТНУ великої потужності та піковим паливним котлом значення безрозмірного критерію енергоефективності СЕ становлять [3]: K_{CE} = 0,83…1,98 за умови β = 0,1…0,9 та $K_{CE} = 2{,}1$ за умови β = 1.

Висновки

Визначено, що для випадків $K_{КТНУ} > 1$ та $K_{CE} > K^{a}$, запропоновані СЕ на основі КТНУ та ПДТ можуть бути рекомендовані як високоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їх енергоефективність значно перевищує енергоефективність сучасних високоефективних електричних та паливних котлів та джерел теплозабезпечення на основі сонячних колекторів. За умов $K_{КТНУ} > 1$ та $K_{CE} > \eta_{ПК}$ (або $K_{CE} > \eta_{ЕК}$, $K_{CE} > \eta_{АДТ}$, $K_{CE} > \eta_{АДТ}^{c}$) [3] за результатами досліджень [3] визначаються області енергоефективної роботи зазначених СЕ з КТНУ та ПДТ. Досліджені СЕ можуть бути рекомендовані як високоефективні системи енергозабезпечення, оскільки їх ефективність більш, ніж в два рази перевищує енергоефективність сучасних високоефективних електричних та паливних котлів.

Література
1. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання. Монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2009. – 176 с.
2. Остапенко О. П. Холодильна техніка та технологія. Теплові насоси : навчальний посібник / О. П. Остапенко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 123 с.
3. Остапенко О. П. Енергетична ефективність систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок та пікових джерел теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 1. – Режим доступу до журн.: http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/462/460.
4. Остапенко О. П. Комплексна оцінка енергетичної ефективності парокомпресійних теплонасосних станцій з когенераційним приводом [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 3. – Режим доступу до журн.: http://praci.vntu.edu.ua/ index.php/praci/article/view/2/2.
5. Остапенко О. П. Методичні основи комплексного оцінювання енергетичної ефективності парокомпресійних теплонасосних станцій з електричним та когенераційним приводом / О. П. Остапенко // Наукові праці ОНАХТ. – 2015. – Вип. 47. – Т. 2. – С. 157 – 162.
6. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph / O. P. Ostapenko. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 64 p.
7. Остапенко О. П. Енергоефективність систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти в системах теплопостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – №2. – Режим доступу до журн.: http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/472/470.
8. Остапенко О. П. Енергетична ефективність парокомпресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводами [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2014. – № 4. – Режим доступу до журн.: http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/421/419.
9. Остапенко О. П. Енергетична ефективність систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 4. – Режим доступу до журн.: http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/454/452.

НАУКОВІ ОСНОВИ З ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ КОГЕНЕРАЦІЙНО-ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК

Остапенко О. П., канд. техн.. наук, доцент
Вінницький національний технічний університет

Розроблено наукові основи та запропонований підхід із оцінювання енергоефективності систем енергозабезпечення (СЕ) на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок (КТНУ) та пікових джерел теплоти (ПДТ) з метою визначення областей енергоефективної роботи та енергоефективних режимів роботи СЕ з КТНУ та ПДТ з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи СЕ з різними варіантами ПДТ та джерелами приводної енергії для КТНУ різних рівнів потужності, з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії.

Зважаючи на актуальність поставленого питання, нами за останні роки проведено низку досліджень із визначення енергоефективності СЕ на основі комбінованих КТНУ в теплових схемах джерел енергопостачання [1-6]. В дослідженнях [2-6] здійснено аналіз енергоефективності СЕ з КТНУ та ПДТ. Зазначені СЕ можуть повністю або частково забезпечувати власні потреби в електричній енергії та забезпечувати потреби опалення та гарячого водопостачання споживачів. Схеми СЕ на основі КТНУ та ПДТ наведені в роботах [7-8].

В дослідженнях [2-6] здійснено аналіз енергоефективності системи «Джерело приводної енергії КТНУ – СЕ з КТНУ та ПДТ – споживач теплоти від СЕ» на прикладі СЕ з парокомпресійними КТНУ та ПДТ. З метою визначення енергоефективних режимів роботи та схем СЕ на основі КТНУ та ПДТ, в дослідженнях [1-6, 9-10] проаналізовано та враховано втрати енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії в КТНУ та ПДТ. В роботах [2-6] запропоновано здійснювати комплексну оцінку енергетичної ефективності СЕ з КТНУ та ПДТ за комплексним безрозмірним критерієм енергетичної ефективності. Дослідження проведено для режимів енергоефективної роботи КТНУ зі значеннями

безрозмірного критерію енергоефективності КТНУ $K_{КТНУ}$=1,1…2,1 на основі результатів з досліджень [1-6, 9-10]. Комплексний безрозмірний критерій енергетичної ефективності СЕ з [2-6] може бути використаний для вибору найбільш ефективного пікового джерела теплоти для певного виду СЕ. В дослідженнях [2-6] визначено, що використання паливного котла як пікового джерела теплоти в СЕ є значно ефективнішим, ніж використання пікового електрокотла з різними варіантами джерел електроенергії. Запропоновані в дослідженнях [5-6] СЕ на основі КТНУ та пікових електрокотлів будуть більш ефективними, ніж сучасні високоефективні електричні та паливні котли, якщо частка навантаження КТНУ в СЕ становить $\beta > 0{,}4$. В дослідженнях [5-6] визначено, що енергоефективність СЕ з КТНУ та піковими електричними чи паливними котлами майже в два рази перевищує енергоефективність сучасних високоефективних електричних та паливних котлів.

В дослідженнях [1-6] розроблено наукові основи із визначення областей енергоефективної роботи та енергоефективних режимів роботи СЕ на основі КТНУ і ПДТ, з урахуванням комплексного впливу змінних режимів роботи, джерел приводної енергії для парокомпресійних КТНУ різних рівнів потужності, з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії. Запропонований в [1-6] підхід з оцінювання енергоефективності СЕ на основі КТНУ та ПДТ має низку переваг:

— дозволяє оцінювати комплексний вплив змінних режимів роботи СЕ, пікових джерел теплоти СЕ, джерел приводної енергії парокомпресійних КТНУ з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії;

— враховує вплив пікових джерел теплоти для СЕ та виду споживаної ними енергії з урахуванням втрат енергії при генеруванні та постачанні енергії до пікових джерел теплоти;

— враховує вплив джерел приводної енергії парокомпресійних КТНУ різних рівнів потужності з урахуванням втрат енергії при генеруванні, постачанні і перетворенні електричної енергії в КТНУ та СЕ;

— в результаті комплексного підходу до оцінювання енергоефективності СЕ можна здійснити вибір найбільш ефективного пікового джерела теплоти для певного виду СЕ;

— запропоновані в [1-6] наукові основи можуть бути використані для визначення областей енергоефективної роботи СЕ на основі парокомпресійних КТНУ з різними холодоагентами, джерелами низькотемпературної теплоти та схемними рішеннями;

— дозволяє визначити області та режими енергоефективної роботи СЕ з КТНУ та ПДТ, за яких енергоефективність досліджуваних СЕ майже в два рази перевищує енергоефективність сучасних високоефективних електричних та паливних котлів;

— дозволяє комплексно оцінювати енергоефективність значної кількості варіантів СЕ з КТНУ та ПДТ;

— дозволяє розробити рекомендації з енергоефективної експлуатації СЕ з КТНУ та ПДТ з різними схемними рішеннями.

Література

1. Остапенко О. П. Енергетична ефективність систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 4. – Режим доступу до журн.: http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/454/452.
2. Остапенко О. П. Комплексна оцінка енергетичної ефективності парокомпресійних теплонасосних станцій з когенераційним приводом [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 3. – Режим доступу до журн.: http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/2/2.
3. Остапенко О. П. Методичні основи комплексного оцінювання енергетичної ефективності парокомпресійних теплонасосних станцій з електричним та когенераційним приводом / О. П. Остапенко // Наукові праці ОНАХТ. – 2015. – Вип. 47. – Т. 2. – С. 157 – 162.
4. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph / O. P. Ostapenko. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 64 p.
5. Остапенко О. П. Енергетична ефективність систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонасосних установок та пікових джерел теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 1. – Режим доступу до журн.: http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/462/460.
6. Остапенко О. П. Енергоефективність систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти в системах теплопостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 2. – Режим доступу до журн.: http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/472/470.
7. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання. Монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2009. – 176 с.
8. Остапенко О. П. Холодильна техніка та технологія. Теплові насоси : навчальний посібник / О. П. Остапенко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 123 с.

9. Остапенко О. П. Енергетична ефективність парокомпресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводами [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2014. – № 4. – Режим доступу до журн.: http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article /view/421/419.
10. Остапенко О. П. Енергетичні переваги застосування парокомпресійних теплових насосів з електричним та когенераційним приводами [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. В. Лещенко, Р. О. Тіхоненко // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – № 1. – Режим доступу до журн.: http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/437/435.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК ДЛЯ ПОДОГРЕВА МАЗУТА

Потапов М.Д.[1], канд. техн. наук, доцент, Дорошенко Ж.Ф.[2], канд. техн. наук, доцент
1- Одесская национальная академия пищевых технологий,
2-Одесский национальный политехнический университет

В структуре современного топливного баланса теплогенерирующих объектов отражаются особенности надежного топливоснабжения объектов, относящихся, как к большой энергетике (тепловые электрические станции), так и объектам систем теплоэнергоснабжения промышленного и муниципального назначения. Сложившаяся ситуация с обеспечением органическим топливом различных потребителей сформулировала в качестве актуальной задачи определение оптимальной структуры топливного баланса в зависимости от конкретных условий, сложившихся в той или иной отрасли, том или ином регионе. В результате анализа конкретных объектов, приведены рекомендации относительно оптимальных структур топливных балансов для них. В отдельных случаях, рекомендации основаны на одновременном использовании разных видов топлива (твердое + жидкое, твердое + газообразное, …) или предполагают переход на другие виды топлива (например, переход с антрацитовых углей на угли Г и Ш). Такая ситуация, как правило, требует определенных изменений в системах подготовки топлива, в организации процесса горения, в конструкции топливосжигающих устройств, в обеспечении безопасных условий эксплуатации соответствующего оборудования и т.д. В связи с возрастанием топливной составляющей в стоимости любого продукта, включая энергетический – эл. энергия, теплота, важнейшим вопросом становится повышение эффективности всех составляющих систем топливоснабжения.

При использовании жидкого топлива особое внимание уделяется поддержанию определенных температурных условий при хранении, транспортировке и подготовке к сжиганию мазута. Для обеспечения этих условий используются теплообменники различных конструкций. В частности, в паровых котельных для нагрева жидкого топлива перед подачей его к форсункам применяют поверхностные теплообменники, в которых в качестве греющего теплоносителя используется пар (на ТЭС – пар из отборов турбин с давлением 1,0…1,5 МПа, температурой 250). В этих аппаратах мазут нагревают ориентировочно от 60ºС до 180ºС. С учетом реальных расходов топлива на теплогенерирующих объектах, используемые традиционные кожухотрубные мазутоподогреватели имеют большие габариты (высокая металлоемкость) и характеризуются значительными гидравлическими сопротивлениями.

Повышение энергетической эффективности подогрева мазута за счет интенсификации процесса теплообмена в поверхностном аппарате с улучшенными конструктивными характеристиками является одним из направлений, которое обеспечивает снижение энергозатратности системы топливоснабжения. С целью разработки такого теплообменника рассмотрена возможность использования преимуществ теплообмена в трубах небольшой длины с обеспечением турбулизации потока на входе за счет конструктивных особенностей канала. Были получены результаты предварительных экспериментальных исследований характеристик процесса теплоотдачи при движении вязкой жидкости в трубе длиной 1 м и внутренним диаметром 12 мм при условиях подобных рабочим параметрам процесса подогрева мазута, подтверждающие целесообразность использования исследуемых принципов в конструкции теплообменника повышенной энергоэффективности.

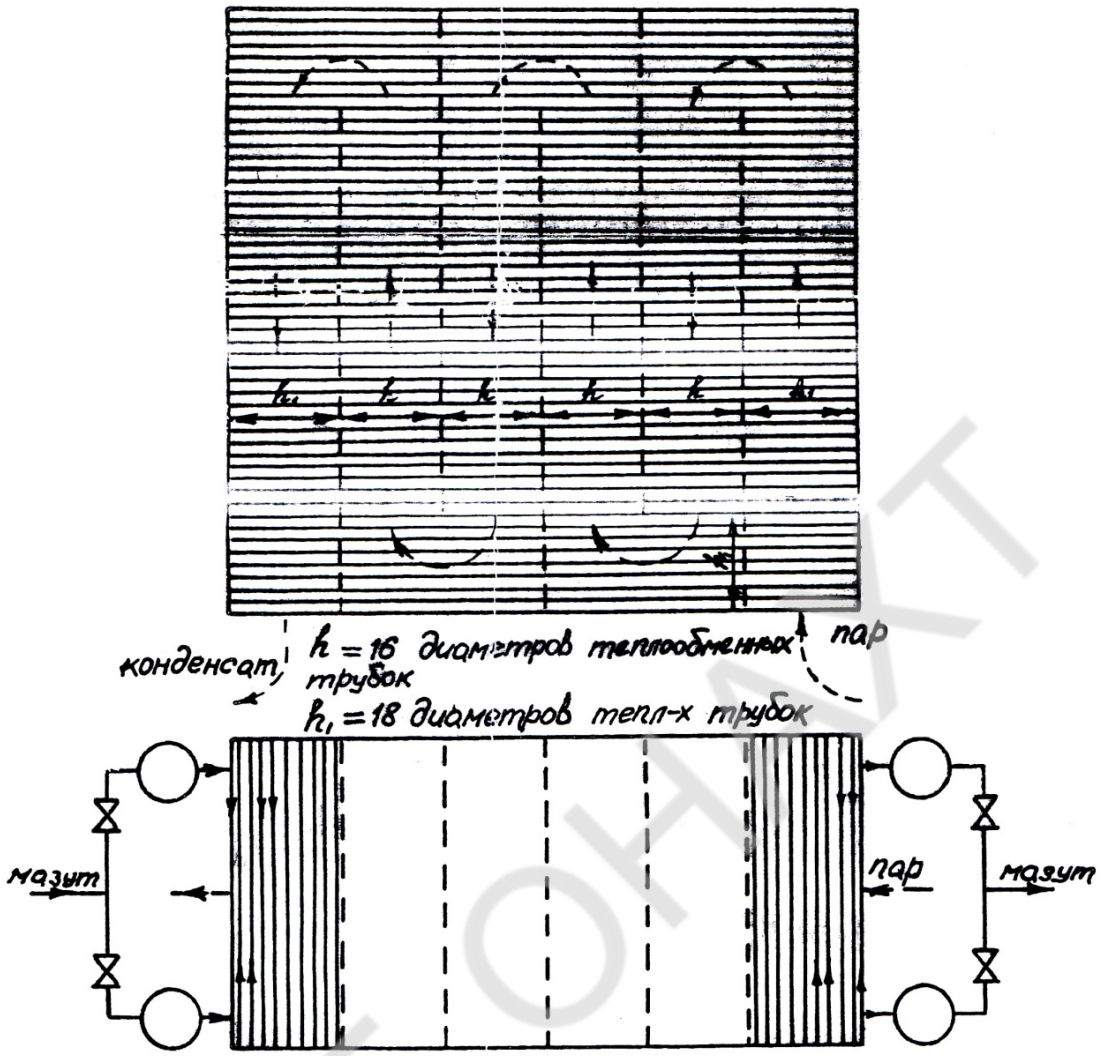


Рис.1 – Схемы движения теплоносителей (пар, мазут)

В результате конструктивного, гидравлического и прочностного расчетов разработан поверхностный теплообменный аппарат для подогрева мазута (пар – мазут). Принципиальная схема движения теплоносителей (по пару и мазуту) представлена рис.1. Габариты кожуха теплообменника составляют: ширина – 1160 мм., длина - 2290 мм, высота - 2600 мм. Конструкция теплообменника состоит из 25 секций, в каждой из которых 200 труб ($d_н$ = 14мм).

НТБ ОНАХТ

СЕКЦІЯ 2:

ПРОЦЕСИ ТЕПЛОМАСООБМІНУ І ТЕПЛОМАСООБМІННІ АПАРАТИ

НАНОТЕХНОЛОГІЇ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ І ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННІ

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕПЛОНОСІЇВ І РОБОЧИХ ТІЛ

НТБ ОНАХТ

УДК 621.565

СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ КОНДЕНСАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Бутовский Е. Д., аспирант, Когут В. Е., канд. техн. наук, доцент, Бушманов В. М., аспирант,
Хмельнюк М. Г., доктор техн. наук, профессор
Одесская национальная академия пищевых технологий

Статья содержит некоторые результаты исследований, которые ведутся в соответствии с планом мероприятий Кабинета Министров Украины и общегосударственной программой защиты атмосферного воздуха от выбросов углеводородов на 2003- 2020 годы. Цель исследований: внедрение технологий улавливания и регенерации паров углеводородов на объектах нефтегазового комплекса.
Ключевые слова: *пары нефтепродуктов, конденсация, оксид углеводородов, испарение нефтепродуктов, эжекторный контактный теплообменник.*

This article contains some results of studies which are conducted in accordance with the action plan of the Cabinet of Ministers of Ukraine and the national program of atmospheric air protection hydrocarbon emissions by 2003- 2020 years. The purpose of research: the introduction of technologies for capturing and recovering hydrocarbon vapors at oil and gas facilities.
Keywords: *vapor of oil, condensation, hydrocarbon oxide, evaporation of petroleum products, ejector pin heat exchanger.*

В настоящее время известно много современных схемных решений, применяемых на предприятиях нефтеперерабатывающей отрасли. Новые схемные решения, разработанные мировыми лидерами технологий нефтедобычи и нефтепереработки, имеют в своей структуре широкую направленность и позволяют конденсировать ряд компонентов от С1 до С4 +, с коэффициентом эффективности до 95%. Следует помнить, что выбор схемы конденсации паров нефтепродуктов обусловлен требованием низких эксплуатационных затрат.

Рынок систем УЛФ только в Украине оценивается специалистами в $2,3 млрд. Также весьма перспективны для реализации продукции рынки страны СНГ и Запада. Всё это подогревает интерес коммерческих и государственных фирм к реализации различных технических решений.

Пары легких фракций углеводородов нефтепродуктов выбрасывают в воздушный бассейн более 70% оксидов углерода и углеводородов (бензол, формальдегид, бензапирен), около 55% оксидов азота, до 5,5% воды, а также сажу (тяжелые металлы). Кроме того, при работах на нефтепромыслах выбрасывается около 1,0-2,0% потребляемого топлива, которое оседает на поверхностях (земли, воды, деревьев и т.п.) в виде несгоревших углеводородов, сажи, пыли и золы.

Одним из перспективных методов снижения потерь от испарений нефти и нефтепродуктов, является рекуперация паров углеводородов, посредством процесса конденсации, реализуемого в эжекторном контактном теплообменнике.

При транспортировке и хранении испаряется большое количество углеводородов, особенно легких фракций с С1 до С6, что является основной причиной технологических потерь ценного сырья и вредных выбросов в окружающую атмосферу. Согласно мировой статистике потери углеводородов нефтепродуктов при транспортировке значительно превышают потери при их хранении. Распределение потерь зависит от конкретного вида углеводородов типа объекта, в котором продукт находится (нефтебаза, резервуар, магистральный трубопровод и др.). При наличии паров углеводородов в жидкостном потоке на насосе может образоваться режим кавитации, который, в свою очередь, может привести к поломке рабочих элементов насоса. Для избегания этой причины необходимо сконденсировать пары углеводородов перед насосами. Данную задачу можно осуществить в предлагаемом схемном решении

Также для слива и налива углеводородов нефтепродуктов можно использовать эжекторный контактный теплообменник. Использование данного устройства позволяет улучшить систему слива и налива и повысить энергетическую эффективность, которая играет важную роль в сохранности углеводородов.

На автомобильных заправочных станциях потери от испарения углеводородов при заправке автомобилей, на первый взгляд, незначительные. Но при дневной работе АЗС потери от испарения высокие, и зависят от температуры окружающей среды. Предлагается использовать схемное решение, позволяющее снизить потери углеводородов при переливе из ёмкости в ёмкость.

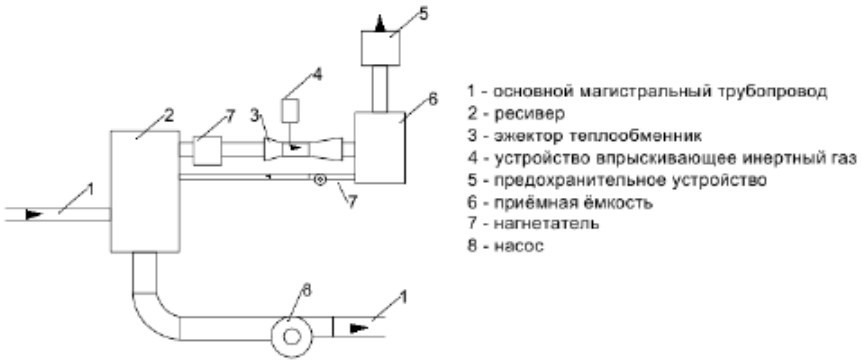


Рис. 1 – Схемное решение для конденсации углеводородов в системе магистральных трубопроводов

Рис. 2 – Схемное решение для конденсации углеводородов в системе слива/налива из/в ёмкость

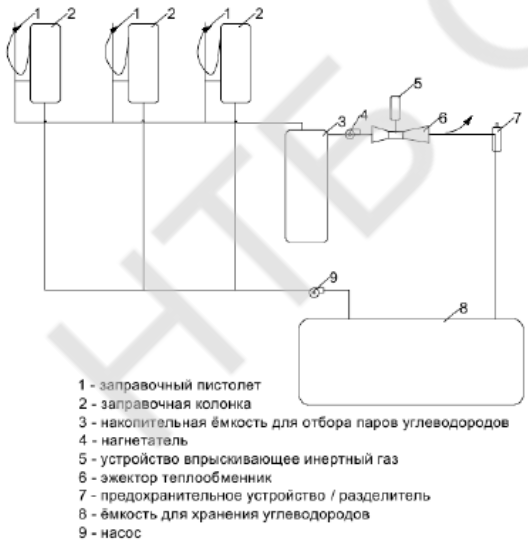


Рис. 3 – Схемное решение для конденсации углеводородов в системе АЗС

В рабочую схему АЗС, вместо устройства утилизации паров, подключается эжекторный контактный теплообменник, который подсоединен к разделителю, а тот в свою очередь подключен к ёмкости для хранения углеводородов, в которую происходит слив сконденсированных паров углеводородов.

Выводы

Системы улавливания и рекуперации паров углеводородов, базирующиеся на процессе конденсации, в сравнении с другими все еще применяющимися устаревшими технологиями, имеют следующие потребительские преимущества:

1. Нет замены запчастей, предусмотренной графиком или инструкцией. Системы улавливания паров, базирующиеся на других технологиях, требуют регулярной замены угольных адсорбентов или мембран, которые являются токсичными, огнеопасными и вредными отходами, по истечении срока службы которых, их приходиться специальным образом утилизировать.

2. Эксплуатационные расходы самые низкие в сравнении с установками на базе других технологий.

Применение эжекторного контактного теплообменника способно решить задачу промышленности по сохранности углеводородов при хранении, и особенно при транспортировке нефтепродуктов, а также при переливе из емкости в емкость.

Литература

1. Розпорядження Президента України. Київ. 12 червня 2002 р. №188/2002- рп.
2. Общегосударственная программа защиты атмосферного воздуха от выбросов углеводородов и диоксида серы «Чистый воздух» на 2003-2020 годы.
3. ТУ У 00149943.501-98 бензин автомобильный с повышенным концом кипения А-80, А-92, А-95.
4. Второй международный конгресс «Транзит и переработка нефти в странах СНГ и Балтии». – Одесса, 2005. – 300 с.
5. Александров А.А., Архаров И.А., Емельянов В.Ю. Деньги на ветер. Обзор действующих систем улавливания паров нефтепродуктов. // Ж. «Современная АЗС» №№ 10, 11, 12 – 2005 г.
6. В.Е. Когут, М.Г. Хмельнюк, Е.Д. Бутовский Охлаждающая система для конденсации углеводородов в потоке. – Холодильная техника и технология, №5 (145), 2013. – С. 23-27.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У ТРУБЧАТОМУ УТИЛІЗАТОРІ ТЕПЛОТИ ГАЗІВ, ЩО ВІДХОДЯТЬ З ДОМЕННОГО ВИРОБНИЦТВА

Ганжа А. М., д-р техн.. наук., проф., Заєць О. М., аспірант
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

У якості утилізатора-рекуператора теплоти газів, що відходять з доменного виробництва найчастіше використовуються трубчасті поверхневі теплообмінники-рекуператори, що складаються з двоходових секцій (див. рис.1) [1]. Повітря, що нагрівається, подається всередину труб зі сталі. Гази, що відходять з регенераторів-повітронагрівачів, подаються на рекуператор і проходять наскрізь, перехресно омиваючи шахматний гладкотрубний пучок.

В апаратах, що розглядаються, при своїй течії поперек трубного пучка зовнішній теплоносій (струмені газів) практично повністю не перемішується. Внутрішній теплоносій (повітря) перемішується тільки при переході з одного ходу до іншого та між послідовними секціями.

На рис.1б) представлена узагальнена схема однієї секції двоходового теплообмінника-утилізатора зі змішаною схемою течії теплоносіїв і протиточним включенням ходів. При послідовному додаванні секцій або одного ходу з цієї схеми можна скомпонувати будь-яку кількість ходів по повітрю, що нагрівається. Число рядів труб, які послідовно омиває зовнішній теплоносій в кожному ході, може бути також довільним.

Для спрощення процедури визначення ефективності теплоутилізаторів запропонована методика і алгоритм дискретного розрахунку [2], де елементами, з яких скомпонований теплообмінник (див. рис.1 б), є прості схеми одноразового перехресного плину з повним перемішуванням обох теплоносіїв по ходу. Доцільність розбивки поверхні теплообмінника не на кінцеві різниці, а на мікротеплообменнікі, показана в роботах [3, 4].

На основі запропонованої методики була розроблена розрахункова програма. Теплофізичні властивості повітря і газів визначалися в кожному елементі теплообмінника з урахуванням середніх їх температур і тисків в ньому. Для повітря, що подається вентилятором, враховується зміна його відносної вологості. Для газів, що надходять від регенераторів, задавався їх склад з урахуванням об'ємного вмісту кожного продукту згоряння і водяної пари.

З метою розрахунку табличні дані властивостей складових газів з [5] були апроксимовані у вигляді формул. Теплофізичні властивості суміші газів (теплопровідність, динамічна в'язкість) визначалися за методикою з [1]. Програма враховує наявність забруднень та відкладень на поверхнях та експлуатаційну шорсткість.

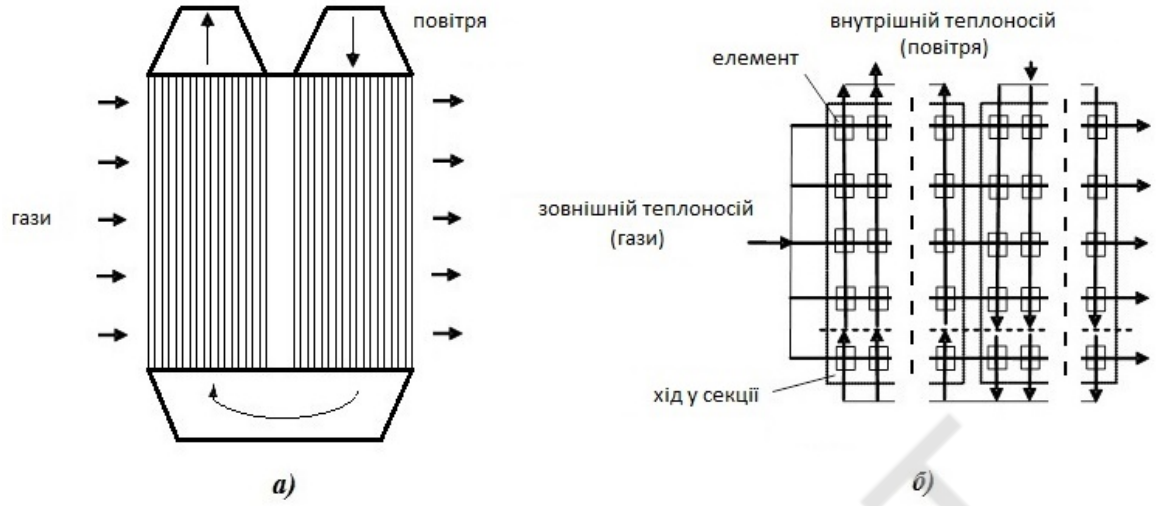


Рис.1 – Схема однієї секції теплоутилізатора
а) – конструкція; б) – розрахункова схема

Результати розрахунку утилізатора з діаметром труб 40 мм. та сумарною площею поверхні 2212 м^2 приведені на рис. 2.

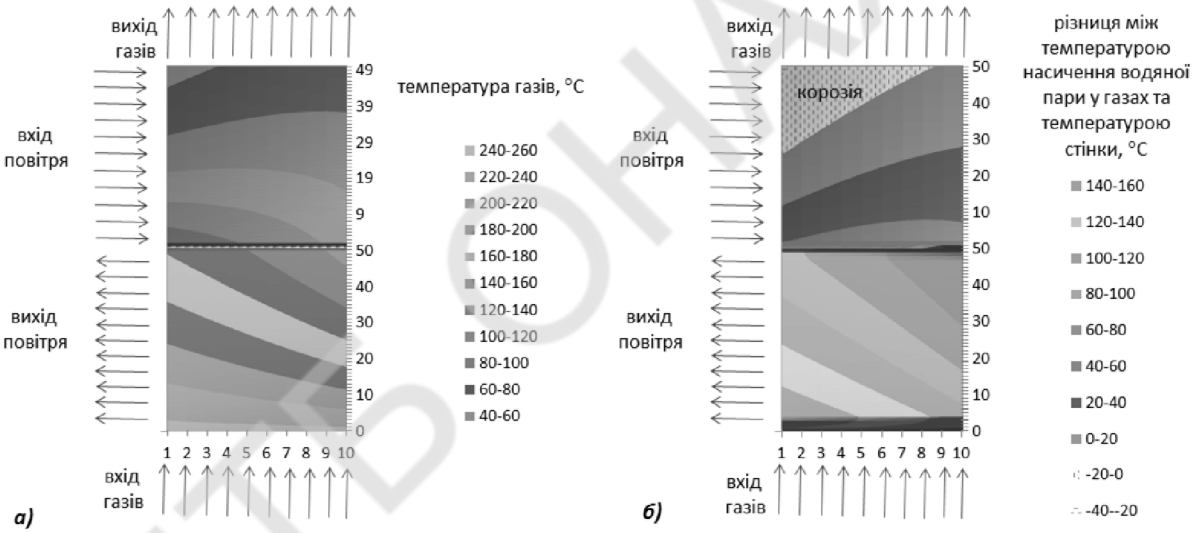


Рис. 2 – Результати розрахунку теплоутилізатора (по вертикалі – ряди труб, горизонталі елементи (ділянки труб): а) – температура газів; б) – виявлення області корозії

Температура повітря на вході +2°С, відносна вологість 10%. Середня температура газів, що відходять з регенераторів складає 246°С. Повітря догрівається до 134°С, гази охолоджуються до 68°С. При даних умовах (див. рис. 2 б) виникає область, де гарантовано буде відбуватись корозія поверхонь теплоутилізатора (перший хід по повітрю, біля виходу газів). Подібні розрахунки зроблені і для інших параметрів теплоносіїв, при цьому область корозії трансформується або зникає зовсім.

Висновки

Таким чином, зроблені універсальні методи та засоби, що дозволяють проводити аналіз ефективності та надійності роботи трубчатих теплоутилізаторів газів, що відходять з доменного виробництва, як на етапі розробки, так і на етапі експлуатації.

Література

1. Грес Л. П. Энергосбережение при нагреве доменного дутья: Монография. –Днепропетровск: Пороги, 2004. – 209 с.
2. Ганжа А. Н. Анализ эффективности теплообменников-утилизаторов теплоты энерготехнологических комплексов и агрегатов / А. Н. Ганжа, Е. Н. Заец, В. Н. Подкопай, Н. А. Марченко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" : зб. наук. праць :

тематичний випуск "Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування". – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – №. 10 (1182). – С.56–60.
3. Справочник по теплообменникам: в 2 т. / [пер. с англ. и под ред. Б. С. Петухова, В. К. Шикова]. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – Т.1. – 560 с.
4. Gaddis E. S. Exchange Temperature Distribution and Heat in Multi-Pass Shell-and-Tube Exchangers with Baffles / E. S. Gaddis, E. U. Schlünder // Heat Transfer Eng. – 1979. – Vol. 1, No. 1. – P. 43–52.
5. Казанцев Е.И. Промышленные печи: справочное пособие для расчетов и проектирования. – М.: Металлургия, 1975. – 368 с.

МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ З УРАХУВАННЯМ РОЗПОДІЛУ ЛОКАЛЬНИХ ІНТЕНСИВНОСТЕЙ ТЕПЛООБМІНУ

Ганжа А. М., д-р техн. наук., проф..; Марченко Н. А., канд. техн. наук, Підкопай В. М.
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Складні теплообмінні апарати поширені, як в енергетиці і промисловості (у тому числі харчовій), так і – в комунальному господарстві. Очевидно, що ефективність складних апаратів з перехресним і змішаним плином теплоносіїв залежить не тільки від заздалегідь заданої загальної інтенсивності теплообміну, а й від розподілу інтенсивностей в кожній точці поверхні. Отримання розподілу локальних теплових і гідравлічних параметрів з урахуванням компонування та умов експлуатації (режими, забруднення, відкладення, знос та ін.) дає можливість більш точно визначати інтенсивність теплообміну в кожній точці та в усьому апараті.

Теплообмінники можуть мати різне компонування (основні характерні варіанти показані на рис. 1): а) з'єднання секцій по трубах (рядах труб) і б) з'єднання по струменям зовнішнього теплоносія. В деяких теплообмінниках типу 1 б) ряди труб можуть бути багатоходовими (калорифери та ін.), тобто необхідно розглядати тривимірний випадок.

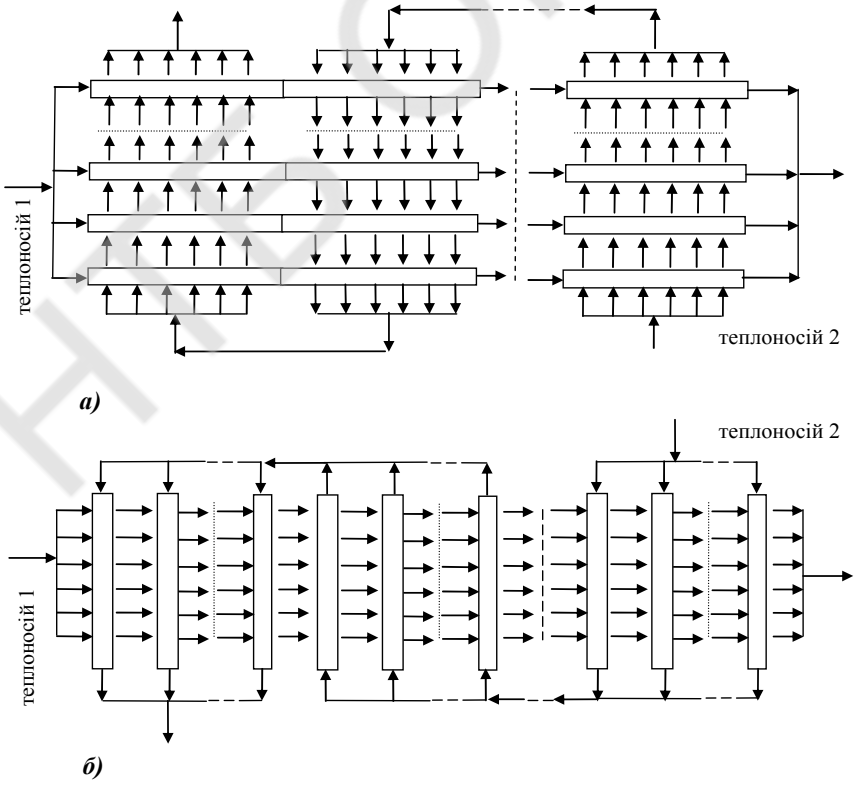


Рис. 1 – Узагальнені схеми теплообмінних апаратів
а) – з'єднання секцій по рядах труб; б) – з'єднання по струменям зовнішнього теплоносія

Для узагальнених схем теплообмінників з рис. 1 авторами розроблені аналітичні залежності та алгоритми аналітичного і дискретного розрахунку локальних та інтегральних характеристик: температур теплоносіїв і стінок поверхні, температурних напорів, ефективності нагріву (охолодження), теплових потоків та їх щільності. За допомогою розроблених аналітичних залежностей була вирішена задача більш точного та адекватного визначення середнього температурного напору в апараті чи відомої поправки до протиточного середньологарифмічного температурного напору $\varepsilon_{\Delta t}$ та кінцевої ефективності теплообмінника [1 – 3 та ін.]. В алгоритмах враховується нерівномірність розподілу теплофізичних властивостей поверхні і теплоносіїв, гідравлічних параметрів, коефіцієнтів тепловіддачі, а також забруднень та ін.

На рис. 2 представлений порівняльний аналіз результатів розрахунку безрозмірної теплової продуктивності калориферів ε за традиційними залежностями з [4, 5] (з різними значеннями емпіричного коефіцієнта *a*) і дискретного розрахунку від відношення витратних теплоємностей *R* и числа одиниць переносу теплоти ω.

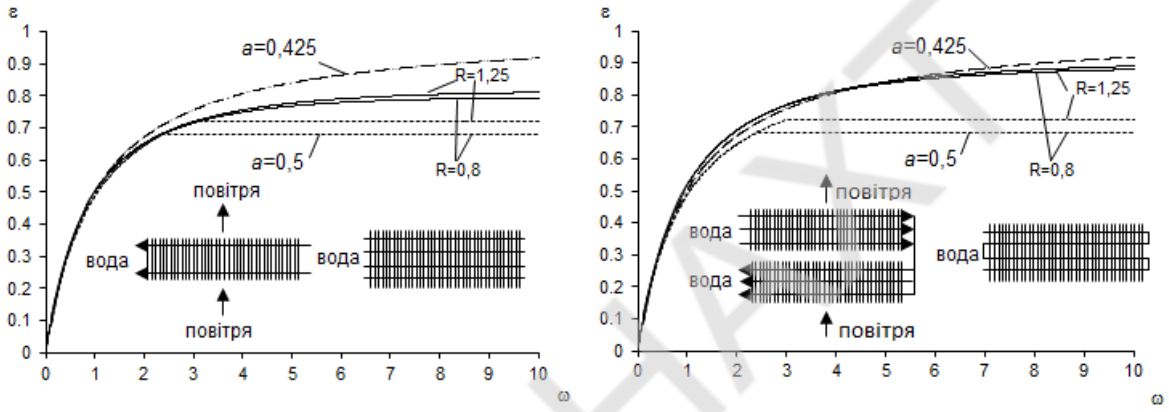


Рис. 2 – Порівняння безрозмірною питомої теплової продуктивності калориферів а) – одноходовий дворядний; б) – чотириходовий трирядний

Як видно з рис. 2, похибки розрахунків безрозмірною питомої теплової продуктивності можуть досягати до 20% (в разі одноходового дворядного апарату, рис. 2 а).

Висновки

Таким чином, в роботі показано, що розробка уточнених математичних моделей, методик та алгоритмів для розрахунку і аналізу складних теплообмінних апаратів з перехресним і змішаним плином з урахуванням розподілу локальних інтенсивностей теплообміну призводить до значного зменшення похибок в розрахунках. Уточнені методи і засоби розрахунку і аналізу теплообмінників дозволяють підвищити їх ефективність і ресурс, проводити аналіз їх впливу на роботу установок і систем, де вони використовуються, та на їх техніко-економічні показники, зменшити витрати паливно-енергетичних і матеріальних ресурсів, собівартість енергоносіїв, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Література

1. Каневец Г. Е. Введение в автоматизированное проектирование теплообменного оборудования / Каневец Г. Е., Зайцев И. Д., Головач И. И. – К. : Наук. думка, 1985. – 232 с.
2. Справочник по теплообменникам: в 2 т. / [пер. с англ. и под ред. Б. С. Петухова, В. К. Шикова]. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – Т.1. – 560 с.
3. Ганжа А.М. Комп'ютерне моделювання процесів у складних теплообмінних апаратах / А. М. Ганжа, Н. А. Марченко // Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт": Сб. науч. трудов: тематический выпуск "Системный анализ, управление и информационные технологии". – Харьков: НТУ "ХПИ", 2010. – № 9. – С. 113–120.
4. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Соколов Е. Я. – М.– Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 360 с.
5. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: справочник / [В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж и др.]. – М. : Стройиздат, 1988 – 432 с.

УДК 66.061:536.2

КОНСТРУИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ МИКРОВОЛНОВОГО ЭКСТРАКТОРА

Георгиеш Е.В., канд. техн. наук, асистент
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Аннотация. Рассматриваются условия работы микроволнового экстрактора, предназначенного для экстрагирования биологически активных веществ из растительного материала. Приведены результаты расчета теплообменного аппарата для микроволнового экстрактора непрерывного действия. Сформулированы рекомендации для выбора насоса, обеспечивающего циркуляцию смеси экстрагент - твердые частицы с заданной производительностью.

Anotetion. Consider conditions operation of the microwave extractor, intended for extraction of biologically active substances from the plant material. The results of the calculation of heat exchanger for Microwave continuous extractor. Formulate recommendations for selecting a pump circulates the mixture ekstragent - solids with a given performance.

Ключевые слова: *трубчатый теплообменный аппарат, экстрагируемое вещество, тепловой поток, дисперсный раствор.*

Для получения экстрактов с заданными свойствами была разработана микроволновая установка непрерывного действия, конструкция, которой допускает выдержку дисперсного материала при заданной температуре. Для полноты извлечения биологически активных веществ из свежего растительного материала предусмотрено пропускание раствора по замкнутому циклу несколько раз. Жидкость, нагреваясь в рабочей камере, после прохождения насоса охлаждается в теплообменнике типа воздух- жидкость, для исполнения которого были проведены тепловой конструкторский и гидравлический расчеты. Вид теплообменного аппарата приведен на рис. 1.

Опытные данные свидетельствуют, температура вещества на выходе часто лимитируется 70-80 ^{o}C. Эти значения были выбраны как базовые в расчетах. В качестве экстрагента принималась вода, поэтому расчет с высокой степенью точности можно проводить по методу среднего температурного напора.

Конструктивные особенности выполнения данного вида теплообменного аппарата состоят в том что, на трубы, по которым движется дисперсный раствор, напаяны ребра, изготовленные из стали. Для расчета принимается, что вокруг трубы ребро круглого сечения, что упрощает конструкцию. Общий размер ребер составляющих корпус теплообменного аппарата 252 × 151,2 мм, расстояние между ребрами 2 мм, толщина ребер 1 мм, внутренний диаметр труб 15 мм, трубы расположены в шахматном порядке, изготовлены из нержавеющей стали широко применяемой в пищевой промышленности.

Скорость движения экстракта в трубе теплообменного аппарата $W = 0.035$ м/с. Расчет температуры проводился по методу среднего температурного напора между температурами на вхоже и выходе экстрагента из системы охлаждения.

Расход экстрагента $G_э = 0.0597$ кг/с. Скорость движения экстрагента в замкнутом контуре $W = 0{,}196$ м/с, при внутреннем диаметре трубы $d_{тр} = 0{,}02$ м.

При поперечном обтекании воздухом труб с поперечными круглыми ребрами средний конвективный коэффициент теплоотдачи $\overline{\alpha}_в$, отнесенный к полной оребренной поверхности, по исследованию Э.С. Карасиной [1] описывается критериальным уравнением для коридорного пучка:

$$Nu = C \cdot (\frac{d_н}{S_р})^{-0.54} \cdot (\frac{h}{S_р})^{-0.14} \cdot Re^{0.72}, \quad (1)$$

где C - коэффициент, для круглых ребер $C = 0.104$; $S_р$ - шаг ребер, $S_р = 0.01$ *м*; h - высота ребра, $h = 0.0036$ *м*; D - наружный диаметр ребра, $D = 1.4 \cdot d_н = 0{,}0252$ *м*.

$Nu = 54.58$

Коэффициент эффективности кольцевого ребра постоянной толщины является функцией симплексов $\frac{h}{\delta}$, $\frac{D}{d_н}$ и числа Био $Bi = \frac{\alpha_в \cdot \delta}{\lambda_{ст}}$:

$$E_к = f(\frac{h}{\delta}\cdot\sqrt{2Bi};\frac{D}{d_н}) \quad (3)$$

где $\delta = 1\cdot10^{-3}$ м - толщина ребра, $\lambda_{ст} = 45$ Вт/(мК) - теплопроводность материала ребра.

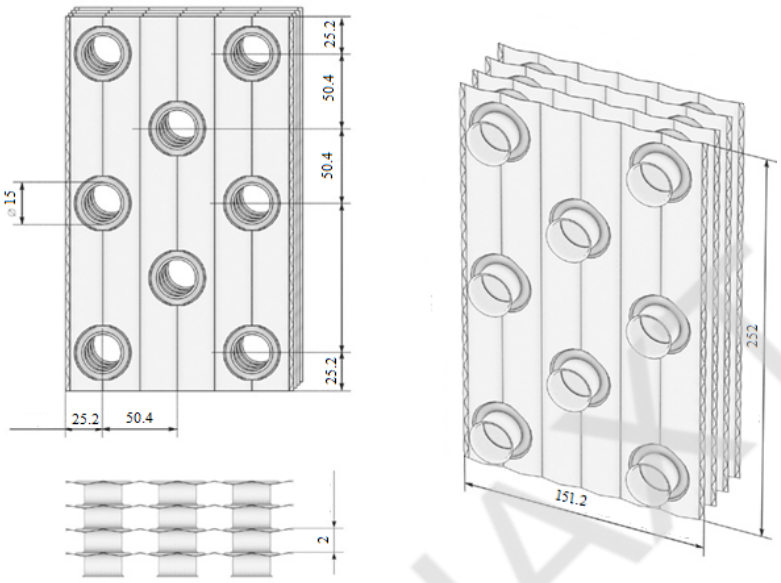


Рис.1 – Трубчатый теплообменник типа ВЖ для охлаждения экстракта

В соответствии с [2], при заданных параметрах $E_к = 0.94$.

Площадь поверхности ребер на единицу длины трубы:

$$F_р = n\cdot\left[2\cdot(\frac{\pi\cdot D^2}{4}-\frac{\pi\cdot d_н{}^2}{4})+\pi\cdot D\cdot\delta\right], \quad (4)$$

где $n = 100$ - количество ребер;

$F_р = 0.057\ м^2$

Площадь свободной поверхности на единицу длины трубы:

$$F_{с.п.} = \pi\cdot d_н\cdot l\cdot n_{тр} - \pi\cdot d_н\cdot\delta\cdot n_{пл}\cdot n_{тр} = \pi\cdot d_н\cdot n_{тр}\cdot(l-\delta\cdot n_{пл})$$

где $n_{тр} = 10$ шт - количество труб; $n_{пл} = 100$ шт - количество ребер (пластин), шт; $l = 0{,}15$ м - длина трубы.

$$F_{с.п.} = 0.028\ м^2$$

Площадь полной наружной поверхности оребренной трубки вместе с поверхностью ребер: $F_н = F_{с.п.} + F_р = 0.082$ м^2.

Коэффициент теплопередачи через стенку $k = 681.2$, Вт/(м^{2}К)

где $F_{гл}$ - площадь внутренней поверхности трубы, $F_{гл} = \pi\cdot d_{вн}\cdot l = 7.06\cdot10^{-3}$ м^2.

Q - количество теплоты, поглощенной дисперсной средой, $Q = 2500$ Вт.

Площадь теплопередающей поверхности: $F = \dfrac{Q}{k\cdot\Delta\overline{t}_л} = 0.066\ м^2$

Длина труб теплообменника: $l = \dfrac{F}{\pi\cdot d_н}\dfrac{0.066}{3.14\cdot0.018} = 1.16$ м

По полученному значению длины труб теплообменника принимаем количество секций – 8.

Потери напора определяются уравнением Дарси-Вейсбаха [3] и составили $H = 0.944$ м.

По полученному напору был выбран насос WiloStar-Z 20/1 EM с минимальной производительностью 0,7 $м^3$/час. В связи с высокой производительностью насоса предлагается дополнительно установить вентиль/расходомер для регулировки и снижения производительности.

Выводы

Разработаны конструктивные решения для охлаждения дисперсного раствора. По результатам расчета определена площадь теплопередающей поверхности, проведен гидравлический расчет, по результатам которого подобран насос, обеспечивающий непрерывное движение жидкости в контуре.

Литература

1. Берман, С.С. Теплообменные аппараты и конденсационные устройства турбоустановок [Текст] / С.С. Берман. - М.: Гос. науч.-техн. изд. машиностроительной литературы, 1959. - с.423
2. Авчухов, В.В. Задачник по процессам тепломасообмена [Текст] / Авчухов В.В., Паюсте Б.Я // Учеб. пособ. для ВУЗов. - М.:Энергоатомиздат, 1986. - 144 с.
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И.Е. Идельчик. - 3-е изд, перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1992. - 672 с.

ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОС У КОНВЕКТИВНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ КОМІРКАХ З ПАРАБОЛІЧНИМ ПРОФІЛЕМ ДНА І ТВЕРДИМИ ГРАНИЧНИМИ УМОВАМИ

Іванюк М. І.[1)], Андрєєва О. Л.[2)], Кулик О. П.[1)], канд. физ.-мат. наук., доцент
[1)] Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Харків
[2)]Інститут проблем машинобудування імені А. М. Підгорного НАН України, м. Харків

В основі утворення нашого Всесвіту лежить надзвичайно важливий принцип самоорганізації [Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. - М.: Мир, 1979. - 512 с.]. В природі принцип самоорганізації матерії є основоположним. Одним з яскравих прикладів цього процесу є утворення конвективних комірок в горизонтальному шарі в'язкої, нестисливої рідини, що підігрівається знизу. Такі комірки вперше виявив і описав А. Бенар у 1900 р. Згодом вони отримали назву комірок Бенара.

Дослідження процесів, пов’язаних з виникненням конвективних комірок за певних геометричних розмірів і температурних параметрів шару рідини, що підігрівається знизу, з різними граничними умовами викликають неабиякий науковий і практичний інтерес. Цей інтерес пов'язаний з необхідністю опису та прогнозування оптимальних масотеплообмінних процесів у виробництві та побутових умовах. Як показали попередні дослідження, головна причина утворення комірок пов’язана з тим, що середовище за певних температур не спроможне скидати зайву теплову енергію, тобто переносити необхідну кількість теплової енергії з нижньої межі на верхню, за рахунок лише теплової дифузії. Тому, для вирішення цієї проблеми в дію вступають конвективні процеси.

В попередніх наукових роботах з теплової конвекції у шарах в’язкої, нестисливої рідини, що підігрівається знизу, експериментально було показано, що гексагональна комірка Бенара утворюється не відразу. Спочатку утворюється елементарна конвективна комірка циліндричної форми. З підвищенням температури нижньої межі шару збільшується і кількість комірок, доки вони щільно не заповнять об’єм рідини, причому, стикаючись, вони набувають форми гексагонів, які і спостерігав у своїх експериментах Бенар.

У даній роботі розглянуто процеси утворення циліндричних комірок з плоскою твердою верхньою межею і неплоским (параболічним) профілем нижньої межі. Використання неплоского профілю нижньої межі конвективної комірки циліндричної форми зумовлене необхідністю збільшення ефективності теплопереносу. Раніше такі розрахунки були виконані для конічного та косинусоїдального профілів дна комірки.

Параболічний профіль нижньої межі комірки обрано для збільшення площі зняття тепла конвективним потоком, а розрахунки проведені з метою визначення умов отримання оптимального коефіцієнта тепломасопереносу.

В роботі для циліндричної комірки і параболічного поглиблення окремо знайдені аналітичні розв’язки лінеаризованих рівнянь Нав'є-Стокса і теплопровідності (НСіТ) з твердими граничними умовами (ТГУ), хоча, зазвичай, такі задачі розв’язуються числовими методами.

В даній роботі на основі вперше отриманих розв'язків лінеаризованих НСіТ з ТГУ були побудовані лінії Стокса окремо для циліндричної комірки і параболічного поглиблення комірки (рис. 1).

З використанням ефекту Фудзівари [Fujiwhara S. The natural tendency towards symmetry of motion and its application as a principle in meteorology. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Vol. 47, iss. 200, pp. 287-292. 1921] отримані окремі розв'язки зведені до модельних розподілів ліній Стокса і збуреної температури у циліндричній елементарній конвективній комірці з параболічно поглибленим профілем дна і твердими граничними умовами.

Розрахунки показують, що для обраних модельних функцій лінії Стокса є концентричними, замкненими лініями, форма яких поблизу дна відображає параболічний профіль дна (рис. 2). Такий вид ліній Стокса вказує на формування конвективного потоку у вигляді одного вихору в комірці. У роботі показано, що тверді граничні умови зменшують конвективну швидкість рідини і амплітуду збуреної температури у порівнянні з вільними граничними умовами, що призводить до зниження ефективності теплопереносу у тому ж порівнянні.

На рис.1 показаний поперечний переріз комірки з розбиттям площини на циліндричну частину та параболічне поглиблення. Відцифровані лінії відповідають лініям Стокса. Глибина комірки у обернених одиницях товщини циліндричної комірки дорівнює 1. Поглиблення має розмір 1/3 і є від'ємним. З рисунка випливає існування всередині комірки двох різних за розмірами вихорів (циклонів). Оскільки циклони замкнені в об'ємі конвективної комірки, то вони не можуть обертатися, згідно ефекту Фудзівари, один навколо другого, а будуть об'єднуватися в один. Об'єднання циклонів виконано методом приведення їх розмірів до одного масштабу і додавання один до одного.

На рис. 2 показано результат об'єднання ліній Стокса для циліндричної елементарної конвективної комірки і комірки з параболічним профілем дна при твердих граничних умовах. З рисунка випливає, що параболічний профіль дна не впливає на розподіл масопереносу в комірці з твердими межами. В комірці зберігається одновихровий режим тепломасопереносу. Лінії Стокса поблизу нижньої межі відображають її профіль.

Наведений приклад рішення поставленої задачі є аналітичним. Для остаточного виводу придатності цього методу вирішення задач для опису масотеплопереносу в конвективних комірках з неплоским профілем дна необхідно проведення числового моделювання таких процесів, наприклад, з використанням програмних продуктів - CFD - пакетів.

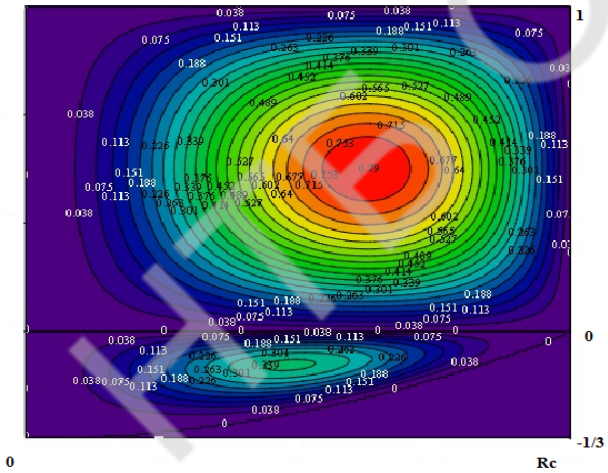


Рис. 1 – Розподіл ліній Стокса окремо для циліндричної елементарної конвективної комірки і параболічного поглиблення (співвідношення висот 3:1, R_c – радіус комірки)

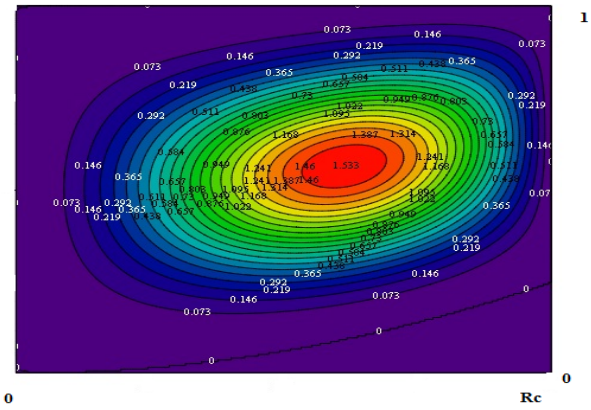


Рис. 2 – Результуючі розподіли, як наслідок використання ефекту Фудзівари, для циліндричної елементарної конвективної комірки з параболічним профілем дна і твердими граничними умовами.

УДК 536.2:519.876(075.8)

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Колесниченко Н.А., аспирант; Волгушева Н. В., канд. техн. наук, доцент,
Бошкова И.Л., д-р техн. наук, доцент
Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса

Аннотация. Представлен анализ существующих моделей теплопроводности для высокоинтенсивных процессов. Представлены математические зависимости для расчета граничной скорости нагрева, выше которой следует учитывать конечность скорости распространения теплоты. При малых числах Фурье для процессов произвольной интенсивности правильные решения позволяют получить модели, основанные на гиперболическом уравнении теплопроводности.

Ключевые слова: *теплопроводность, дифференциальное уравнение, параболический тип, гиперболический тип, изотермическая поверхность, скорость распространения теплоты.*

Abstract. The analysis of the thermal conductivity of existing models of high-intensity processes is presented. Mathematical relationships to calculation the boundary of the heating rate above which should be considered limb heat propagation velocity are presented. Models based on hyperbolic equation of thermal conductivity allow to get the right decisions for small numbers Fourier for arbitrary intensity processes.

Keywords: *thermal conductivity, differential equation, parabolic type , hyperbolic type , isothermal surface , the heat propagation velocity.*

Моделирование высокоинтенсивных процессов распространения теплоты, при которых возможно нарушение линейной связи между тепловым потоком и градиентом температур, представляет особую сложность. Обычно при решении задач теплопроводности используется дифференциальное уравнение, в котором временное и пространственное изменение температуры описывается уравнением параболического вида. Основные теплотехнические процессы хорошо описываются моделями на основе уравнений параболического вида, однако при описании высокоинтенсивных процессов его применение могло приводить к неудовлетворительным результатам. Как отмечено в [2], конкретному виду изотермической поверхности соответствует определенный дифференциальный оператор теплопроводности, среди которых оператор параболического типа является частным случаем. [2,3]. Утверждается [2,3], что попытка из параболического оператора получить несвойственные ему температурные поля за счет "навязывания" различных начальных и граничных условий привела к проблеме парадоксов и некорректных задач. Одним из т.наз. парадоксов является следствие из зависимости для скорости смещения температуры υ, полученной на основании уравнений теплового баланса и закона Фурье, из которого следует, что при $\tau \to 0$ температурная неоднородность мгновенно распространяется: $lim\,\upsilon \to \infty$. Второй парадокс классической теории теплопроводности связан с аналитическим определением температуры при $\tau \to \tau_0$. Формула для температуры, представленная в ходе математических преобразований в виде интеграла Пуассона, при начальном условии $\tau \to \tau_0$ стремится к разрывной функции $\phi(\xi)$, где ξ - текущая координата, что признано недостатком классического уравнения теплопроводности. Отмечается, что эти недостатки имеют место только при бесконечных границах области интегрирования; в конечной области, решения для которой находят методом разделения переменной, эта проблема не возникает, что соответствует физическому явлению – при конечной области прогрева инерционность процесса не успевает проявиться. Предполагается, что именно поэтому экспериментаторы, измеряющие коэффициент теплопроводности в конечных областях, не обнаруживают указанный парадокс. Как отмечается, Риман, изучив свойства анизотропного температурного поля, показал, что температурное поле следует характеризовать не теплофизическими параметрами, а видом изотермических поверхностей или операторов теплопроводности.

Уравнения теплопроводности параболического типа характерны для случая, когда скорость распространения теплоты может быть принята бесконечно большой и приводит к повышению температуры во всех точках тела сразу после начала действия источника теплоты. Дифференциальное уравнение теплопроводности, связывающее временное и пространственное изменение температуры, для среды с переменными физическими характеристиками и внутренними источниками теплоты при допущении о том, что скорость распространения теплоты бесконечно велика, имеет следующий вид:

$$\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} = div(\lambda\, grad\, t) + q_v \quad , \tag{1}$$

При его выводе тепловой поток через контрольную площадку в некоторый момент времени принят пропорциональным разности температур в точках тела, удаленных от этой площадки на некоторое расстояние, в тот же момент времени. В 1941 году А.В. Лыковым была предложена гипотеза о конечных скоростях распространения теплоты и массы [4]. В случаях, когда линейная связь между тепловым потоком и градиентом температур нарушается, плотность теплового потока определяется обобщенным законом Фурье (в предположении, что теплофизические характеристики не зависят от температуры и внутренние источники теплоты отсутствуют):

$$\vec{q} = -\lambda \nabla t - \tau_r \frac{\partial \vec{q}}{\partial \tau} \quad , \tag{2}$$

где τ_r – постоянная времени (время релаксации).

При резком изменении $\vec{q}$ перестройка температурного поля и градиента температуры происходит со смещением во времени (τ_r). Чем выше степень нестационарности, тем больше τ_r. Скорость распространения теплоты определяется выражением:

$$w_r = \sqrt{\frac{a}{\tau_r}} \tag{3}$$

Например, для азота $\tau_r = 10^{-9}$ с, $w_r = 150$ м/с; для алюминия $\tau_r = 10^{-11}$ с, $w_r = 1500$ м/с.

Дифференциальное уравнение теплопроводности с учетом релаксационных процессов было получено при использовании уравнения теплового баланса и обобщенного закона Фурье:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \tau_r \frac{\partial^2 t}{\partial \tau^2} = a \nabla^2 t \, , \tag{4}$$

Его называют гиперболическим уравнением теплопроводности. Впервые гиперболическое уравнение теплопроводности было выведено Предводителевым А.С. с помощью теоремы Грина. При этом в качестве допущений было принято условие постоянства скорости распространения теплоты, что ограничивает число форм волнового уравнения. Переход к гиперболическому оператору устраняет некоторые некорректные решения классической теории теплопроводности.

В [2] на основе математического анализа баланса теплоты при разнообразии функции $w_r = f(x, y, z, \tau)$ получено семейство форм волнового уравнения. В [5] представлены результаты исследования решений краевых задач переноса для уравнений гиперболического типа, где рассматривалась корректность постановки задачи при ГУ I и III рода. В [6] получено решение нелинейного гиперболического уравнения теплопроводности при ГУ I рода в квазистационарном режиме нагрева для полубесконечного тела. Показано, в рассматриваемом случае можно вместо гиперболического уравнения теплопроводности использовать решение параболического уравнения, при условии, что коэффициент теплопроводности будет функцией как температуры, так и скорости нагрева. В [7] рассматривается волновой теплоперенос в линейных и нелинейных средах на основе закона теплопроводности, учитывающего не только первые и вторые производные по времени от теплового потока, но и производные более высоких порядков, что позволило свести теплоперенос на основе гиперболического уравнения к задаче на основе параболического уравнения с запаздывающим аргументом по времени.

Таким образом, от правильности выбора дифференциального уравнения теплопроводности, гиперболического – для высокоинтенсивных процессов нагрева, или параболического типа – для процессов с интенсивностью, позволяющей принять скорость распространения теплоты бесконечно большой, зависит верность полученных решений. Возник важный вопрос: какие процессы считать высокоинтенсивными. В [8] отмечается, что при удельных тепловых потоках порядка $q = 10^7$ Вт/см^2 скачки температур могут составлять несколько сотен градусов. В [6] получено решение нелинейного уравнения теплопроводности, основанного на релаксационной модели переноса теплоты, для квазистационарного режима нагрева, что позволило оценить конечную скорость нагрева, при которой еще можно не учитывать конечность скорости распространения теплоты, и показано, что максимальная скорость нагрева описывается следующим выражением:

$$\left.\frac{dT}{d\tau}\right|_{max} = \frac{V_r^{\,2}}{a_r - \tau_r V_r^{\,2}}\left(T_w - T_0\right), \tag{5}$$

где V_r – линейная скорость движения поверхности (изотермы), a_r – коэффициент температуропроводности, T_w – температура поверхности (изотермы), T_0 – температурa окружающей среды. В [5] отмечается, что влияние конечности скорости распространения тепла на температурное поле будет ощутимым, если величина $\tau_r V_r^{\,2}$ будет больше либо равна погрешности определения a_r.

Коэффициент температуропроводности можно определить из соотношения для времени релаксации, приведенном в [9]:

$$\tau_r = 3a_r / \upsilon_r^2 \tag{6}$$

где υ_r – скорость звука.

Для оценки скорости нагрева материала при условии, что $\tau_r V_w^2 \le 0{,}1 \cdot a_r$, предложена следующая зависимость [6]:

$$\left.\frac{dT}{d\tau}\right|_{max} = \frac{T_w - T_0}{9\tau_r} \tag{7}$$

При скоростях, выше $\left.\frac{dT}{d\tau}\right|_{max}$, необходимо учитывать конечность скорости распространения тепла. Время релаксации оценивалось разными авторами для различных типов материалов, и было найдено, что его значение лежит в пределах от 10^{-9} с для газов до 10^{-14} с для металлов. Скорость нагрева выше 100 К/с называется высокой.

При существенной зависимости теплофизических и электрофизических свойств от температуры аналитические методы решения оказываются неэффективными. В этом случае решения получают с помощью численных методов: методы конечных разностей (метод сеток) [10], конечных элементов, конечных объемов, метод Монте-Карло [11]. При использовании численных методов необходимо разработать дискретное представление математической модели, что само по себе вносит погрешность в получаемые результаты. Недостатки численных методов состоят в том, что в их основе заложена погрешность, связанная с заменой исходных уравнений на аппроксимирующие, т.е. возникает погрешность вычислительного алгоритма, кроме того, их проведение трудоемко [12].

В [13] получено точное аналитическое решение гиперболического уравнения теплопроводности для бесконечной пластины при граничных условиях первого рода. Показано, что прогрев (охлаждение) тела определяется движением фронта ударной тепловой волны, на котором происходит скачок температур. При этом получается две подобласти: в одной температура изменяется от температуры на стенке до температуры на фронте волны, в другой, невозмущенной, температура равна начальной температуре. В работе отмечается, что для высокоинтенсивных процессов, время протекания которых сопоставимо с временем релаксации, решения при малых числах Фурье приводят к указанным выше парадоксам. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что, когда время релаксации велико, а скорость тепловой волны мала, решения дает гиперболическое уравнение теплопроводности, причем процессы не обязательно должны быть высокоинтенсивными.

Выводы

Математические модели для высокоинтенсивных процессов теплопроводности могут основываться на дифференциальных уравнениях различного типа, что позволяет задать корректную форму изотермической поверхности для исследуемой задачи. Верность полученных решений задач теплопроводности определяется правильностью выбора дифференциального уравнения теплопроводности, гиперболического – для высокоинтенсивных процессов нагрева, или параболического типа – для процессов, интенсивность которых позволяет допустить бесконечную скорость распространения теплоты. Имеющиеся зависимости позволяют определить граничную скорость нагрева, после которой нельзя пренебрегать конечной скоростью распространения теплоты в теле.

Для процессов любой интенсивности применение уравнения теплопроводности параболического типа позволяет решить проблему малых чисел Фурье. На малых числах Фурье прогрев (охлаждение) тела определяется движением фронта ударной тепловой волны, на котором происходит скачок температур.

Литература

1. Адамар, *Ж.* Задача Коши для линейных уравнений с частными производными гиперболического типа. [Текст] / Ж. Адамар. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
2. Шашков, А. Г. Волновые явления теплопроводности [Текст] / А.Г. Шашков, В.А. Бубнов, С.Ю. Яновский. – М., Эдиториал УССР, 2004. – 296 с.
3. Риман, Б. Математическое сочинение, в котором содержится попытка дать ответ на вопрос, предложенный знаменитейшей Парижской Академией [Текст] / Б. Риман. – Соч. М.; Л.: Гос. Техн.-теор. – Изд-во, 1948 . – 339 с.
4. Лыков, А. В. Теория теплопроводности [Текст] / А. В. Лыков. – М., 1967. – 559 с.
5. Карташов, Э. М. Краевые задачи для гиперболических моделей переноса. Математические методы и информационные технологии в химии и химической технологии [Текст] / Э.М. Карташов // Вестн. МИТХТ, 2008. – Т. 3, № 3. – С. 20-22.
6. Исаев, К. Б. К вопросу об учете конечной скорости распространения тепла в твердом теле [Текст] // Тр. V Минского межд. форума по тепломассообмену ММФ-2004. – Минск: ИТМО НАНБ, 2004. – С. 1-6.
7. Формалев, В.Ф. Возникновение и распространение тепловых ударных волн в нелинейных твердых средах [Текст] / В. Ф. Формалев, Е.Л. Кузнецова, И. А. Селин // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2013. – Т. 19, № 2. – С. 278-285.
8. Maurer, M. J. Non-Fourier Effects at High Heat Flux [Text] / M. J. Maurer, H. A. Thompson. // ASME J. of Heat Transfer, 1973. – Vol. 95. – P. 284-286.
9. Chester, M. Second sound in solids / M. Chester // Phys. Rev. – 1963. V. 131. – P. 2013-2015.
10. Никитенко, Н. И. Исследование нестационарных процессов тепло- и массообмена методом сеток [Текст] / Н. И.Никитенко. – К.: Наук. думка, 1971. – 266 с.
11. Решение краевых задач методом Монте-Карло [Текст] / Б.С. Елепов, А.А. Кронберг, Г.А. Михайлов, К.К. Сабельфельд // Новосибирск: Наука, 1980.– 173 с.
12. Самарский, А.А. Методы решения сеточных уравнений [Текст] / А.А. Самарский, Е.С. Николаев. – М.: Наука, 1978. – 592 с. Численные методы [Текст] / Н.С. Бахвалов, Н.С. Жидков, Г.М. Кобельков. – М.: Наука, 1987. – 632 с.
13. Кудинов, В.А. Об одном методе получения точного аналитического решения гиперболического уравнения теплопроводности на основе использования ортогональных методов [Текст] / В.А. Кудинов, И.В. Кудинов // Вестн. Сам. Техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. Наук. – 2010. - № 5 (21). – с. 159-169.

УДК 629.7.063.7

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОМАССООБМЕНА МАСЛЯНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ В ГТД

Михайленко Т. П., канд. техн. наук, доцент, Петухов И.И., канд. техн. наук, доцент,
Лисица А. Ю., канд. техн. наук, Немченко Д. А. , аспирант, Дуаиссиа Омар Хадж Аисса, аспирант
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков

Аннотация Наличие двухфазной среды – важнейшая особенность работы маслосистемы ГТД. Исследование процессов тепломассообмена масловоздушной смеси в системе смазки и трубопроводах двигателя летательного аппарата является одной из актуальных технических задач. Рассматриваются особенности протекания теплогидравлических процессов в маслосистеме ГТД и направления по усовершенствованию подходов к их описанию.

***Ключевые слова**: газотурбинный двигатель, маслосистема, двухфазный поток, масловоздушная смесь, процессы тепломассообмена.*

Annotation The presence of two-phase medium is the most important feature of a gas turbine engine oil system. Research of heat and mass transfer processes of oil-air mixture in the pipelines and parts of oil system of aircraft gas turbine engine is one of the urgent technical problems. The features of heat and hydraulic processes in the oil system of GTE and directions for improvement of approaches to their description are considered.

***Keywords**: gas turbine engine, oil system, two-phase flow, oil-air mixture, processes of heat and mass transfer.*

Авиационные газотурбинные двигатели (ГТД) и созданные в процессе их конверсии наземные газотурбинные установки различного назначения являются газодинамическими машинами, предполагающими высокие скорости вращения роторов. Надежная работа ГТД во многом определяется совершенством масляной системы (МС). Нарушения подачи масла к подшипникам и зубчатым зацеплениям

могут привести к перегреву двигателя, разрушению подшипников, заклиниванию ротора, в итоге – к остановке или даже к разрушению двигателя.

Маслосистема авиадвигателя обеспечивает смазку и охлаждение подшипниковых узлов, поддерживая их работоспособность на всех эксплуатационных режимах в течение ресурсного времени. Основными требованиями, предъявляемыми к системе смазки ГТД, являются [1, 2]:

- смазка трущихся поверхностей;
- отвод тепла, выделяющегося при трении и передающегося от соседних более нагретых деталей;
- защита трущихся поверхностей от коррозии и наклепа;
- удаление из узлов трения продуктов износа деталей и коксования масла;
- снижение шума в узлах трения и зубчатых зацеплениях.

Маслосистема в общем случае состоит из масляного бака, масляного радиатора, внешних и внутренних трубопроводов, нагнетающих и откачивающих насосов, масляных фильтров, воздухоотделителей, маслоохладителей, суфлеров, редукционных, обратных и предохранительных клапанов, форсунок и приборов контроля.

Широкое распространение получили разного рода циркуляционные схемы, пример одной из таких схем [3] показан на рис.1. В циркуляционных системах масло движется по замкнутому контуру и многократно используется для смазки и охлаждения узлов двигателя. Расход масла незначителен и определяется в основном потерями через суфлирующее устройство. Для обеспечения нормальной смазки и охлаждения возникает необходимость в высокой кратности циркуляции масла через двигатель. Подготовка масла к очередному циклу смазки сводится к его охлаждению, очистке от механических примесей, образовавшихся во время работы в двигателе, и отделению воздуха. Они значительно сложнее разомкнутых, но позволяют обеспечить смазку двигателя в течение многих часов работы двигателя с небольшим количеством масла.

В процессе эксплуатации двигателя могут возникать нарушения в работе маслосистемы независимо от выбранной схемы. К наиболее характерным причинам ухудшения работы системы смазки относятся отклонения давления и температуры масла от значений, указанных в инструкции по эксплуатации, повышенный расход масла.

Повышенный расход масла, как правило, наблюдается в случае возникновения утечек через уплотнения, что свидетельствует об ухудшение их работы. Утечки масла сопровождаются повышением температуры масла и падением давления. При повышении температуры масла из него начинают испаряться легкие фракции, вязкость масла увеличивается, ухудшая его пусковые качества. Кроме того, масло может начать разлагаться и окисляться. Продукты окисления приводят к изменению физико-химических свойств масла, загрязнению двигателя. Понижение давления масла может привести к кавитации насоса.

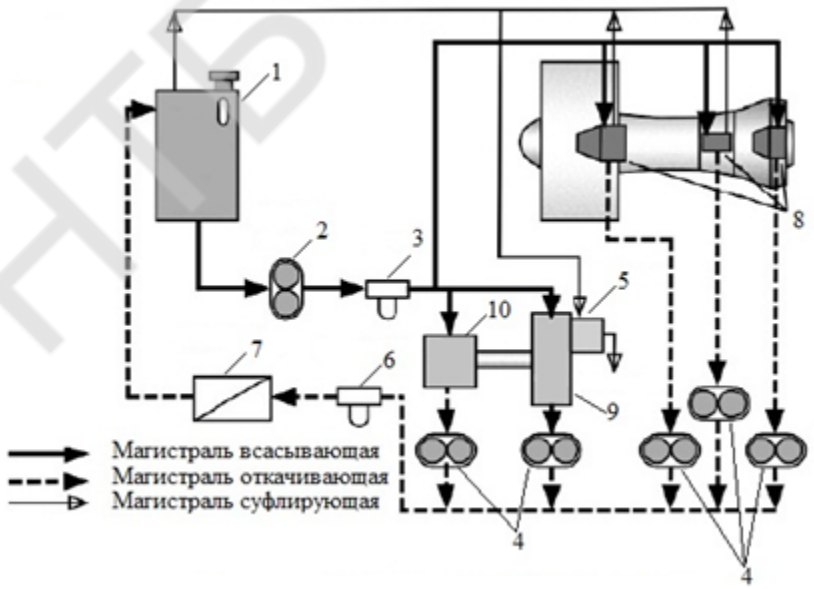


Рис. 1 – Принципиальная схема циркуляционной маслосистемы ГТД:
1 - масляный бак; 2 – нагнетающий насос; 3,6 – фильтр; 4 – блок откачивающих насосов;
5 – суфлер; 7 – топливомасляный теплообменник; 8 – узлы трения двигателя;
9 – коробка приводов; 10 – раздаточная коробка

Поскольку смазка осуществляется путем распыла и разбрызгивания масла, а движущиеся в масляных полостях элементы конструкции приводят к интенсивному его барботажу, в откачивающие магистрали вместе с маслом попадает воздух, а в суфлирующие воздушные магистрали – масло. Поэтому поток практически во всех элементах маслосистемы является двухфазным. В нагнетательной магистрали также может быть значительное количество пузырьков. Наличие двухфазной среды – важнейшая особенность работы маслосистемы ГТД. Воздушно-масляная эмульсия образуется также за счет выделения воздуха из масла при уменьшении внешнего давления.

При всплывании пузырьки образуют на поверхности масла пену. Воздух, находящийся в масле, снижает высотность системы, ухудшает смазку подшипников, уменьшает охлаждающую способность масла, приводит к повышенному расходу его из-за выброса пены через суфлирующие магистрали. Кроме того, наличие пены обусловливает ускоренное окисление масла вследствие его нагрева при сжатии в насосе. При интенсивном пенообразовании возможно образование паровой пробки и как следствие возникновение масляного голодания. Ввиду выше изложенного необходимо предпринимать меры по улучшению работы масляной системы еще на этапе ее проектирования.

В настоящее время проектирование маслосистем ГТД в значительной степени опирается на опытные данные и технологии, сложившиеся более 20 лет назад. Тенденции развития авиационных двигателей, направленные на снижение удельного расхода топлива и вредных выбросов, предполагают более высокие нагрузки и температуры в двигателе. Это ужесточает требования к маслосистемам и ведет к необходимости совершенствования их схем и элементов с использованием современных методов моделирования и проектирования, накопленных знаний о рабочих процессах. Обзор публикаций последних лет подтверждает актуальность работ в этом направлении, которые имеют целью снижение расхода масла наряду с улучшением охлаждающих характеристик, уменьшение массы системы смазки за счет упрощения конструкции ее элементов, снижение эксплуатационных затрат и повышение надежности.

При проектировании маслосистемы двигателя возникает необходимость расчета точного расхода смеси и потерь давления в трубопроводах, расчета теплообмена между смесью и элементами системы смазки, расчета критических режимов течения смеси в трубопроводах и местных сопротивлениях.

Практически в любом элементе маслосистемы движется не однофазная жидкость – масло, а смесь его с воздухом, причем часть воздуха растворена в масле. Состав раствора зависит от вида масла, его температуры и давления и может отличаться от равновесного при быстром изменении этих параметров. Всегда нуждаются в оценке вопросы учета концентрации паров масла в воздухе, отличия состава паровой и жидкой фаз масла. Последнее, например, может приводить к изменению состава масла в процессе эксплуатации из-за уноса воздухом легкокипящих компонентов. Менять свойства масла может также окисление его компонентов при контакте с воздухом.

Следует оценивать также влияние паров воды, содержащихся в исходном воздухе и продуктах сгорания, на свойства многокомпонентной системы. В отличие от воздуха, вода при параметрах рабочего процесса маслосистемы может претерпевать фазовый переход. Все это в совокупности с существенным изменение теплофизических свойств масла в ходе рабочего процесса также усложняет задачу моделирования маслосистем.

Структура двухфазного потока меняется по всему контуру маслосистемы. В откачивающей магистрали с объемным газосодержанием потока от 0,7 до 0,1 возможны пенный, расслоенный, снарядный или пузырьковый режимы течения. В нагнетательном контуре – пузырьковый режим течения. В суфлирующей магистрали поток имеет, как правило, дисперсную или дисперсно-кольцевую структуру с газосодержанием, близким к единице. Эту особенность нужно учитывать при тепловом и гидравлическом расчете, поскольку на перепад давления и теплоотдачу влияют не только газосодержание и теплофизические свойства фаз, но и режим течения (структура) двухфазного потока.

В связи с этим при расчете маслосистемы вряд ли продуктивно разделение расчетов на тепловой и гидравлический. Даже при чисто жидкостном адиабатном течении необходимо учитывать изменение вязкости масла с температурой. Для двухфазного потока изменение температуры и давления меняют не только теплофизические свойства фаз, но также газосодержание, плотность и скорость смеси. Это прямо влияет на гидравлические потери и условия теплообмена.

Кроме того, при определенных сочетаниях параметров может меняться структура двухфазного потока, влияние которой весьма существенно. Известные карты режимов течения [4, 5] носят лишь качественный характер и получены, в основном, при анализе течения водовоздушных и пароводяных потоков в трубах. Поэтому вопросы идентификации структуры двухфазной масляно-воздушной смеси даже для прямолинейных участков и установившегося течения не определены. Конфигурация трубопроводов маслосистемы с поворотными участками различной ориентации относительно силы тяжести, влияние гравитации из-за относительно малой скорости потока в отдельных каналах еще больше осложняют эту задачу.

Еще одна особенность двухфазных потоков связана с низкими значениями равновесной скорости звука. Для отдельных структур это может качественно изменить характер течения уже при скоростях потока 10-20 м/с. Отдельного исследования требуют также вопросы образования двухфазного потока при смешении воздуха и масла, разделения смеси в криволинейных каналах и вращающихся элементах центробежных сепараторов фаз.

Перечисленные задачи могут решаться с использованием экспериментальных данных и расчетных методов для различных режимов течения двухфазной смеси.

Исследование процессов тепломассообмена масляно-воздушной смеси в системе смазки двигателя летательного аппарата является одной из актуальных технических задач. Математическое моделирование сложных процессов основывается на рассмотрении системы уравнений, содержащей фундаментальные уравнения математической физики, начальные и граничные условия. В рассматриваемых случаях всё сводится к моделированию внутренних течений двухфазных потоков в каналах различной геометрии, жидкая и газообразная фаза которых обмениваются массой, теплотой и количеством движения. Разработка математической модели, программная реализация численных методов решения задач гидродинамики и тепломассообмена двухфазных потоков представляет самостоятельную научную задачу. На основании результатов численного исследования можно будет делать выводы относительно эффективности того или иного элемента системы и затем принимать дальнейшие решения по улучшению работы маслосистемы. Результаты математической модели могут быть использованы при проектировании и оптимизации системы смазки ГТД.

На данный момент известны методики тепловых и гидродинамических расчетов однофазного течения в маслосистеме [6], разработаны специальные программные комплексы, позволяющие анализировать распределение расхода, давления и температуры масла на различных участках системы смазки. Однако такой подход приводит к большим погрешностям в виду того, что параметры потока в значительной степени определяются свойствами и характером поведения компонентов в смеси.

Выводы

Проведенный обзор литературы показывает актуальность работ по модернизации маслосистем ГТД в связи с необходимостью повышения надежности и улучшения эксплуатационных характеристик двигателя.

На данный момент известны методики тепловых и гидродинамических расчетов однофазного течения в маслосистеме. Однако такой подход приводит к большим погрешностям ввиду того, что параметры потока во многом определяются газосодержанием, концентрацией паровой и жидкой фаз масла. В процессе эксплуатации двигателя происходит изменение состава масла вследствие окисления его компонентов, при уносе легкокипящих составляющих воздухом. В результате изменяется структура потока меняются теплофизические свойства масляно-воздушной смеси. Например, при переходе от пузырькового к пробковому режиму течения вязкость смеси снижается, тем самым ухудшая смазку опор трения, увеличение газосодержания приводит к ухудшению отвода теплоты от узлов трения в масло.

Исследования по представленным направлениям требуют теоретических подходов к решению задач, применение современных программных пакетов для проведения численных экспериментов, наличие стендовой базы. В частности, разработка методики теплогидравлического моделирования маслосистемы с целью оптимизации ее работы и упрощения проектирования является одной из перспективных задач. Данная тема изучена мало, несмотря на широкий ряд существующих тепловых моделей для однофазной жидкости и моделей отдельных элементов системы.

Вопрос идентификации режимов течения масляно-воздушного потока на различных участках системы уже решается, но единой методики расчетов пока нет. Поэтому актуальной является разработка методики расчета процессов тепломассообмена и потерь давления при течении масляно-воздушной смеси в трубопроводах и элементах системы смазки.

Литература

1. Иноземцев, А.А. Автоматика и регулирование авиационных двигателей и энергетических установок. Системы [Текст]: Т. 5, сер. Газотурбинные двигатели / А.А. Иноземцев, М.А. Нихамкин, В.Л. Сандрацкий. - М.: Машиностроение, 2008. – 200с.
2. Домотенко, Н.Т. Масляные системы газотурбинных двигателей [Текст] / Н.Т. Домотенко, А.С. Кравец. - М.: Транспорт, 1972. – 96 с.
3. Бич, М.М., Смазка авиационных газотурбинных двигателей [Текст] / М.М. Бич, Е.В. Вейнберг, Д.Н. Сурнов; под ред. Г.С. Скубачевского. - М.: Машиностроение, 1979. - 176с.
4. Баттерворс, Д. Теплопередача в двухфазном потоке [Текст] / пер. с англ. А.В. Ягова [и др.] / под ред. Д.А. Лабунцова. – М.: Энергия, 1980. – 328с.
5. Лабунцов, Д.А. Механика двухфазных систем: учеб. пособие для вузов [Текст] / Д.А. Лабунцов, В.В.Ягов – М.: Изд-во МЭИ, 2000. –374 с.
6. Lu Yaguo. Numerical simulation of aero engine lubrication system [Text] / Lu Yaguo, Liu Zhenxia, Huang Shengqin // ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2009. - Vol.131. –P. 34-36.

УДК 532.529: 533.6

СТРУЙНЫЕ АППАРАТЫ В СИСТЕМАХ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Петухов И. И. канд. техн. наук, доцент, Шахов Ю.В.
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков

Аннотация Рассмотрен рабочий процесс неоднофазных струйных аппаратов для охлаждения и получения шугообразного состояния жидкости, подходы к его математическому моделированию, приведены результаты теоретического и экспериментального исследования. Разработанные методы использованы для исследования процессов замораживания ягод и производства "жидкого льда", термообработки молока и соков.
***Ключевые слова**: струйный аппарат, фазовые переходы, охлаждение, замораживание, шугообразное состояние.*

Annotation The multiphase jet devices working process is considered for liquid cooling and liquid slush state generation, approachs to its mathematical simulation, the results of theoretical and experimental research are resulted. The developed calculation methods were used for berries freezing processes and "liquid ice" production investigations, milk and juice heat treatment.
***Keywords**: jet device, phase transitions, cooling, freezing, slush state.*

Задачи охлаждения и кристаллизации жидкости или насыщенных ею структур имеют широкое распространение в аэрокосмической и низкотемпературной технике, пищевой и перерабатывающей промышленности, представляют интерес при осушении водонасыщенных шламов, при разделении многокомпонентных смесей и в других областях. Интенсификация этих процессов позволяет уменьшить габариты и массу теплообменников, время процесса. В технике криогенных топлив малые габариты и масса охлаждающих устройств в ряде случаев определяют саму возможность их использования. Малое время охлаждения позволяет значительно повысить качество продукта при высокотемпературной термообработке молока и других пищевых растворов.

Интенсификация теплообмена в поверхностных теплообменниках сопряжена с ростом габаритов, массы и гидравлических потерь. Определенными преимуществами в этом смысле обладают системы с испарительным охлаждением жидкости. Достаточно широко такое охлаждение используется для криогенных жидкостей, особенно в аэрокосмических комплексах заправки и термостатирования жидких кислорода и водорода.

Наиболее простым для реализации является метод вакуумирования парового пространства емкости [1]. Однако в этом случае полное давление охлаждаемой жидкости снижается до давления насыщения, возможно температурное расслоение жидкости по высоте емкости, попадание в нее атмосферного воздуха, не используется располагаемая работа пара. Отмеченные недостатки в значительной мере устраняются в струйном охладителе жидкости (СОЖ) [2]. Охлаждение здесь реализуется в потоке при истечении вскипающей жидкости из сопла, когда снижается не полное, а статическое давление жидкости.

Идеализированный рабочий процесс устройства приведен на рис. 1. В геометрическом сопле 1 происходит изоэнтропное расширение потока от давления P_1 на входе до давления P_2 на срезе, которое отвечает давлению насыщения для заданной температуры охлаждённой жидкости и обеспечивает двухфазное, а при получении шуги трехфазное состояние в сечении 2. Точка "S" соответствует началу парообразования в потоке вскипающей жидкости. Парожидкостный поток на срезе сопла имеет более низкую, чем на входе, температуру и обладает кинетической энергией $W_2^2/2$. Причем скорость W_2 больше той, которая реализуется при расширении жидкости без вскипания.

В сепараторе 2 поток без изменения кинетической энергии разделяется на фазы. Паровая фаза отводится через сечение 6, а охлажденная жидкость восстанавливает свое давление в диффузоре 3. За счет работы, совершаемой паром при совместном расширении в сопле, полное давления P_5 охлажденной жидкости на выходе СОЖ в идеализированном процессе всегда больше давления P_1 на входе (см. рис.1). Доля образующегося в сопле пара тем выше, чем больше требуемая величина захолаживания жидкости $\Delta T_{15} = T_1 - T_5$. Поэтому с ростом ΔT_{15} увеличивается и величина ΔP_{15} приращения полного давления жидкости в СОЖ (рис. 2). Там же приведена зависимость от величины захолаживания доли $K_B = m_5/m_1$ охлажденного водорода. В режиме переохлаждения, когда давление на срезе сопла ниже атмосферного, доля охлажденного водорода K_B значительно выше, чем в случае охлаждения.

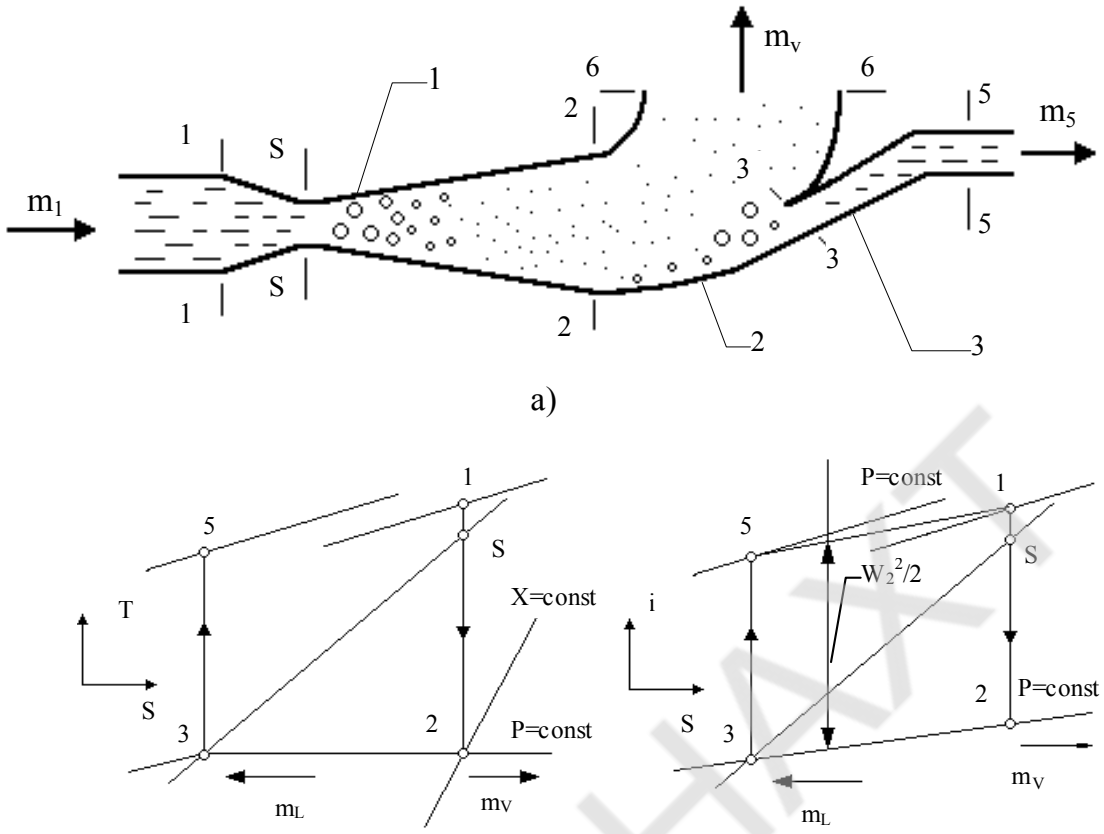


Рис. 1 – Идеализированный рабочий процесс СОЖ
а) схема СОЖ: 1 - сопло; 2 - поверхностный сепаратор; 3 - диффузор;
б) идеализированный рабочий процесс СОЖ в T, S – и i, S – координатах

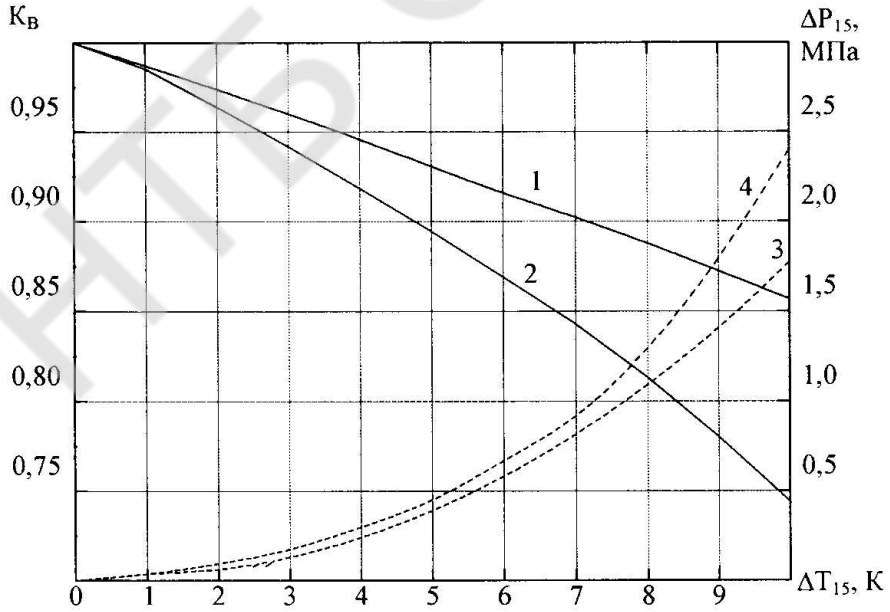


Рис. 2 – Зависимость прироста полного давления ΔP_{15} и доли $K_B = m_5/m_1$ охлажденного водорода от величины захолаживания жидкости ΔT_{15}.
P_1 = 0,6 МПа; 1, 2 - K_B; 3,4 - ΔP_{15}; 1, 4 - P_2 = 8 кПа; 2, 3 - P_2 = 100 кПа.

НТБ ОНАХТ

Для жидких кислорода, азота и метана потери жидкости на испарение практически одинаковы как для охлаждения, так и для переохлаждения. При охлаждении на 5 К до состояния насыщения при атмосферном давлении необходимо испарить 3,2 % метана, 4,5 % азота, 3,7 % кислорода, 10,5 % водорода и менее 1% воды. Водородную шугу с массовой долей кристаллов 50% можно получить, испарив 6,4% жидкости, находящейся при параметрах тройной точки. Эти результаты приведены для идеализированного СОЖ, когда рабочие процессы в его элементах равновесные, а разделение фаз в сепараторе полное.

Действительный рабочий процесс СОЖ значительно сложнее. Необратимые потери в сопле проявляются как вследствие трения потока о стенки, так и из-за термической и скоростной неравновесности фаз. Вклад каждого из этих факторов зависит от рода и чистоты жидкости, режимных параметров СОЖ, геометрии сопла. Разработанные методы расчёта течения вскипающего потока в канале заданной геометрии [3, 4, 5] учитывают описанные эффекты и дают удовлетворительное согласование расчетных и опытных данных по расходу через сопло и параметрам фаз на его срезе.

Сложность разделения парожидкостного потока в сепараторе связана с высокой его скоростью на входе (до 250 м/с) и необходимостью максимального отделения пара от жидкости при минимальном снижении полного давления последней. Скорость жидкости в сепараторе уменьшается как из-за трения о стенки, так и вследствие неупругого удара при осаждении капель [6]. Взаимодействие капель с поверхностью сопровождается разбрызгиванием уже осадившейся жидкости и внедрением в нее паровых включений [7], отражённые капли и разбрызгиваемая жидкость взаимодействуют с каплями исходного потока [8]. Перегрев жидкости на срезе сопла приводит к ее кипению в отсепарированном слое, а повышенное давление у криволинейной поверхности - к конденсации паровых включений. В результате структура отсепарированного слоя существенно неоднородна как по температуре, так и по паросодержанию [9].

В диффузор 3 входит часть отсепарированного слоя, определяемая высотой захватывающей щели в сечении 3 - 3 (см. рис. 1). С увеличением высоты щели возрастает не только доля жидкости, попадающей в диффузор, но и количество пара, захватываемого с потоком охлажденной жидкости. Скорость потока на входе в диффузор выше равновесной скорости звука и при его торможении возникает скачек уплотнения-конденсации. Выход скачка из диффузора сопровождается резким снижением расхода охлажденной жидкости [10].

Выполненные исследования СОЖ и разработанные методы его расчёта и профилирования [11] позволили на практике реализовать отмеченные выше преимущества, достаточно точно описать характеристики СОЖ и контуров на его основе, границы области устойчивой работы этой системы [10, 12]. При стендовых испытаниях криогенных насосов обеспечено охлаждение и повторное использование (рециркуляция) жидких водорода, кислорода и природного газа с расходом 0,1…400 кг/с. В зависимости от режима испытаний и рода компонента расход охлаждённой на 2...20 К жидкости составлял 0,62...0,95 от расхода на входе в СОЖ. Это соответствует 91…96% максимально достижимого расхода в идеализированном процессе. Причем струйные аппараты по массе и габаритам в 30...100 раз меньше, чем поверхностные теплообменники с аналогичной тепловой нагрузкой.

При давлении на срезе сопла ниже тройной точки в СОЖ можно получить шугообразное состояние жидкости и регулировать его параметры. Разработанные методы расчета позволяют определить необходимые для этого геометрию и режим работы [4, 13]. Например, для получения шугообразного водорода с размером кристаллов менее 40 мкм давление на входе в СОЖ составляет 0,18 МПа, полное давление потока шуги с концентрацией твердой фазы 50% на выходе 0,12 МПа. При температуре жидкого водорода на входе 21 К для реализации такого процесса необходимо испарить около 24% жидкости. Возможность получения потока шуги в СОЖ была подтверждена в эксперименте на азоте.

Струйные охладители жидкости могут также использоваться при термообработке молока и в вакуум-выпарных установках [14, 15]. Конструкция не содержит подвижные элементов и обслуживаемых мест уплотнений. Отсутствие застойных зон обеспечивает возможность безразборной мойки оборудования. Дополнительно в зонах с градиентом давления больше 50 МПа/м реализуется эффект дробления жировых шариков и гомогенизации смеси, способствующий также и обезвреживанию микрофлоры.

В струйных аппаратах существует возможность повышения полного давления нагреваемой или охлаждаемой жидкости, обеспечивается эффективная регенерация теплоты потоком пара. В действующих установках для стерилизации это позволяет уменьшить затраты греющего пара и холодной (ледяной) воды на 20...50% в зависимости от температуры термообработки и исходного коэффициента регенерации теплоты. Эффективность струйных аппаратов увеличивается с ростом температуры термообработки, что выгодно отличает их от поверхностных теплообменников для молока. Разработаны проекты модернизации существующих пастеризационно-охладительных установок с повышением температуры термообработки до уровня стерилизационных установок при минимальных капиталовложениях. С ростом уровня температуры увеличивается и плотность пара, что позволяет сделать устройства более компактными.

Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о значительных преимуществах струйных охладителей жидкости по сравнению с традиционными устройствами испарительного охлаждения. Высокие значения коэффициента теплоотдачи в сочетании с развитой межфазной поверхностью теплообмена обеспечивают скорость охлаждения жидкости до 600 К/с при массе СОЖ в 30…100 раз ниже, чем у поверхностного теплообменника с такой же тепловой нагрузкой. СОЖ устойчиво работает при двухфазном состоянии поттока на входе. Причём давление охлажденной жидкости всегда выше давления насыщения.

Разработанные методы расчета СОЖ апробированы для различных сред и режимных параметров, при стендовых испытаниях штатных насосных агрегатов, и позволяют надежно прогнозировать характеристики СОЖ, профилировать их проточную часть. При давлении на срезе сопла ниже тройной точки реализовано шугообразное состояние потока. Это особенно важно для водорода, так как в таком состоянии значительно увеличивается не только его хладоресурс, но и плотность.

При использовании азота или сухого воздуха подобный струйный аппарат обеспечивает осушение керосина, а при холодном азоте ещё и охлаждение перед заправкой в топливные баки. Опробовано использование СОЖ для удаления легкокипящих фракций углеводородных топлив. Использование струйных охладителей жидкости возможно во всех выпарных установках и системах, где жидкость можно охлаждать за счет частичного испарения в адиабатных условиях.

Отработанные модели описания межфазного тепломассообмена пригодны для расчёта процессов испарительного охлаждения и замораживания жидкости и насыщенных ею структур, например, в технологиях жидкого льда и быстрого замораживания ягод и фруктов.

Литература

1. Гетманец В.Ф., Михальченко Р.С., Архипов В.Т. Исследование затвердевания криогенных жидкостей при использовании откачки. - Инженерно-физический журнал, **22**, 648-655 (1982).
2. Дыменко С.К., Петухов И.И., Турнов М.А., Фролов С.Д., Ястремский И.П. О применении струйного парожидкостного сепарационного насоса для осуществления рециркуляции криогенных жидкостей // В кн.: Газотермодинамика многофазных потоков в энергоустановках, вып.2 - Харьков, 1979г. - С. 31-35.
3. Петухов И.И., Сырый В.Н. Численное моделирование вскипающих потоков криожидкостей с кристаллизацией капель // Авиационно-космическая техника и технология, 2005, вып. 1(17). - С. 30-33.
4. Петухов И.И., Шахов Ю.В., Сырый В.Н. Метод расчета сопла струйного охладителя криогенной жидкости // Авиационно-космическая техника и технология, - 2006. -№ 35. -С. 98-103.
5. Петухов И.И., Шахов Ю.В., Сырый В.Н. Исследование истечения вскипающего параводорода из сопла струйного охладителя // Авиационно-космическая техника и технология. № 9 (45). -2007. С. 16-19.
6. Петухов И.И. Исследование движения жидкости на участке осаждения капель поверхностного сепаратора // Газотермодинамика многофазных потоков в энергоустановках. Вып. 5. – Харьков: ХАИ. - 1982. – С.86-93.
7. Петухов И.И. Формирование отсепарированного слоя на участке осаждения капель. // В кн.: Газотермодинамика многофазных потоков в энергоустановках, вып.6, - Харьков: ХАИ, 1984. - с.50-54.
8. Петухов И.И., Давыдов Ю.Е., Шахов Ю.В. Взаимодействие частиц при сепарации фаз высокоскоростного паро-капельного потока. // В кн.: Газотермодинамические процессы в энергоустановках с многофазным рабочим телом, Харьков, 1990, с.54…58.
9. Петухов И.И., Фролов С.Д., Шашко В.А., Ястремский И.М. Исследование структуры высокоскоростного потока на выходе поверхностного сепаратора // Газотермодинамика многофазных потоков в энергоустановках. Вып. 5. – Харьков: ХАИ. - 1982. – С.93-98.
10. Петухов И.И., Шахов Ю.В., Сырый В.Н., Давыдов Ю.Е., Косицын И.П. Струйная система утилизации жидкого водорода при испытаниях насоса ГТД. // Материалы второго конгресса двигателестроителей Украины с иностранным участием. Киев-Харьков-Рыбачье, 22-25 сентября 1997 г., С.364-369.
11. Петухов И.И., Шахов Ю.В. Расчет статических характеристик струйного охладителя жидкости // Авиационно-космическая техника и технология – 2010, №7(74) Харьков, "ХАИ", С. 71-76.
12. I. Petukhov, V. Bredikhin, Y. Shakhov Jet equipment for cryogenic fuel cooling // XIV ISABE, Florence, Italy, September 5-10, 1999, Paper 99-7205.
13. Петухов И.И. Рабочий процесс струйного генератора шугообразного водорода // Авиационно-космическая техника и технология. Сб. научных трудов ГАКУ ХАИ. -1999, -вып. 13, -С.103-110.
14. Петухов И.И., Шахов Ю.В., Маникин И.Б. Струйные аппараты для пароконтактного нагрева питьевого молока // Авиационно-космическая техника и технология. Сб. трудов ХАИ 1994 года. Харьков, 1995 г. – с. 107-109.
15. Петухов И.И., Шахов Ю.В. Применение сепарационного насоса в качестве калоризатора и пароотделителя вакуум-выпарной установки непрерывного действия // Патент РФ №2032347 от 10.04.1995г.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНВЕКЦІЙНОГО КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ Й ВТРАТ НАПОРУ ПРИ ВИМУШЕНОМУ РУСІ НАНОХОЛОДОНОСІЯ НА ОСНОВІ ПРОПІЛЕНГЛІКОЛЮ В ТРУБІ

Рябікін С.С., Хлієва О.Я., канд. техн. наук, доцент
Одеська національна академія харчових технологій

Інтерес к дослідженням застосування нанофлюїдів в якості тепло- і холодоносіїв останні роки значно посилився. В якості особливостей, які визначають можливість використання нанофлюїдів в теплообмінному обладнанні, можна відзначити їх більш високу, у порівнянні з базовою рідиною, теплопровідність, відмінну седиментаційну стабільність (при правильно підібраному складі і наявності агрегативної стійкості наночастинок). Крім того, багатьма дослідниками експериментально показано збільшення величини конвекційного коефіцієнта тепловіддачі при використанні нанофлюїдів, у порівнянні з базовою рідиною, яка не завжди узгоджується зі збільшенням теплопровідності досліджуваного нанофлюїда. Ще одна особливість дослідження інтенсифікації процесу тепловіддачі при використанні нанофлюїдів, яка виявлена при аналізі наявних літературних даних, полягає в істотному розходженні впливу на коефіцієнт тепловіддачі добавок наночастинок до теплоносія. Різні дослідники показують як незначний (порівняний з похибкою експерименту), так і дуже великий внесок в збільшення коефіцієнта тепловіддачі добавок наночастинок до базової рідини. Пояснити такі різні ефекти добавок наночастинок досить складно. Частково такі результати пов'язані зі складним компонентним і дисперсним складом нанофлюїдів, який неможливо відтворити навіть одними і тими ж дослідниками. У зв'язку з викладеним слід констатувати необхідність проведення подальших експериментальних досліджень впливу добавок наночастинок на інтенсивність тепловіддачі. Кінцевою метою виконаних досліджень є правильний вибір складу нанофлюїда, який має певні перспективи як в холодильній техніці, так і в різноманітному теплоенергетичному обладнанні.

При виборі складу нанохолодоносія слід враховувати й негативні фактори впливу добавок наночастинок в базовий тепло- або холодоносій. Практично всіма дослідниками констатується збільшення в'язкості базової рідини при введенні наночастинок. Причому дане збільшення в'язкості тим істотніше, чим нижче температура нанофлюїду. Тому дуже важливим питанням при розгляді перспектив застосування нанофлюїдів як холодоносіїв є дослідження втрат напору в трубках і каналах теплообмінного обладнання. Тільки комплексне дослідження теплофізичних властивостей, коефіцієнтів тепловіддачі і втрат напору конкретного нанотеплоносія або нанохолодоносія може дозволити зробити висновок про перспективи впровадження даного нанофлюїда в холодильному або теплоенергетичному обладнанні.

Відповідно до викладеного метою дослідження є експериментальна оцінка як коефіцієнта тепловіддачі, так і втрат напору при вимушеному русі холодоносія та нанохолодоносія в трубі.

В якості об'єктів дослідження в роботі були розглянуті перспективні для застосування в в енергетичному обладнанні та холодильній техніці водні розчини пропіленгліколю і речовини, що регулює в'язкість з домішками наночастинок Al_2O_3. При приготуванні нанофлюїда використовувалися наночастинки Al_2O_3 α-модифікації виробництва Wenzhou Jingcheng Chemical Co з розміром наночастинок в порошку 10 ± 5 нм. Нанофлюїд готувався двоступінчастим методом з диспергуванням наночастинок в бісерному млині з подальшою ультразвуковою обробкою.

Експерименти з вивчення інтенсивності процесу теплообміну при вимушеній конвекції холодоносія та нанохолодоносія на його основі, а так же втрат напору в трубі проводилися на експериментальній установці, розробленій в лабораторії кафедри теплофізики та прикладної екології ОНАХТ. Установка представляє собою прямоточний теплообмінний апарат типу «труба в трубі», в якому досліджуваний теплоносій (холодоносій або нанохолодоносій) рухається в трубі, а другий теплоносій (вода) - в міжтрубному просторі.

Схема руху теплоносіїв в розглянутій експериментальній установці була прийнята прямоточною. Внутрішня труба має діаметр 0,01 × 0,001 м, довжина робочої ділянки труби становить 0,9 м. Зовнішній контур теплообмінника підключений до холодильної системі, тому температура води на вході у зовнішній контур в процесі експерименту на одному з обраних режимів підтримувалася практично постійною. В експерименті витрата води в зовнішньому контурі була фіксованою і рівною 0,0600 кг/с. Витрата холодоносія у внутрішньому контурі варіювалася за допомогою регулюючого вентиля в діапазоні від $20{,}8 \cdot 10^{-6}$ до $92{,}5 \cdot 10^{-6}$ $м^3/с$. Температура холодоносія і нанохолодоносія на вході в робочу ділянку змінювалася в інтервалі від 0 до 40 °С. Вимірювання локальних коефіцієнтів тепловіддачі і тиску

поводились на відстані X = 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75 і 0,90 м від входу холодоносія в робочу ділянку. Дана ділянка характеризувався гідродінамічно стабілізованим режимом течії рідини так як на вході холодоносія в робочу ділянку був практично ізотермічна ділянка труби довжиною близько 1 м.

На підставі виконаних експериментальних досліджень було встановлено вплив добавок наночастинок з певною концентрацією на коефіцієнт тепловіддачі і на втрати напору в залежності від числа Рейнольдса. Зроблено висновки про можливість застосування розглянутого нанофлюїда на основі водного розчину пропіленгліколю і наночастинок Al_2O_3 у холодільній техниці.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ У НАНОФЛЮЇДІ ІЗОПРОПІЛОВИЙ СПИРТ / НАНОЧАСТИНКИ Al_2O_3

Лозовський Т. Л. докторант, Желєзний В. П. д-р техн. наук, проф., Мотовой И. В. аспірант, Гордейчук Т.В. аспірант
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Питання впливу наночастинок на калорійні властивості і параметри фазових переходів базових речовин залишаються найменш вивченими. Методи адіабатної калориметрії дозволяють отримати необхідну інформацію не тільки о теплоємності нанофлюїдів, але і вивчати вплив наночастинок на структурні фазові переходи досліджуваних зразків у твердій і рідкій фазах. У доповіді представлені нові експериментальні дані про теплоємності на лініях фазових переходів для чистого ізопропілового спирту і нанофлюїдах (розчини ізопропілового спирту і наночастинок Al_2O_3)) в інтервалі температур від 190 до 324 К і масових концентраціях наночастинок 2,01%, 5,11%, 9, 96% (див. рис.1 і 2). Зразки нанофлюїдів ізопропанол-C_3H_8O/наночастинки Al_2O_3 готувалися шляхом змішування чистого изопропанола (CAS 67-63-0) з вихідним зразком нанофлюїда (CAS 70-21-29), що містив 80 мас.% ізопропілового спирту і 20 мас.% наночастинки Al_2O_3, середній розмір яких складав 50 нм. Як показало дослідження цих нанофлюїдів, вони залишалися стійкими в процесі експериментального дослідження.

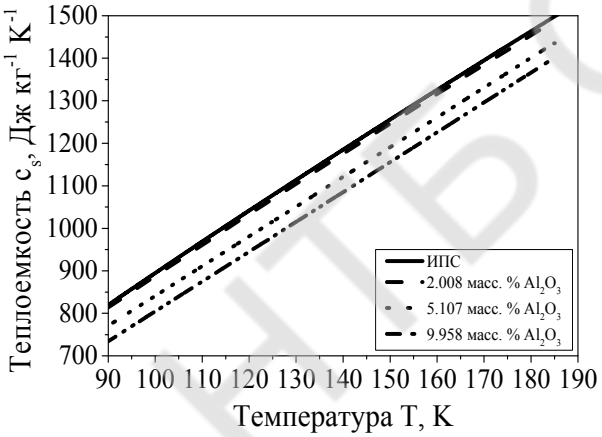


Рис.1 - Температурна залежність теплоємності досліджених зразків ізопропіловий спирт / наночастинки Al_2O_3 в твердій фазі

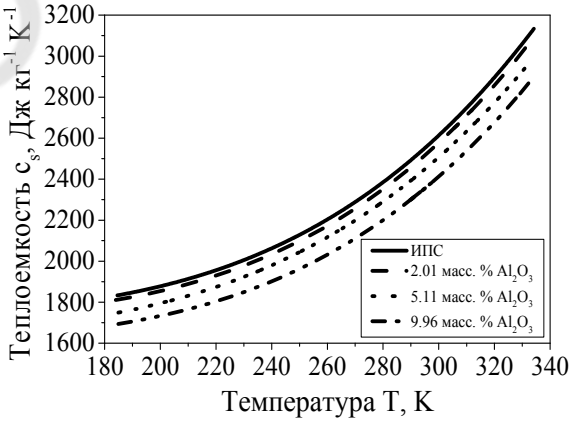


Рис.2 - Температурна залежність теплоємності досліджених зразків ізопропіловий спирт / наночастинки Al_2O_3 в рідкій фазі

Дослідження проведені на експериментальній установці, що реалізує метод прямого нагріву в адіабатному калориметрі. Виконаний аналіз показує, що розширена невизначеність отриманих даних о теплоємності нанофлюїдів не перевищує 0.45%. Отримані дані вказують на те, що домішки наночастинок Al_2O_3 призводять до зменшення теплоємності твердої і рідкої фази ізопропілового спирту. Отримані дані о калорійних властивостях ізопропілового спирту добре узгоджуються з довідковими та літературними даними.

У роботі вперше отримано інформацію про параметри структурних перетворень об'єктів дослідження в твердій фазі. Показано, що об'єкти дослідження, охолоджені зі швидкістю 6 - 2.5 град / хв, при збільшенні

температури можуть перебувати в кристалічному, склоподібного і метастабільному станах. Отримана нова інформація о теплоємності об'єктів дослідження в склоподібному і метастабільному станах (див. Рис.3 і 4). Розглянуто закономірності фазового переходу другого роду: склоподібний стан - метастабільна рідина.

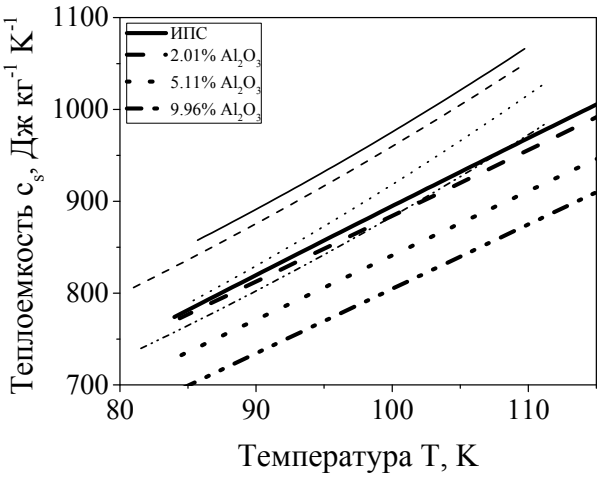


Рис. 3- Температурна залежність теплоємності досліджених зразків ізопропіловий спирт / наночастинки Al_2O_3 в твердій фазі (товсті лінії) і склоподібному стані (тонкі лінії)

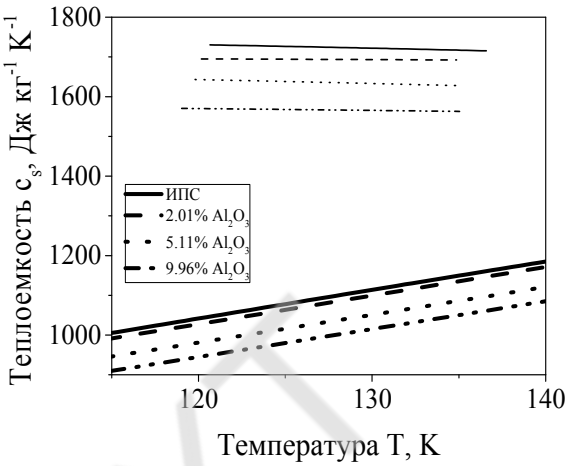


Рис.4 - Температурна залежність теплоємності досліджених зразків ізопропіловий спирт / наночастинки Al_2O_3 в твердій фазі (товсті лінії) і метастабільному стані (тонкі лінії)

Теплоємність зразків в склоподібному стані вище ніж теплоємність зразків тієї ж концентрації у твердій фазі на 7.5-10.5% (див рис. 3). Ефективна теплоємність нанофлюїдів в метастабільному стані в інтервалі температур 120-135 К вище приблизно на 32-60% теплоємності зразків у твердій фазі (див рис. 4).

Проведені дослідження показують, що домішки наночастинок в розчині ізопропілового спирту призводять до зменшення температури плавлення і теплоти плавлення.

На основі отриманих експериментальних даних була запропонована нова «трифазна» модель прогнозування теплоємності нанофлюїдів. Запропонована модель враховує надлишкову теплоємність розчинів ізопропіловий спирт / наночастинки Al_2O_3, значення якої визначається теплоємністю шару, який формується за рахунок адсорбції на поверхні наночастинок.

АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Хлієва О.Я., канд. техн. наук, доцент
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Частка споживання електричної енергії холодильним обладнанням від загального енергоспоживання в промисловості за різними оцінками становить від 10 до 30%. Пріоритетним напрямком розвитку всієї промисловості є як зниження енергоспоживання обладнанням, так і зменшення впливу даного обладнання (як в процесі його виробництва, так і експлуатації) на навколишнє середовище.

Можливі напрямки підвищення енергетичної ефективності холодильного обладнання пов'язані з широким використанням низькопотенційних і альтернативних джерел енергії. Певну перспективу для практичного застосування мають холодильні машини, які споживають низькопотенційну теплоту різних джерел (абсорбційні, пароежекторні), або які використовують альтернативні джерела енергії (сонячну енергію). Так само перспективним напрямком є впровадження в енергетику нанотехнологій. Області застосування нанотехнологій великі. Стосовно до холодильної промисловості їх реалізація може полягати у використанні нанофлюїдів в якості тепло- і холодоносіїв в системах з проміжним контуром, а також у використанні компресорних мастил з добавками наночастинок в парокомпресійному холодильному обладнанні. Впровадження використання нанофлюїдів в холодильних системах не буде сприяє істотній

модернізації устаткування, на відміну від створення нових холодильних систем, які замість електричної енергії будуть споживати низкопотенційну теплову.

Метою представленої роботи є еколого-енергетичне обґрунтування зазначених вище підходів підвищення ефективності холодильного обладнання при розгляді конкретних прикладів.

Для обґрунтування перспектив застосування пароежекторних і абсорбційних холодильних установок в системах кондиціонування в кліматичних умовах України був виконаний розрахунок енергетичних характеристик, а так само підбір основного обладнання для системи кондиціонування холодопродуктивністю 70 кВт. При розрахунку приймалося, що джерелом теплоти для розглянутих установок може служити гаряча вода або водяна пара низького тиску різних технологічних виробництв. Для порівняння був виконаний розрахунок енергетичних характеристик парокомпресійної холодильної установки при тих же робочих параметрах. В якості холодоагентів в пароежекторной і в парокомпрессионной холодильних системах був прийнятий «натуральний» холодоагент ізобутан (R600a), а для абсорбційної - вода (водний розчин LiBr). При підборі обладнання та оцінці його вартості враховувалися додаткові витрати, пов'язані з забезпеченням пожежної безпеки R600a. Обґрунтування перспектив застосування того чи іншого виду обладнання було виконано на підставі еколого-енергетичного методу аналізу, що враховує емісію парникових газів за життєвий цикл розглянутої енергетичної системи [1, 2].

Виконаний аналіз показує, що з еколого-енергетичної точки зору, абсорбційна система сильно програє як парокомпресійній, так і пароежекторній, незважаючи на те, що при аналізі не враховувалися витрати на отримання низкопотенційної теплоти. Такі результати пояснюються як великою енергоємністю обладнання, так і додатковими витратами енергії на роботу насосів в системі циркуляції робочого тіла в абсорбційній холодильній установці. Пароежекторні холодильні установки, незважаючи на свою меншу ефективність з енергетичної точки зору, виграють з еколого-енергетичної позицій перед абсорбційними машинами і можуть скласти конкуренцію парокомпресійним холодильним машинам в силу простоти конструкції і малої енергоємності обладнання.

Слід зазначити, що на підставі виконаного аналізу був зроблений висновок про те, що обґрунтування застосування того чи іншого альтернативного холодильного обладнання необхідно виконувати в кожному конкретному випадку з урахуванням кліматичних особливостей, структури виробництва електроенергії в регіоні, наявності або відсутності низькопотенційного джерела теплоти і його вартості і інших чинників. Ніяких загальних висновків про перспективність абсорбційних або пароежекторних холодильних установок без розгляду їх в структурі технологічного процесу робити не можна. Слід також зазначити, що навіть при певній еколого-енергетичній доцільності, на практиці впровадження нового тепловикористовуючого обладнання буде вести до істотних додаткових капітальних витрат.

Другий можливий шлях підвищення еколого-енергетичної ефективності холодильного обладнання полягає у впровадженні нанотехнологій. Для оцінки перспектив застосування нанофлюїдів в якості холодоносіїв на кафедрі теплофізики та прикладної екології ОНАХТ була проведена серія експериментів по визначенню коефіцієнта тепловіддачі і втрат напору при циркуляції холодоносія на основі водного розчину пропіленгліколю з добавками наночастинок Al_2O_3 (нанохолодоносій) в трубі. Експериментально було показано, що коефіцієнт тепловіддачі при вимушеній конвекції нанохолодоносія в середньому приймав більші значення, у порівнянні з аналогічною величиною для базового холодоносія. Було виконано аналіз енергетичних витрат на циркуляцію холодоносія та нанохолодоносія на одиницю переданого тепла в експериментальній установці. У доповіді наведено результати еколого-енергетичного дослідження перспектив застосування нанохолодоносіїв у холодильному обладнанні.

Для оцінки перспектив застосування нанофлюїдів в якості компресорних мастил на кафедрі теплофізики та прикладної екології ОНАХТ була проведена серія експериментів по визначенню енергоспоживання і холодопродуктивності холодильної компресорної системи (експериментальної установки на базі компресора побутового холодильного приладу) при роботі з використанням компресорних мастил з добавками наночастинок оксиду титану (0,48 і 1,0 % мас.) і оксиду алюмінію (0,08 і 0,52 % мас.), а так само фулеренів (0,5 % мас.). За виміряним значенням величини енергоспоживання і холодопродуктивності експериментальної установки при роботі з використанням різних мастил з наночастинками був виконаний еколого-енергетичний аналіз. Було показано, що для компресорного масла з наночастинками оксидів металів величина питомої емісії парникових газів менша, ніж при використанні компресорного мастила без добавок наночастинок. Аналогічний результат був отриманий при порівнянні характеристик роботи холодильної компресорної системи з використанням чистого мастила й мастила з фулеренами. Підвищення еколого-енергетичної ефективності обладнання при використанні компресорного масла з начастинками склало до 8% при урахуванні додаткових енергетичних витрат на виробництво наночастинок і приготування компресорного масла.

Таким чином, виконані експериментальні дослідження характеристик еколого-енергетичної ефективності холодильного обладнання при використанні в ньому в якості холодоносіїв або робочих тіл нанофлюїдів вказують на перспективу застосування нанотехнологій в холодильній промисловості.

Література

1. Железный В. П., Быковец Н. П., Хлиева О. Я., Степанова В. П., Суходольская А. Б. Методика расчета эквивалентной эмиссии парниковых газов в промышленности / // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2004. - N 6. - С. 34-43.
2. Chen G., Zhelezny V., Khliyeva O., Shestopalov K., Ierin V. Ecological and energy efficiency analysis of reasonability application of ejector air conditioner compared to vapor compression equipment // Proc. 24th International Congress of Refrigeration. - Yokohama, Japan, August 16 - 22, 2015. - ID 787. - 8 p.

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ПОЄДНАННЯ АВІАЦІЙНИХ БЕНЗИНІВ З АЛІФАТИЧНИМИ СПИРТАМИ

Бойченко С.В., д-р техн.. наук, професор, Кондакова О.Г., аспірант
Національний університет «Київський політехнічний інститут»
ім. І. І. Сікорського

За умови використання спиртів знижується емісія продуктів неповного згорання палив, зменшується утворення сажі, зменшуються викиди оксиду вуглецю на 30 % та летких органічних сполук – більш ніж на 25 %. Однак водночас зростають викиди у довкілля альдегідів (як продукту неповного окиснення спиртів), можливе також збільшення емісії оксидів азоту [1,2].

Додавання оксигенатів до складу палив змінює їх властивості, оскільки вони відрізняються між собою своїми фізико-хімічними властивостями.

Так, теплоти згорання етанолу (26945 кДж/кг), метанолу (24000 кДж/кг) та бутанолу (35520 кДж/кг) істотно нижчі за теплоти згорання авіаційних бензинів (Б91/115 – 42947 кДж/кг, AVGAS 100LL – 43500 кДж/кг), що спричиняє підвищення витрат палива під час використання даних спиртів. Однак вміст кисню у складі оксигенатів (масова доля кисню в етанолі становить 34,7 %), призводить до більш високої повноти згорання палива, тому різниця в теплоті згорання стає не настільки відчутною [3].

Основним недоліком бензиново-спиртових палив є їх фазова нестабільність, обумовлена наявністю в них навіть невеликої кількості води і, як наслідок, обмеженою взаємною розчинністю компонентів. Виникаючі труднощі вдається подолати введенням в спиртові палива відповідних модифікаторів і стабілізаторів.

Для забезпечення стабільності спиртовмісних бензинів при виробництві, зберіганні і використанні необхідно: запобігати потраплянню в них води; використовувати стабілізуючі добавки або співрозчинники, гомогенізуючи систему бензин-вода-спирт. Рекомендується додавати спирт до бензину безпосередньо перед заправкою автомобіля [4,5].

Як стабілізатори бензино-спиртових сумішей пропонується використовувати: аліфатичні спирти С3-С12 нормальної і розгалуженої будови, феноли, алкілацетати, прості і складні ефіри та їх металоорганічні похідні, кетони, аміни, ПАР, а також гліколі та їх ефіри, альдегіди, кетали, ацетали, алкілкарбонати, карбонові кислоти та суміші зазначених сполук.

Ще одним недоліком етанолу є його корозійна агресивність до металів (цинк, латунь, свинець, алюміній, сталь, покриття зі сплавом свинцю та олова).

Корозія може бути уповільнена, або практично зупинена, через додавання інгібіторів – речовин, що утворюють на поверхні металу плівку, що перешкоджає виходу іонів металу з поверхні і їх взаємодії з киснем (у разі іржавіння) або іншими компонентами середовища.

Проблеми пов'язані з впливом спиртів на гуми та пластмаси (спирт проникає в матеріал шлангів і герметичних ущільнень, що призводить до збільшення втрати палива при випаровуванні і руйнування матеріалів). У роботі [6] було встановлено, що наявність 5-8% спиртів в бензині викликає в більшості випадків зміну фізичних властивостей (набухання, старіння, тріщиноутворення та ін.). Але не хімічних властивостей каучуків. У загальному випадку розбіжності у властивостях матеріалів, що знаходяться під впливом вуглеводневого палива і бензинів, що містять до 10% етанолу, виявилися незначними. Максимальні відмінності спостерігалися при вмісті спиртів 15-50%: корозійна активність паливних спиртових композицій лінійно зростає із збільшенням концентрації в них спиртів.

Дана проблема вирішується за допомогою підбору сучасних полімерних матеріалів, стійких до впливу спиртів. Представляють інтерес результати досліджень властивостей нітрильних каучуків,

поліепіхлоргідрину і фторовмісних каучуків, термопластичних матеріалів, з яких найбільш часто виготовляють деталі, що контактують з паливом.

Література

1. Вплив добавок аліфатичних спиртів на властивості бензинів: аналітичний огляд / С.В. Бойченко, М.С. Бойченко, С.М. Кабан, О.Г. Личманенко // Наукоємні технології. – 2015. – № 1(25). – С. 86 – 92. Режим доступу: http://er.nau.edu.ua:8080/handle/NAU/17412
2. Личманенко О.Г. Песпективи реформульова-них авіаційних бензинів / С. Бойченко, К. Лейда // Monografia № 6. Seria: Transport. Systemy i srodki transportu samochodowego: wibrane zagadnienia. – Rzesow (Poland), 2015. – P. 251 – 256.
3. Бойченко С.В. Причинно-наслідковий аналіз модифікації складу авіаційних бензині / С.В. Бойченко, О.Г. Личманенко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. – 2015. – № 2(32). – С. 3–13. Режим доступу: http://er.nau.edu.ua:8080/handle/NAU/17411
4. Данилов А.М. Применение присадок в топливах для автомобилей: Справ. изд. / А.М. Данилов. – М.: Химия, 2000. – 232 с.
5. Асяев А.Н. Исследование влияния качества спирта и состава углеводородной фракции на физико-химические и эксплуатационные показатели биоэтанольного топлива Е85 / А.Н. Асяев, В.Е. Емельянов, Е.А. Никитина // Технологии Нефти и Газа. – 2010. – № 4. – С. 24–27.
6. Шевченко О.Б. Застосування етанолу як компонента моторного палива / О. Б. Шевченко // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – №6. – С. 132–137.

УДК 622.691.4

ВРАХУВАННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ЗА УМОВ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ ГТС ТА ВАНТАЖНОЇ СИСТЕМИ CNG СУДНА

Волинський Д. А., канд. техн. наук
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ

Розглядається проблема визначення термодинамічних параметрів газу за значень тиску і температури, які коливаються у досить широкому діапазоні, та вплив останніх на шукані параметри. За основну мету ставилося дослідити залежність зміни таких визначальних показників суміші вуглеводнів, що складають природний газ, як коефіцієнт стисливості, густина та ізобарна теплоємність. Обробка отриманих результатів велася за допомогою методів математичного моделювання та динамічного програмування. За результатами виконаної роботи проведено аналіз отриманих даних для трьох визначальних параметрів природного газу та описано спосіб впливу тиску і температури на його властивості за умов транспортування.

Ключові слова: *тиск, температура, коефіцієнт стисливості газу, теплоємність, рівняння стану, густина.*

Keywords: *pressure, temperature, compressibility factor, heat capacity, equation of state, density.*

У сучасних умовах розвитку світової газової промисловості існує необхідність для умов ГТС України розроблення одновимірної фізико-математичної моделі і алгоритму розрахунку параметрів однофазного потоку природного газу у магістральних газопроводах з робочим тиском до 25 МПа. В даній роботі розроблено комп'ютерну програму для обчислення термодинамічних властивостей, а саме ентальпії, ізобарної та ізохорної теплоємностей суміші природного газу та її коефіцієнта стисливості на основі рівняння стану AGA8-92DC. Метод було застосовано до типових складів природного газу.

Термодинамічний стан флюїду чи суміші флюїдів можна описати за допомогою рівняння стану. Ідеальне рівняння стану повинне з високою точністю оцінювати термодинамічні властивості рідини чи газу у великому діапазоні температур, тисків та компонентного складу для парової і рідкої фаз. В області тисків (12 - 30) МПа і температур (260 - 340) К для розрахунку коефіцієнта стисливості допускається застосовувати рівняння стану GERG-91 мод. і AGA8-92DC. Похибка розрахунку коефіцієнта стисливості природного газу в зазначеній галузі тисків і температур становить: для рівняння GERG-91 мод. - 3,0% [1], для рівняння AGA8-92DC - 0,5% [2]. В даний час рівняння стану AGA8-92DC [3] та ISO 12213-2 [4] є міжнародним стандартом для прогнозування густини чи коефіцієнта стисливості

природного газу з допустимою похибкою. Проте існують і інші співвідношення, рівняння стану, які застосовуються для обчислення параметрів природного газу [5,6,7].

В останній час в світовій практиці транспортування природного газу значну увагу приділяють CNG суднам, в яких газ транспортується стисненим до високого тиску, як правило 20…25 МПа. Тому у сучасних умовах розвитку світової газової промисловості існує необхідність для умов диверсифікації джерел надходження природного газу в Україну і розробки одновимірної фізико-математичної моделі та алгоритму розрахунку параметрів однофазного потоку природного газу у магістральних газопроводах з робочим тиском до 25 МПа.

В даній роботі обчислення термодинамічних властивостей, а саме ентальпії, ізобарної та ізохорної теплоємностей суміші природного газу та її коефіцієнта стисливості велося на основі рівняння стану AGA8-92DC. Метод було застосовано до типового складу природного газу.

Загальне рівняння стану для реального газу може бути представлене у вигляді

$$P\upsilon = ZRT. \tag{1}$$

З точки зору класичної термодинаміки рівняння стану задає термодинамічну систему. Це означає, що всі термодинамічні характеристики після постановки рівнянь стану будуть однозначно пов'язані один з одним. Якщо задано рівняння стану у вигляді (1), то для молярної ентальпії можна записати:

$$\begin{cases} \left(\dfrac{\partial h}{\partial T}\right)_P = c_P \\ \left(\dfrac{\partial h}{\partial P}\right)_T = \upsilon - T\left(\dfrac{\partial \upsilon}{\partial T}\right)_P \end{cases}. \tag{2}$$

Після додаткового диференціювання системи (2) для молярної теплоємності за постійного тиску отримаємо:

$$\frac{\partial c_P}{\partial P} = -T\left(\frac{\partial^2 \upsilon}{\partial T^2}\right)_P. \tag{3}$$

Знаючи теплоємність $c_{Pi}^{(0)}$ ідеальногазового стану, можна отримати теплоємність c_P в будь-якому стані. З рівняння (3) з урахуванням (1) для відхилення молярної теплоємності за постійного тиску від ідеальногазового стану матимемо:

$$\frac{c_p - c_P^{(0)}}{R} = -T\int_0^P \frac{1}{P}\frac{\partial}{\partial T}\left(Z + T\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P\right)_P dP. \tag{4}$$

З першого рівняння системи (2) отримуємо вираз для ентальпії в ідеальногазовому стані:

$$h^{(0)}(T) = \int_0^T c_P^0 dT. \tag{5}$$

Для отримання молярної ентальпії у будь-якому стані необхідно проінтегрувати друге рівняння системи (2) уздовж ізотерми:

$$\frac{h - h^{(0)}}{R} = -T^2\int_0^P \frac{1}{P}\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P dP. \tag{6}$$

Молярна внутрішня енергія розраховується за формулою:

$$\varepsilon = h - RTZ. \tag{7}$$

Згідно з AGA8/1992 та ISO 12213-2, рівняння для визначення коефіцієнта стисливості газу має вигляд [4]:

$$\begin{aligned} Z = 1 + B\rho_м - \rho_П \sum_{n=8}^{13} C_n^* + \sum_{n=8}^{53} C_n^* \left(b_n - c_n k_n \rho_П^{k_n}\right)\rho_П^{b_n} \times \\ \times \exp\left(-c_n \rho_П^{k_n}\right) \end{aligned}, \tag{8}$$

де B і C_n^* – коефіцієнти рівняння стану, $\rho_м$ – молярна густина, кмоль/м^3. Константи b_n, c_n, k_n визначаються за таблицями.

Для обчислення внутрішньої енергії, ентальпії, ізобарної та ізохорної теплоємностей за вихідну точку було взято фундаментальне рівняння термодинаміки.

Для визначення внутрішньої енергії остаточне рівняння має вигляд:

$$u - u_н = \int_{T_н}^{T_2} C_\upsilon dT + \int_{\upsilon_н}^{\upsilon_2} \left[\frac{RT^2}{\upsilon} \cdot \left(\frac{\partial Z}{\partial T} \right)_\upsilon \right] dv . \quad (9)$$

Після знаходження внутрішньої енергії природного газу інтегруванням за рівнянням (9) визначається його ентальпія за виразом:

$$h - h_н = \left(u - u_н \right) + \left(p\upsilon - p_н \upsilon_н \right). \quad (10)$$

У таблиці 1 наведений склад природного газу, властивості якого розраховуються в даній роботі.

Таблиця 1 – Склад природного газу

Компонент	Вміст, %
Метан	0,9050
Етан	0,0270
Компонент	Вміст, %
Пропан	0,0180
Бутан	0,0110
Н-Пентан	0,0060
Н-Гексан	0,0048
Н-Гептан	0,0035
Н-Октан	0,0012
Вуглекислий газ	0,0161
Нітроген	0,0074

Рисунок 1 відображає вплив тиску і температури відповідно на коефіцієнт стисливості природного газу із концентрацією метану 90 %. Залежність має чітко виражений мінімум, який при зменшенні частки метану переміщується в зону менших тисків. Крім того зростання температури призводить до вирівнювання кривої. Також зростання температури газу призводить до зростання коефіцієнта стисливості.

Рисунок 2 відображає вплив тиску і температури на густину газу. Цілком зрозуміло зі знань фізики, що при підвищенні значень тиску і температури густина газу загалом збільшується. Але градієнт зростання густини з ростом тиску зменшується і при високих тисках 25 МПа і більше прямує до нуля.

Якщо поле зміни густини природного газу при тисках до 8 МПа фактично паралельне зміні температури, то при високих тисках ці поля зміщуються в зону більших температур незалежно від вмісту метану. Хоча при зменшенні вмісту метану в суміші густина збільшується за рахунок більш важких компонентів. В газі з меншим вмістом метану градієнт зміни густини зменшується. Крім того, поля з однаковою густиною зміщуються в зону збільшення тисків і температур, тобто фактично йде утворення площини з нахилом в сторону більших температур.

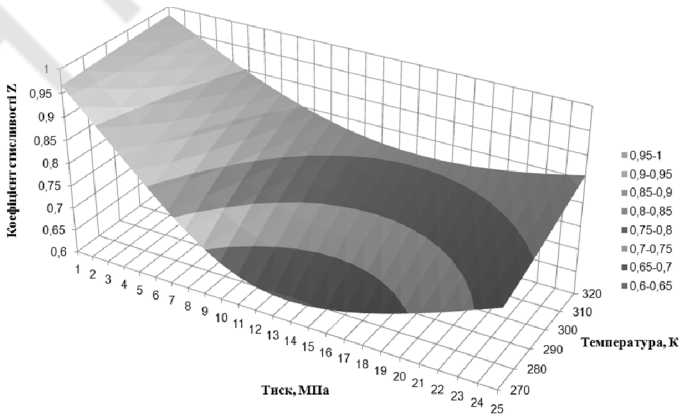


Рис. 1 – Вплив тиску і температури на коефіцієнт стисливості природного газу із концентрацією метану 90 %

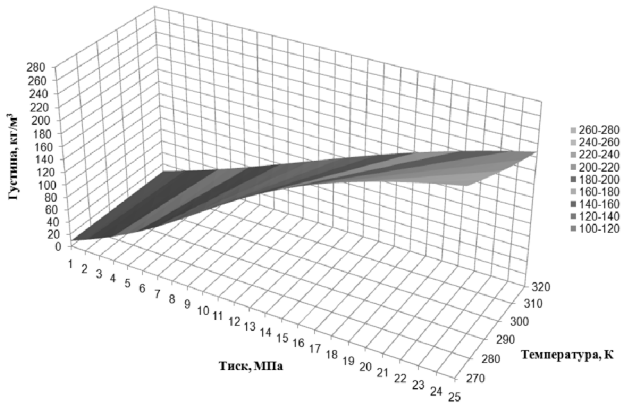


Рис. 2 – Вплив тиску і температури на густину природного газу із концентрацією метану 90 %

Рисунок 3 відображає вплив тиску і температури на ізобарну теплоємність газу.

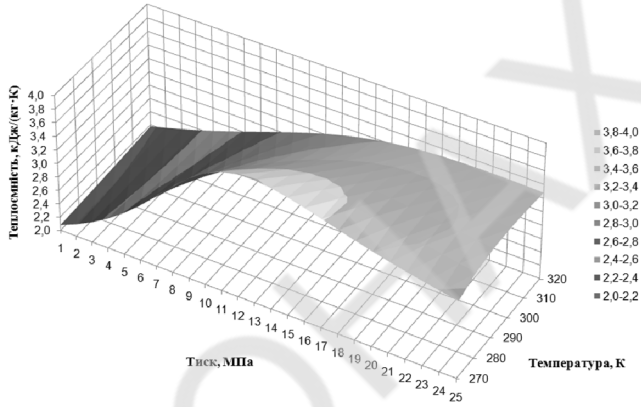


Рис. 3 – Вплив тиску і температури на ізобарну теплоємність природного газу із концентрацією метану 90 %

Висновки

Зміна ізобарної теплоємності природного газу має чітко виражений максимум, положення якого залежить від тиску і температури. В залежності від тиску ізобарна теплоємність спочатку зростає до максимуму, а потім поступово зменшується. Залежно від концентрації метану максимум теплоємності з її збільшенням переходить в зону більш високих тисків, та при концентрації метану 90 %, температурі 270 К максимуму відповідає тиск 13 МПа. Слід зауважити, що за низького тиску ізобарна теплоємність природного газу зростає з ростом температури, а за високого (більше 12 МПа) навпаки спадає. В цілому ізобарна теплоємність природного газу більше залежить від зміни температури, ніж зміни тиску, так при зміні тиску від 13 МПа до 25 МПа при температурі 270 К зменшення теплоємності становить 9 %, а при зміні температури від 270 К до 320 К при тиску 15 МПа зменшення теплоємності становить 16 %. Застосування розробленої методики дає змогу більш точно визначити кількість газу в CNG суднах та об'єм заправленого газу на АГНКС.

Література

1. ISO/TC 193 SC1 № 63. Natural gas - calculation of compression factor. Part 3: Calculation using measured physical properties.
2. ISO/TC 193 SC1 № 62. Natural gas - calculation of compression factor. Part 2: Calculation using a molar composition analysis.
3. AGA 8, 1992, Compressibility and super compressibility for natural gas and other hydrocarbon gases, Transmission Measurement Committee Report No.8, AGA Catalog NO. XQ 1285, Arlington, VA.
4. Natural gas – Calculation of compression factor. Part 2: Calculation using molar-composition analysis. ISO 12213-2.
5. Estela-Uribe, J.F., Trusler, J.P.E., 2001. Extended corresponding states equation of state for natural gas systems. Fluid Phase Equilib. 183–184, 21–29.
6. Estela-Uribe, J.F., De Mondoza, A., Trusler, J.P.E., 2004. Extended corresponding states model for fluids and fluid mixtures II. Application to mixtures and natural gas systems. Fluid Phase Equilib. 216, 59–84.

7. Трубопровідний транспорт газу: монографія / М.П.Ковалко, В.Я.Грудз, В.Б.Михалків, Д.Ф.Тимків. - К.: Агентство з рац. використання енергії та екології, 2002. - 600 с.

ТЕРМОДИНАМІЧНА РІВНОВАГА СУМІШІ ХОЛОДОАГЕНТІВ R407C І R410A З КОМПРЕСОРНИМИ МАСТИЛАМИ

Геллер В.З., д-р техн. наук, професор, Губанов С.Н., канд. техн. наук, доцент
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Однією з основним вимог до холодильних мастил є їх сумісність (розчинність та змішуваність) з альтернативними холодоагентами, яка забезпечує кращі умови теплообміну в випаровувальній системі, повернення холодоагента в компресор. Цим вимогам відповідають мастила на основі поліестерів (POE).

Розчинність та змішуваність виявлять при термодинамічній рівновазі рідина – пара (VLE) та рідина-рідина-пара (VLLE). У доповіді наводяться експериментальні дані про розчинність та низькотемпературну змішуваність (зона не змішуваності може спостерігатися також при високих температурах) складних холодоагентів R407C (R32/R125/R134a) і R410A (R32/R125) в чотирьох різних поліолефірних мастилах (POE), виробництва однієї й тієї ж компанії, з різними стандартами в'язкості (ISO 32, ISO 46, ISO 68 і ISO 220). Вони мають різні добавки, які значною мірою впливають на властивості рідини (змішуваність, розчинність, густину та в'язкість). Дані про рівновагу компресорних мастил і складних холодоагентів є особливо важливими у зв'язку з можливістю розчинення окремих компонентів в цих мастилах. Мета роботи - оцінити можливу кореляцію розчинності і змішуваності зі стандартною в'язкістю поліолефірного мастила.

Тиск пари (розчинність) вимірювалася методом постійного об'єму при масових концентраціях мастила 30, 50, 70, 80 і 90% в діапазоні температур від мінус 20 до 100°C і тиску до 5 МПа.

Вимірювання низькотемпературної змішуваності - верхньої критичної температури розчинності (ВКТР) - були виконані з використанням сапфірового осередка високого тиску. Ці дані були отримані для масових часток мастила від 5 до 50% в діапазоні температур від мінус 60 до 0°C шляхом безпосереднього візуального спостереження «молочного помутніння» з подальшим поділом фаз.

Експериментальні дані про рівновагу рідина-пара і рівняння для їх опису наведено в доповіді, а результати вимірювання рівноваги рідина-рідина-пара - в таблиці.

Таблиця. Результати вимірювання рівноваги рідина-рідина-пара

Мас. концентр. мастила, %	Верхня критична температура розчинності, °C							
	R407C				410A			
	ISO 32	ISO 46	ISO 68	ISO 220	ISO 32	ISO 46	ISO 68	ISO 220
5	-51	-41	-25	-15	-	-	-	-
10	-42	-35	-20	-8	-36	-22	-8	1
20	-37	-30	-16	1	-27	-12	0	9
30	-41	-33	-19	0.5	-27	-12	2	10
40	-54	-42	-29	-10	-33	-19	-11	2
50	-	-56	-44	-25	-44	-39	-32	-23

Аналіз отриманих даних показав, що розчинність сумішей холодоагент/мастило майже не залежить від стандартної в'язкості мастила. У той же час, зона незмішуваності набагато більше відрізняється для різних сумішей холодоагент/мастило. Чим менше стандартна в'язкість мастила, тим менша верхня критична температура розчинності суміші холодоагент/мастило. Ці температури для сумішей R407C з мастилами ISO 32 та ISO 220 відрізняються на 30-45 °C.

Отримані дані про рівновагу компресорних мастил і складних холодоагентів та кореляцію для розчинності і змішуваності зі стандартною в'язкістю мастил будуть корисними для оптимального вибору при застосуванні у холодильному обладнанні.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

ГЕТЕРОГЕННЫХ ЛИОФОБНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГИДРОФОБИЗИРОВАНОГО СЕЛИКАГЕЛЯ

Желєзний В.П., д-р техн. наук, професор, Лозовський Т.Л., канд. техн. наук, доцент, Лук'янов М.М., канд. техн. наук, Нікулін А.Г., канд. техн. наук
Одеська державна академія харчових технологій, г. Одесса

Исследование термодинамических свойств гетерогенных лиофобных систем (ГЛС) является необходимым этапом решения задач, связанных с повышением эффективности устройств, которые используют принципы термомолекулярной энергетики, практическое значение которой весьма значительно.

С помощью созданного на кафедре теплофизики и прикладной экологии экспериментального стенда были получены *PV*-изотермы процессов интрузии и экструзии, а также изучены тепловые эффекты процессов заполнения и освобождения пор гетерогенных лиофобных систем от жидкости. В выполненных экспериментах исследовалась следующая гетерогенно лиофобная система: пористая структура гидрофобизированый силикагель SANPONT XB-C8 (размер частиц 43-60 мкм, пор – 10 нм) и жидкость – дистиллированная вода. Для калибровки волюмометрической и калориметрической систем экспериментального стенда были использованы образцы дистиллированной воды.

На рис. 1 приведены результаты измерения *PV*- изотерм для исследуемой ГЛС. Измерения были выполнены при температурах от 275 К до 420 К и в диапазоне давлений до 35 МПа. На рис. 2 показана зависимость от температуры давлений интрузии (при заполнении пор ГЛС жидкостью) и экструзии (при освобождении пор ГЛС от жидкости). Полученная зависимость согласуется с известными результатами приведенными в литературе для других типов ГЛС. Как следует из полученных результатов выполненного исследования с ростом температуры гистерезис давлений уменьшается примерно на 20 %.

Процесс заполнения пор гетерогенных лиофобных систем и их освобождения от жидкости, которая не смачивает материал пор, сопровождается тепловыми эффектами: эндотермическим при интрузии и экзотермический при экструзии. Изучение этих эффектов позволяет получить необходимую информацию для разработки систем аккумулирования энергии, систем поглощения механической энергии (амортизаторы), а также систем термомолекулярной энергетики.

Температурная зависимость величины тепловых эффектов Q в расчете на 1 г пористой структуры показана на рис. 3. Как видно, с ростом температуры количество теплоты выделяемое или поглощаемое растет от пренебрежимо малых при температуре 275К до ~ 25 Дж / г для процесса интрузии и до ~ 20 Дж / г для экструзии при 350 К.

Полученная информация о параметрах работы гетерогенных лиофобных систем может быть использована для повышения эффективности работы устройств на базе ГЛС (автономные исполнительные механизмы, демпферы, бамперы, антисейсмические системы, аккумуляторы энергии, и др.);

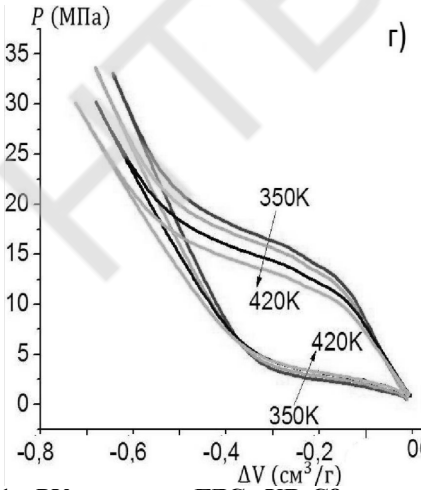


Рис. 1 - *PV*-изотермы ГЛС «ХВ-С8 - вода» при температурах 350 К, 370 К, 400 К, 420 К

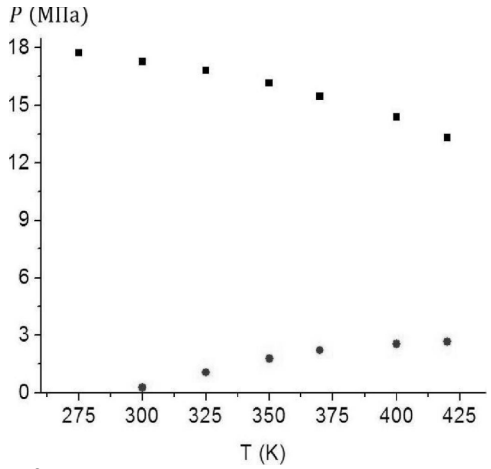


Рис. 2 - Температурная зависимость давления интрузии (квадраты) и экструзии (Точки) ГЛС «ХВ-С8 - вода»

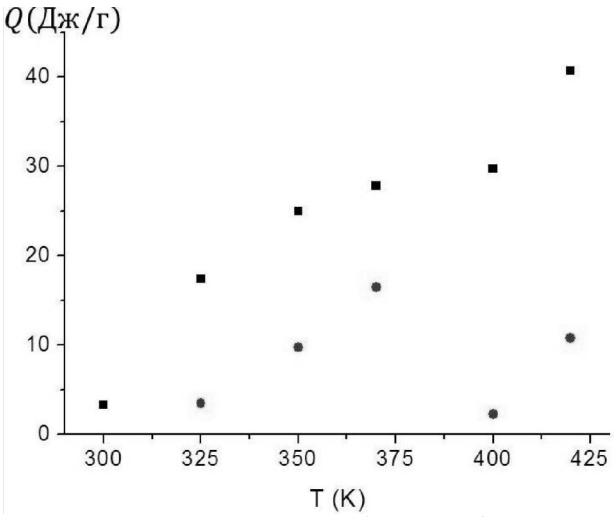


Рис. 3 - Температурная зависимость теплоты интрузии (квадраты) и экструзии (кружки) ГЛС «ХВ-С8 - вода»

Кроме того, полученные экспериментальные результаты предполагается использовать при разработке уравнения состояния гетерогенных лиофобных систем ГЛС на базе мезопористых матриц.

УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕТЕРОГЕННИХ ЛІОФОБНИХ СИСТЕМ

Желєзний В.П., д-р техн. наук, професор, Лозовський Т.Л., канд. техн. наук, доцент, Лук'янов М.М., канд. техн. наук, Нікулін А.Г., канд. техн. наук
Одеська державна академія харчових технологій, г. Одесса

Принцип функціонування гетерогенних репульсивних систем (ГРС) базується на використанні поверхневої енергії міжфазової межі «рідина - ліофобне тверде тіло». Використання пористих матеріалів з великими значеннями питомої поверхні забезпечують високі значення зазначеної поверхневої енергії. Зворотність процесу збільшення/скорочення міжфазової поверхні реалізується через процес примусової інтрузії рідини в пори ліофобного твердого тіла і самовільної її екструзії. Якщо зазначений процес протікає зі значним гістерезисом, ГРС застосовується для дисипації енергії. Особливістю ГРС є її висока енергоємність (компактність) та екологічна чистота процесів, що в них протікають, які стимулюють проведення досліджень ГРС з метою її використання в якості робочого тіла в акумуляторах або дисипаторів енергії. Дослідження термодинамічних властивостей ГРС є важливим етапом вирішення завдань, пов'язаних з підвищенням ефективності пристроїв, які використовують принципи термомолекулярної енергетики.

Для виконання досліджень термодинамічних властивостей репульсивних клатратів (РК) і визначення оптимальних температурних діапазонів функціонування обладнання, в якому використовуються принципи термомолекулярної енергетики на кафедрі теплофізики та прикладної екології створений експериментальний стенд (див. рис. 1), описаний нижче.

Основним елементом експериментальної установки є вимірювальний осередок 3 (калориметр), який, з метою зменшення теплових втрат, поміщена у вакуумну камеру. На поверхні вимірювального осередка встановлений електричний нагрівач 1. Внутрішній об'єм калориметра заповнюється репульсивним клатратом - гідрофобним мікропористим порошком. У верхній частині калориметра знаходиться розширювальна ємність для води 6, температура якої в процесі експеримента підтримується рівній температурі самого калориметра за допомогою спеціальної системи регулювання (на рисунку не показана).

При вивченні примусової інтрузії рідини (води) в пори ліофобного твердого тіла і самовільної її екструзії буде супроводжуватися виділенням і поглинанням тепла. Вимірювання температури калориметра фіксується чутливою багатоспайною диференціальною термопарою - Т, один спай якої розташований на поверхні калориметра, а інший на поверхні товстостінного ізотермічного екрану 5. Температура товстостінного екрану вимірювалася плівковим платиновим термометром опору 4. Внутрішня поверхня

ізотермічного екрану відполірована з метою зменшення теплових втрат від калориметра в навколишнє середовище. Таким чином, підтримка адіабатних умов проведення досліджень забезпечується як наявністю ізотермічного екрану, так і підтримку у вакуумній камері 2 тиску порядку 0,4 Па.

До складу вакуумної системи входять: пластинчато-роторний вакуумний насос 15, вакуумна пастка 16 і термопарний вакуумметр 17.

Надмірний тиск у калориметрі створюється з використанням термокомпресора 13, який після вакуумування всіх внутрішніх магістралей установки заповнювався водою з деаератора 9. Невеликий надлишковий тиск в деаераторі створюється за допомогою гелію, який знаходиться в балоні 10. Необхідний надлишковий тиск у термокомпресорі забезпечується підтримкою певної температури в термостаті 12 і механічним поршневим пресом 11.

Створена експериментальна установка дозволяє досліджувати теплові ефекти і залежність тиску інтрузії та екструзії в залежності від займаного обсягу води в репульсивному клатраті.

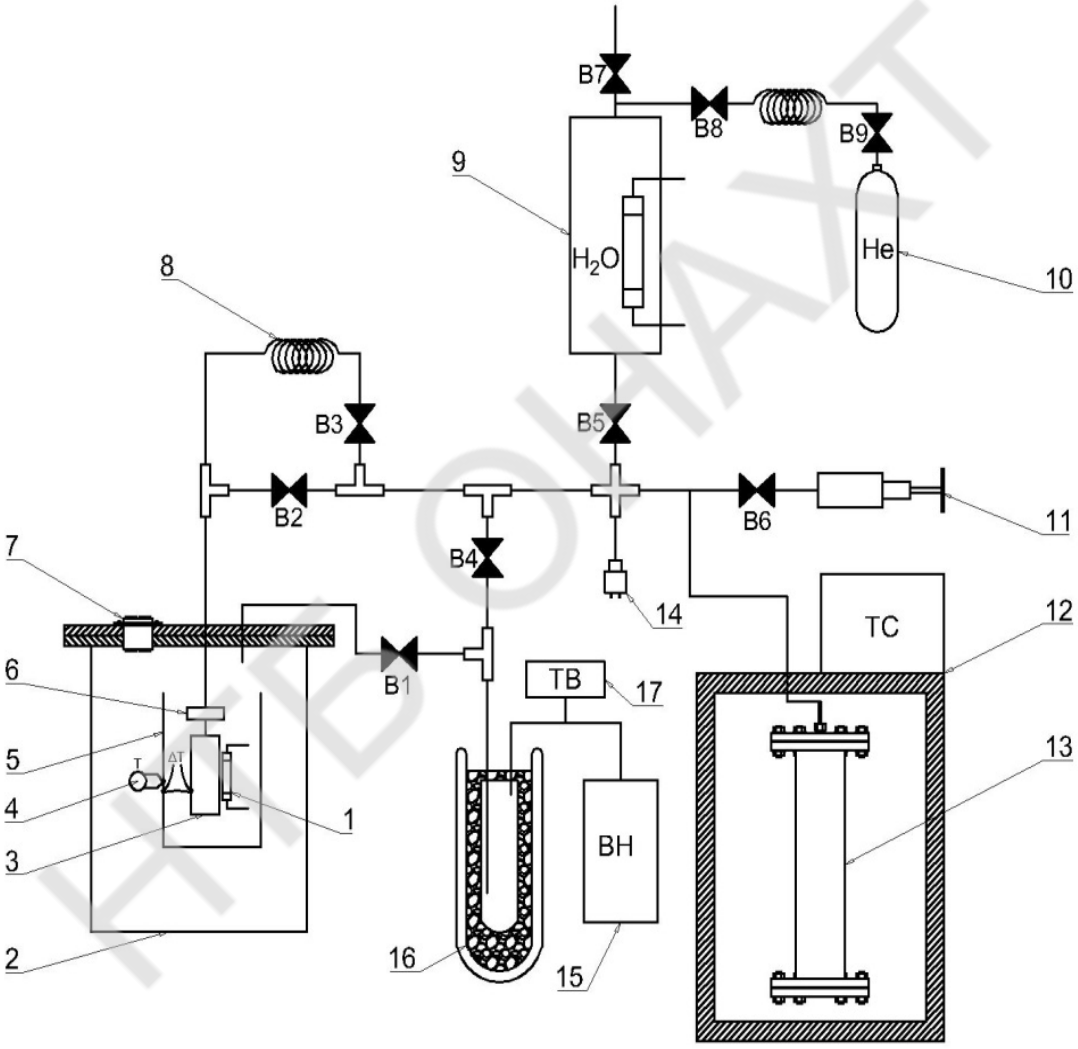


Рис. 1 - Схема експериментальної установки для дослідження калоричних властивостей при інтрузії та екструзії води в пори гідрофобної речовини:
1 - Нагрівач калориметричного осередка; 2 - Вакуумна камера; 3 - Вимірювальний осередок;
4 - Термопара ширми; 5 - Ізотермічний екран; 6 - Розширювальна ємність для води;
7 - Електровод; 8 - Капілярна трубка; 9 - Деаератор води; 10 - Балон з гелієм; 11-Механічний прес;
12 - Повітряний термостат; 13 - Термокомпресор; 14 - Перетворювач тиску Wika A-10;
15 - Вакуумний насос; 16 - Вакуумна пастка; 17 - Термопарний вакуумметр.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТІ РІДКОЇ ФАЗИ РОЗЧИНІВ ДИМЕТИЛОВОГО ЕТЕРУ (DME) З ТРИЕТИЛЕНГЛІКОЛЕМ (TEG)

Івченко Д.О., Мотовой І.В., Лозовський Т.Л. канд.. техн. наук
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Одним з пріоритетних завдань при розробці сучасного холодильного обладнання є науково обґрунтований вибір компресорних мастил. Питання розробки та вибору відповідних марок мастил для певних холодоагентів ускладняються численністю і різноманітністю пропонованих до них вимог. Тому в останні роки спостерігається значний інтерес до вивчення термодинамічних властивостей розчинів озонобезпечних холодоагентів в нових компресорних мастилах. Разом з тим, експериментальні дані з калоричних властивостей компресорних мастил і їх розчинів з холодоагентами в літературі досі відсутні.

Теплоємність є однією з найважливіших калоричних властивостей робочих тіл і теплоносіїв, які визначають ефективність технологічних процесів. Пропоновані розрахункові методи визначення теплоємності мастил не відповідають вимогам необхідної похибки для моделювання термодинамічних властивостей розчинів холодоагент / мастило (РХМ). Тому отримання інформації щодо калоричних властивостей для реальних робочих тіл становить значний науковий і практичний інтерес. Створення теоретичних моделей для опису теплофізичних властивостей РХМ ускладняється декількома факторами. По-перше, це відсутність інформації про склад компресорного мастила, яка є комерційною таємницею фірм-виробників. По-друге, в літературі практично відсутня інформація про критичні (псевдокритичні) параметри термічно нестабільних компресорних мастил.

Цих труднощів можна уникнути, розглядаючи в якості об'єкта дослідження термодинамічні системи, що моделюють властивості РХМ.

Основними вимогами, що пред'являються до речовини, моделюючої властивості компресорного мастила, є:

- наявність інформації про критичні параметри;
- низький тиск насиченої пари;
- високе значення молекулярної маси, дані про яку є в літературі;
- необмежена змішуваність з холодоагентом в широкому інтервалі температур.

У пропонованій роботі в якості об'єкта дослідження обрано розчин диметилового етеру в триетиленгліколі, який повністю задовольняє перерахованим вище вимогам. Теплоємність розчинів DME / TEG була виміряна методом монотонного нагріву в широкому діапазоні температур.

Схема низькотемпературної адіабатичної калориметричної установки представлена на рисунку 1. Кріостат занурюваного типу являє собою вакуумну камеру 2, яка знаходиться в посудині Дьюара 1 з рідким азотом. Усередині вакуумної камери змонтовані елементи калориметричної системи і контейнер 4 з зразком досліджуваної речовини 3. Радіаційний теплообмін мінімізується за рахунок електролітичного сріблення внутрішньої поверхні адіабатичної оболонки 6, а також покриттям полірованою алюмінієвою фольгою зовнішньої поверхні контейнера 4.

Оскільки зразки для досліджень калоричних властивостей являють собою речовини в рідкій фазі, був використаний герметичний контейнер об'ємом 72 мл, всередині якого розташовані калориметричний нагрівач Н4 і термометр опору 5. Контейнер для зразка виготовлений з нержавіючої сталі. У верхній частині контейнера розташований мікровентіль 8, через який здійснюється заправлення досліджуваного зразка або теплообмінного газу (при визначенні теплового значення калориметра).

Зменшення конвективного теплообміну між контейнером і калориметричною оболонкою досягається за рахунок створення у вакуумній камері тиску 10^{-5} мм.рт.ст. Для швидкого виведення калориметричної системи на заданий оператором температурний рівень передбачена можливість заповнення вакуумної камери газоподібним гелієм з балона 15. Передача теплоти по електричних проводах була максимально знижена за рахунок використання провідників малого діаметра (0,05 - 0,08 мм) і використання терморегулюємого кільця 9. На це кільце намотана ділянка проводів, що йдуть від електровводів 12 до адіабатичного екрану 6. Температура терморегулюємого кільця 9 за допомогою додатково розміщеного на ньому регулюючого нагрівача Н2 підтримується рівній температурі контейнера 4. Зовнішній термостатуючий екран 7 необхідний для забезпечення сталості умов теплообміну з адіабатичним екраном 6 в широкому діапазоні температур.

Таким чином, всі елементи калориметричної системи укладені в оболонку з приблизно однаковою температурою. Занурена в посудину Дьюара 1 з рідким азотом вакуумна камера 2 оснащена потужним мідним екраном 10, який має хороший тепловий контакт з кришкою вакуумної камери 2. Така конструкція

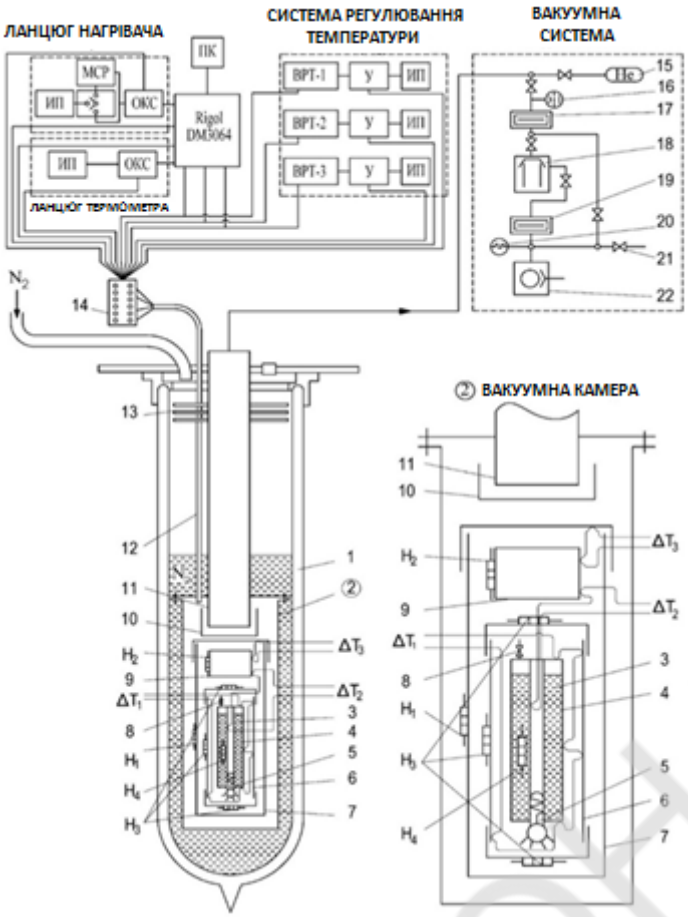


Рис. 1 –Принципова схема низькотемпературної адіабатичної калориметричної установки

вакуумної камери запобігає теплообміну випромінюванням між калориметричною системою та зовнішнім середовищем через вакуумопроводи 11. У конструкції кріостату передбачені екрани 13, які призначені для зменшення променевого теплообміну між рідким азотом і навколишнім середовищем.

Контроль за теплообміном між елементами адіабатичної системи здійснюється за допомогою мідь-константанових диференційних термопар ΔT1, ΔT2 і ΔT3 (рисунок 1). Сигнал кожної з термопар вимірюється прецизійним мультиметром і передається на комп'ютер для подальшої обробки.

Для вимірювання температури контейнера використовується платиновий термометр опору 5 типу ТСП.

У доповіді наводяться нові експериментальні дані про теплоємності диметилового етеру та триетиленгліколя, а також дані про теплоємності розчинів DME / TEG в інтервалі температур 173 ≤ T≤ 320 K, визначені параметри фазових переходів чистих компонентів і параметри критичної кривої розшарування. Наведено результати порівняння отриманих даних про теплоємності диметилового етеру та триетиленгліколя з інформацією наведеною в літературі. Виконаний аналіз показує, що розширена невизначеність отриманих даних про теплоємності об'єктів дослідження не перевищує 0,45%.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГУСТИНИ НАНОФЛЮЇДІВ ІЗОПРОПАНОЛ / AL_2O_3

Лозовський Т.Л., канд. техн. наук, доцент, Полюганіч М.П., Швидюк Г.О.
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

У доповіді представлені результати експериментального дослідження густини нано-флюїдів на основі ізопропілового спирту та оксиду алюмінію в рідкій фазі. Методом пікнометру змінного об'єму була досліджена густина чистого ізопропілового спирту (CAS 67-63-0) і трьох нанофлюїдів іопропанол / Al_2O_3 з масовою часткою наночастинок оксиду алюмінію (<50 нм) 0,515%, 1,027% і 1,972%. Зразки нанофлюіда готувалися методом розведення концентрованого комерційного зразка (702129 Aldrich) з масовою часткою наночастинок Al_2O_3 20%. У дослідженні був використаний пікнометр об'ємом ~2 $см^3$. Для калібрування пікнометру використовувалася дистильована вода. Невизначеність отриманих даних про густину нанофлюїдів не перевищувала 0,19%, і значень температури 0,1 К. Вимірювання були виконані при температурах від 250 К до 315 К. Результати вимірювання і розрахунків надлишкової густини $\Delta\rho$ представлені в табл. 1 и на рисунках 1 и 2.

Таблиця 1. Експериментальні дані по густині нанофлюїдів

№	T, K	x, кг/кг	ρ, кг/м^3	$\Delta\rho$, кг/м^3
1	253,2	0,0	822,3	0,2
2	253,1	2,0	816,5	-19,0
3	253,1	5,1	869,3	12,5
4	253,1	9,9	1000,8	108,6
5	263,1	0,0	814,6	-0,4
6	263,2	2,0	809,1	-19,1
7	263,1	5,1	861,3	11,9
8	263,1	9,9	991,7	107,1
9	273,2	0,0	807,1	-0,3
10	273,1	2,0	801,4	-19,1
11	273,2	5,1	853,2	11,7
12	273,1	9,9	981,9	105,4
13	283,0	0,0	799,2	-0,5
14	283,2	2,0	793,6	-19,1
15	283,2	5,1	844,9	11,3
16	283,2	9,9	971,5	103,1
17	293,1	0,0	791,1	-0,4
18	293,2	2,0	785,8	-18,6
19	293,2	5,1	836,4	11,2
20	293,3	9,9	961,4	101,7
21	303,1	0,0	782,9	-0,1
22	303,2	2,0	777,5	-18,5
23	303,2	5,1	827,7	11,2
24	303,2	9,9	953,2	102,5
25	313,2	0,0	774,1	-0,3
26	313,2	5,1	818,5	11,0
27	313,2	9,9	942,8	101,3

Надлишкова густина вивчених нанофлюїдів визначалася за такою залежністю:

$$\Delta\rho = \rho_{\text{exp}} - \frac{\rho_{bf}\rho_{np}}{\rho_{bf}x_{np} + \rho_{np}\left(1 - x_{np}\right)},$$

де ρ_{exp} – виміряне значення густини нанофлюїда, кг/м^3; ρ_{bf} – густина базової рідини (ізопропілового спирту) при температурі вимірювання, кг/м^3; ρ_{np} – густина матеріалу наночасток, прийнята рівною густини оксиду алюмінію в α-модифікації при 20 °С, кг/м^3; x_{np} – масова концентрація наночастинок, кг/кг.

Аналізуючи отримані результати варто зазначити слабку залежність надлишкової густини нанофлюїдів від температури, а також нелінійний характер залежності надлишкової густини від концентрації наночастинок. Безсумнівний інтерес представляє наявність мінімуму надлишкової густини нанофлюїдів при концентрації наночастинок близько 2%, Значення надлишкової густини в точці мінімуму становить 2,4% від відповідного значення густини нанофлюїда. Наявності мінімуму в концентраційної залежності надлишкової щільності може свідчити про наявність двох конкуруючих механізмів взаємодії між поверхнею наночастинок і базової рідиною. Вивчення цих механізмів стане предметом подальших досліджень авторів.

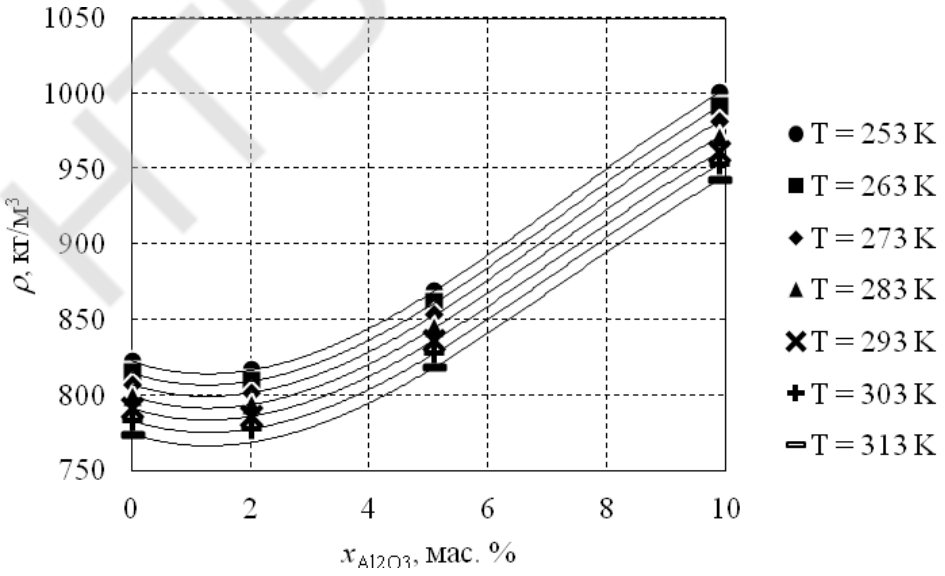


Рис. 1 – Ізотерми густини досліджених нанофлюїдів.

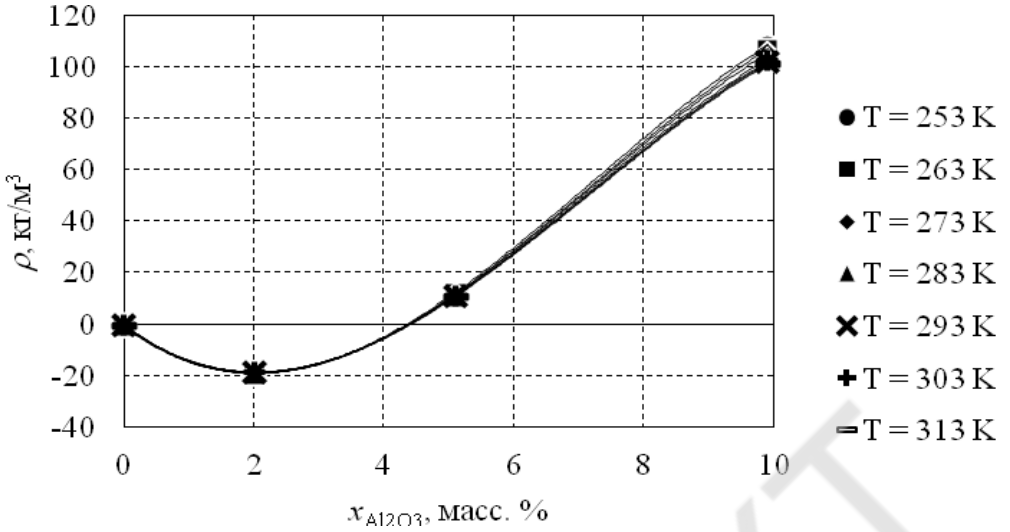


Рис. 2 – Ізотерми надлишкової густини досліджених нанофлюїдів.

ЕКСПЕРИМЕНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОМІШОК ФУЛЕРЕНІВ C_{60} НА В'ЯЗКІСТЬ КОМПРЕСОРНОГО МАСЛА ХФ16-12 І РОЗЧИНІВ ХОЛОДОАГЕНТУ R600a /МАСЛО ХФ16-12

Мороз С.О., аспірант, Лозовский Т.Л., канд. техн. наук, доцент, Лук'янов Н.Н.
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Одним із шляхів підвищення енергетичної ефективності типового парокомпресійного холодильного обладнання є застосування нанохладагентів, що складаються з розчину хладагента з компресорним маслом, в яке додано певну кількість наночастинок [1 - 3]. Вивчення теплофізичних властивостей робочих тіл парокомпресійних холодильних машин з домішками наночастинок є актуальною проблемою, яка вимагає свого вирішення, оскільки саме термодинамічні і транспортні властивості визначають як величину показників ефективності компресорної холодильної системи, так і інтенсивність процесів теплообміну в апаратах холодильних установок.

Перспективи використання фулеренів для поліпшення трібологічних властивостей моторних і компресорних масел з метою зменшення тертя в сполучених елементах машин, є в даний час предметом пильного вивчення [1,3]. Разом з тим дані про вплив фулеренів на в'язкість, реальних робочих тіл парокомпрессионних холодильних машин (розчинів холодоагент/ компресорне масло) практично відсутні.

Згідно з викладеним, метою даної роботи було експериментальне дослідження впливу домішок фулеренів на в'язкість компресорного масла, а також розчинів холодоагент/ мастило (РХМ). Компонентами об'єктів дослідження були: холодоагент R600a (ізобутан), компресорне мінеральне масло ХФ16-12 (в'язкість при 40°С 16 сСт) і фулерени C_{60}.

Дослідження в'язкості розчину мінерального масла ХФ 16-12 з домішками фулеренів C_{60} проводилися при трьох концентраціях C_{60}: 0,1, 0,2 і 0,25 мас %. Технологія приготування наномасла полягала в диспергирование наночастинок C_{60} в компресорному маслі в ультразвуковій ванні Codison CD 4800 з частотою 42 кГц протягом 30 хвилин. Тривале (протягом 1 місяця) спостереження за компресорним маслом з добавками наночастинок (наномаслом) показало добру агрегативну стійкість фулеренів (без випадання осаду та помутніння) для трьох прийнятих для подальшого дослідження концентрацій наночастинок. Для приготування робочого тіла R600a/ХФ16-12/ C_{60} певну кількість наномасла змішувалося з необхідною кількістю холодоагенту без додаткового ультразвукового диспергування.

Дослідження в'язкості компресорного масла як чистого, так і з добавками фулеренів проведені на експериментальній установці, основним елементом якої є скляний капілярний віскозиметр з висячим рівнем. Розширена невизначеність вимірювання кінематичної в'язкості в дослідженому діапазоні параметрів не перевищувала 0,5 мм^2/с. Для апроксимації отриманих експериментальних даних було

використано рівняння Вальтера, в якому в результаті обробки експериментальних даних була отримана залежність коефіцієнтів від масової концентрації фулеренів в маслі.

Температурна залежність різниці значень кінематичної в'язкості масла ХФ-16-12 і наносасла ХФ-16-12 / C_{60} при декількох значеннях масової концентрації фулеренів C_{60} у ньому наведена на рисунку 1. З наведеного рисунка випливає, що навіть невеликі кількості домішки фулеренів C_{60} призводять до істотного зниження в'язкості масла при низьких температурах.

Цей ефект сприяє поліпшенню запуску холодильного компресора, а також унесення масла з випарника, і, як наслідок, повинен підвищити ефективність процесу теплообміну в випарнику холодильної компресорної системи. З урахуванням незначного впливу фулеренів на в'язкість масла при високих температурах, можна стверджувати, що основною причиною зниження споживання енергії компресором при використанні наномасла [2] слід вважати зменшення сил тертя в сполучуваних деталях компресора. Присутність невеликої кількості сферичних наночастинок (таких як фулерени) у маслі в силу форми і невеликих розмірів не перешкоджає переміщенню окремих шарів рідини при її русі відносно один одного, а навпаки призводить до зниження внутрішнього тертя між цими шарами [1,2]. Проте при збільшенні концентрації наночастинки можуть утворювати великі асиметричні агломерати, що буде сприяти підвищенню в'язкості.

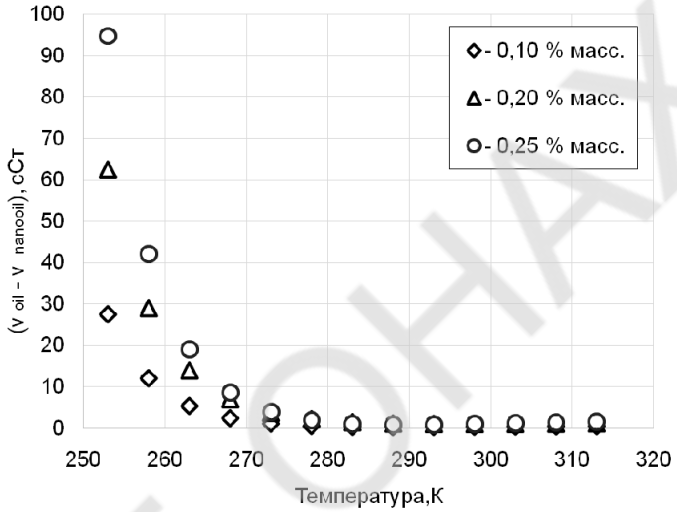


Рис. 1 - Температурна залежність різниці значень кінематичної в'язкості масла ХФ-16-12 і наносасла ХФ-16-12 / C_{60}

Виявлений у представленому дослідженні ефект зниження в'язкості при добавці в масло фулеренів можна пояснити тим, що обрані для дослідження концентрації наночастинок були нижче концентрацій початку утворення агрегатів. Цей висновок побічно підтверджується відсутністю помутніння масла при виконаному дослідженні коефіцієнта пропускання для вивчених зразків наномасла з допомогою спектрофотометра Shimadzu UV-120-02 в оптичних комірках з довжиною оптичного шляху 1,05 мм.

Експериментальне дослідження динамічної в'язкості - η розчинів холодоагент/масло і холодоагент/наномасло виконано на віскозиметрі Гепплера. Точну кількість заправлених компонентів визначали по зміні маси заправного балона до і після заправки компонентів у віскозиметр. Маса заправних балончиків визначалася з використанням аналітичних ваг марки GR-300 з межами відхилень від оцінки виміряних значень маси $5 \cdot 10^{-7}$ кг Температура в проведених дослідженнях в'язкості вимірювалася платиновим термометром опору (TEPA 500Pt) з межами відхилень від оцінки виміряних значень температури 0,3 К.

Для визначення постійної приладу, проводилося градуювання віскозиметра з рідиною з певною в'язкістю. Градуювання проводилася на двох кульках різної маси та діаметра для охоплення всього діапазону змін в'язкості досліджуваних зразків. Для тарувальної рідини було обрано мінеральне компресорне масло, значення в'язкості якої було визначено на капілярному віскозиметрі ВПЖ з розширеною невизначеністю не більше 0,039 мм^2/с.

Дослідження в'язкості РХМ було проведено в діапазоні температур від 263 до 283 К при наступних концентраціях холодоагенту в маслі – w_{vref} : 0,25, 0,5 і 0,65 % мас. Дослідження в'язкості РХМ з добавками фулеренів було проведено при зазначених концентраціях холодоагенту в маслі і при концентрації фулеренів 0,2 % мас. Виконаний аналіз показує, що розширена невизначеність вимірювання в'язкості РХМ і наноРХМ у проведених дослідженнях в залежності від діапазону знаходиться в межах 0,02-0,88 мПа·с. У доповіді

виконаний аналіз отриманих результатів дослідження впливу добавок фулеренів на в'язкість розчинів холодоагент масло.

Література

1. Ku, B. C. et al. Tribological effects of fullerene (C_{60}) nanoparticles added in mineral lubricants according to its viscosity //International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. – 2010. – Т. 11. – №. 4. – С. 607-611.
2. Rashidi, A. et al. Thermal and rheological properties of oil-based nanofluids from different carbon nanostructures //International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2013. – Т. 48. – С. 178-182.
3. Мороз С. А., Хлиева О. Я., Лукьянов Н. Н., Железный В. П. Экспериментальное исследование влияния примесей фуллеренов С60 в компрессорном масле и величины вязкости масла на показатели эффективности холодильной компрессорной системы // Вестник Международной академии холода. 2016. № 1. С. 41–46.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ й РОЗРАХУНКОВе ДОСЛІДЖЕННЯ ГУСТИНИ та В'ЯЗКОСТІ трикомпонентних ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СПИРТІВ

Полюганіч М.П., Хлієва О.Я., канд. техн. наук, доцент, Нікуліна А.С., канд.. техн.. наук
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Багатокомпонентні водні розчини спиртів знаходять широке застосування в енергетиці, а також у фармацевтичній, харчовій, хімічній галузях промисловості. Однак наявна в літературі інформація о теплофізичних властивостях багатокомпонентних, зокрема трикомпонентних водних розчинів одно- і багатоатомних спиртів не в повній мірі відповідає практичним запитам. Ситуація, що склалася з інформаційним забезпеченням даними о теплофізичних властивостях багатокомпонентних розчинів спиртів пояснюється як різноманітністю компонентного складу таких розчинів, так і недосконалістю існуючих методів прогнозування стосовно термодинамічних систем до складу яких входять асоційовані речовини. Проведення дорогих експериментів по дослідженню теплофізичних властивостей різноманітних розчинів в широкому інтервалі концентрацій і температур не завжди економічно виправдано. Тому можна констатувати необхідність розробки методів прогнозування теплофізичних властивостей трикомпонентних водних розчинів спиртів при наявності обмеженої експериментальної інформації.

Для вирішення поставлених в роботі завдань спрямованих на створення методів прогнозування густини і в'язкості водних розчинів спиртів була проведена серія експериментів. В якості об'єктів дослідження розглядалися розчини вода / етанол / пропіленгліколь різного складу. Експериментальні дані про густину були отримані пікнометричним методом в інтервалі температур 248 - 303 К, при декількох концентраціях компонентів, значення яких наведені на рисунок 1. Розширена невизначеність отриманих експериментальних даних не перевищувала 0,2%. Визначення кінематичної в'язкості холодоносіїв виконано в інтервалі температур 248 - 303 К на експериментальній установці, основним елементом якої є скляний капілярний віскозиметр з висячим рівнем типу ВПЖ-2 і ВПЖ-4. Похибка вимірювання температури не перевищувала 0,2 К, розширена невизначеність вимірювання в'язкості склала 0,2%.

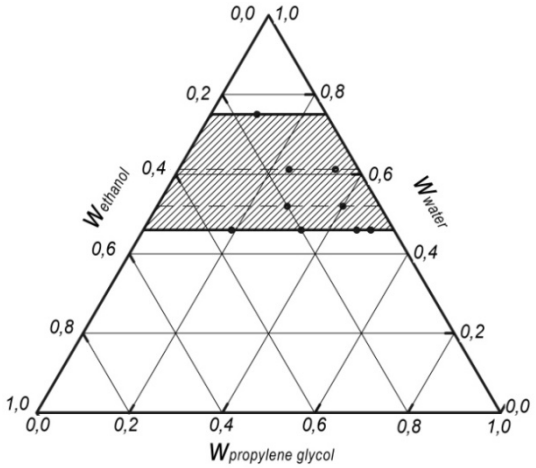


Рис. 1 - Діаграма розчинів вода / етанол / пропіленгліколь (область, що заштрихована відповідає складу розчинів, перспективних у якості холодоносіїв): ● - концентрації, при яких були виміряні густина і в'язкість

Виконаний аналіз методів прогнозування теплофізичних властивостей речовин і розчинів рідин показує, що в умовах обмеженої експериментальної інформації о густині багатокомпонентних розчинів доцільно використовувати запропоновану в роботах [1, 2] кореляцію:

$$\Delta\rho = \rho_0 \cdot t^{\beta \cdot f(t)}, \quad (1)$$

де $\Delta\rho = \rho' - \rho''$ - різниця ортобаричних густин на лінії кипіння й конденсування; ρ_0 - коефіцієнт, який є аналогом критичної амплітуди для різниці ізобаричної густини, кг/м^3; β - критичний індекс для різниці ізобаричної густини (β = 0,3245); *f(t)* - універсальна кросоверна функція, значення якої в інтервалі наведених температур *0,005 > t > 0,65* може бути розраховане за формулою [1, 2]:

$$f(t) = 1 - 0{,}03534 \cdot \frac{t^{1{,}5}}{\ln t} - 0{,}31656 \cdot \frac{t^2}{\ln t} + 0{,}34246 \cdot \frac{t^3}{\ln t}, \quad (2)$$

де $t = 1 - T/\overline{T}_C$ - наведена температура, в якій $\overline{T}_C$ - псевдокритична температура розчину.

Виконаний аналіз методів прогнозування в'язкості розчинів показує, що в умовах обмеженої експериментальної інформації про в'язкості багатокомпонентних холодоносіїв доцільно використовувати методику, запропоновану в роботах [1, 2] з додатковою її модифікацією за рахунок введення фактора складності міжмолекулярної взаємодії ψ [3]:

$$\frac{1}{\eta_{mix}} = a_\eta \left(V_{mix} - Or_{mix}\right)^{b_\eta} \cdot \left(1 + \psi \cdot t^8\right), \quad (3)$$

де a_η и b_η – емпіричні коефіцієнти; V_{mix} - молярний об'єм рідини при температурі визначення в'язкості, м^3/моль; Or_{mix} - ортохор (молярний об'єм рідини при температурі кристалізації), м^3/моль.

За запропонованими кореляціями були розраховані значення густини і в'язкості, а також виконано порівняння розрахованих властивостей об'єктів дослідження з експериментальними значеннями. Результати проведеної перевірки та демонструє рисунок 2.

Виконане дослідження показує, що запропоновану в доповіді модель прогнозування густини і в'язкості розчинів, що складаються з води, одноатомних і багатоатомних спиртів можна рекомендувати як для практичного застосування, так і для розробки нових моделей прогнозування теплопровідності низькотемпературних холодоносіїв.

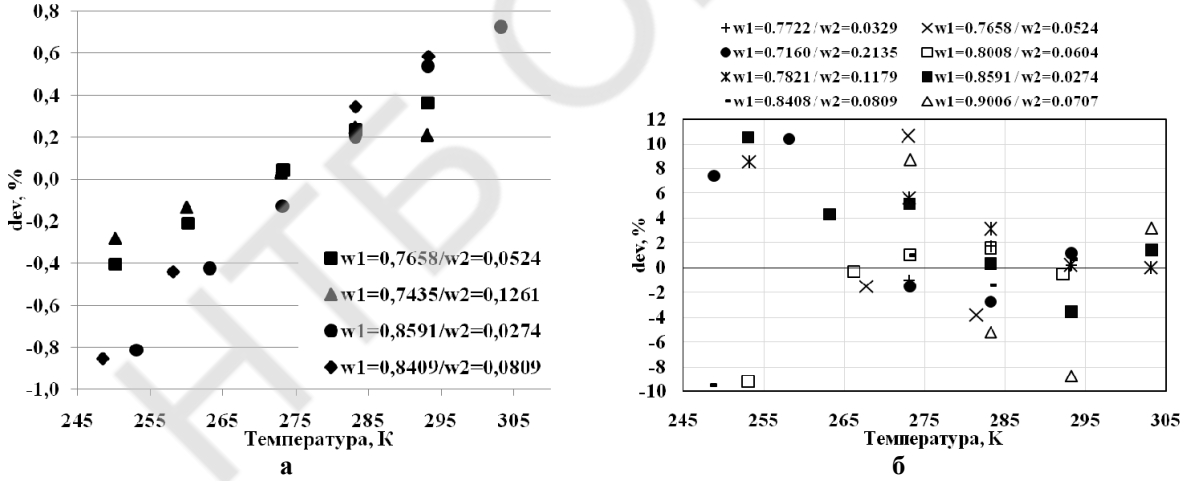


Рис. 2 – Відхилення розрахованих за запропонованою методикою значень густини (рис. 2.а) і в'язкості (рис. 2.б) розчинів вода (w_1) / етанол (w_2) / пропіленгліколь від експериментальних даних

Література

1. Zhelezny, V. A New Scaling Principles–Quantitative Structure Property Relationship Model (SP-QSPR) for Predicting the Physicochemical Properties of Substances at the Saturation Line [Text] / V. Zhelezny, V. Sechenyh, A. Nikulina // Journal of Chemical & Engineering Data. - 2014. – Vol. 59, Issue 2. - pp. 485–493.
2. Железный, В.П. Теплофизические свойства растворов хладагентов в компрессорных маслах: монография [Текст] / В.П. Железный, Ю.В. Семенюк. - Одесса: Фенікс, 2013. – 419 с.
3. Sladkov, I. B. Calculating density of molecular liquids using Agrawal-Thodos equation [Text] / I. B. Sladkov // Russian journal of applied chemistry. – 2002. –Vol. 75, Issue 11. – pp. 1770-1773.

ТЕРМОДИНАМІЧНА РІВНОВАГА СУМІШІ ХЛОДОГЕНТІВ R407C І R410A З КОМПРЕСОРНИМИ МАСЛАМИ

Романенко В.С., студент IVкурсу факультету ПЕЕтаНТ
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Одними з основним вимог до холодильних масел є їх сумісність (розчинність та змішуваність) з альтернативними хладонами, яка забезпечує кращі умови теплообміну в випаровувальній системі, повернення хлодогента в компресор. Цим вимогам відповідають масла на основі поліестерів (POE).

Розчинність та змішування виявлять при термодинамічній рівновазі рідина – пар (VLE) та рідина-рідина-пар (VLLE). В доповіді наведені експериментальні дані про розчинність низькотемпературних змішувань (може відбуватись також при високих температурах) складних хлодогентів R407C (R32/R15/R134a) і R410A (R32/R125), в чотирьох різних поліефірних маслах (POE), однієї компанії, з різними стандартами в'язкості (ISO 32, ISO 46, ISO 68 и ISO 220). Вони мають різні добавки, які значною мірою впливають на властивості рідини (змішуваність, розчинність, густину та в'язкість). Дані про рівновагу компресорних масел і складних хлодогентів є особливо важливі у зв'язку з можливістю розчинення окремих компонентів в цих маслах. Мета роботи - оцінити можливу кореляцію розчинності і змішуваності зі стандартною в'язкістю поліолефірного масла.

Тиск пару (розчинність) вимірювалася методом постійного обсягу при масових концентраціях масла 30, 50, 70, 80 і 90% в діапазоні температур від -20 до 100 ° С і тиску до 5 МПа. Вимірювання низькотемпературної змішуваності - верхньої критичної температури розчинності (ВКТР) - були зроблені з використанням сапфіровою осередки високого тиску. Ці дані були отримані для масових часток масла від 5 до 50% в діапазоні температур від -60 до 0 ° С безпосереднім візуальним спостереженням «молочного помутніння» з подальшим поділом фаз.

Експериментальні дані про рівновагу рідина-пар і рівняння для їх опису наведено в доповіді, а результати вимірювання рівновазі рідина-рідина-пар в таблиці 1.

Табл. 1. Результати вимірювання рівновагу рідина-рідина-пар

Мас. концентр. масла, %	Верхня критична температура розчинності, °С							
	R407C				410A			
	ISO 32	ISO 46	ISO 68	ISO 220	ISO 32	ISO 46	ISO 68	ISO 220
5	-51	-41	-25	-15	-	-	-	-
10	-42	-35	-20	-8	-36	-22	-8	1
20	-37	-30	-16	1	-27	-12	0	9
30	-41	-33	-19	0.5	-27	-12	2	10
40	-54	-42	-29	-10	-33	-19	-11	2
50	-	-56	-44	-25	-44	-39	-32	-23

Аналіз отриманих даних показав, що розчинність сумішей хлодогент / масло майже не залежить від стандартної в'язкості масла. У той же час, зона не змішуваності набагато більше відрізняється для різних сумішей хлодогент / масло. Чим менше стандартна в'язкість масла, тим менше верхня критична температура розчинності суміші хлодогент / масло. Ці температури для сумішей R407C з маслами ISO 32 і ISO 220 відрізняються на 30-45 ° С.

Отримані дані про рівновагу компресорних масел і складних хлодогентів і кореляцію для розчинності і змішуваності зі стандартною в'язкістю масел корисні для оптимального вибору холодильного обладнання.

УДК 532.64

ИССЛЕДОВАНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАНОФЛЮИДАМИ ПРИ ИХ КИПЕНИИ

Семенюк Ю.В., д-р. техн. наук, доцент, Никулин А.Г., канд. техн. наук
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В работе приведены результаты исследования влияния слоя наночастиц Al2O3 на краевой угол смачивания изопропиловым спиртом теплопередающей поверхности в процессе пузырькового кипения нанофлюида изопропанол/Al2O3. Концентрация наночастиц Al2O3 в нанофлюиде составляла 0,0429 масс. %. Кипение нанофлюида происходило при средней температуре 68 °С и плотности теплового потока 32 кВт/м2 в течение 10, 60 и 360 мин. Показано, что если материал нагревателя является гидрофильным по отношению к базовой жидкости нанофлюида, то образующийся в процессе кипения нанофлюида на теплообменной поверхности слой наночастиц не влияет на краевой угол смачивания.
Ключевые слова: *наночастицы, нанофлюиды, краевой угол смачивания.*

The influence of nanoparticles Al2O3 layer, formed during nucleate boiling of isopropanol/Al2O3 nanofluid, on isopropyl alcohol contact angle at heat exchange surface have been reported. The concentration of nanoparticles Al2O3 in nanofluid was 0.0429 wt. %. The nanofluid boiling occurred at average temperature of 68 °C and heat flux density of 32 kW/m2 for 10, 60 and 360 minutes. The results obtained showed that when the heater material is hydrophilic with respect to the base fluid of nanofluid the nanoparticle layer at heat exchange surface formed during nanofluid boiling does not affect the contact angle.
Keywords: *nanoparticles, nanofluids, contact angle.*

Одним из современных методов интенсификации теплообмена в технологическом оборудовании является применение новых рабочих тел с более совершенными теплопередающими свойствами, например, нанофлюидов – гетерогенных коллоидных систем твердых частиц наноразмеров - до 100 нм в базовой жидкости. Добавки наночастиц в базовые жидкости могут приводить к существенному изменению как их теплофизических свойств [1], так и коэффициента теплоотдачи при кипении в объеме [2] и потоке [3].

Результаты исследования диаметра отрывных пузырьков при кипении изопропанола и нанофлюида изопропанол/Al_2O_3 [2] показали, что при некоторых параметрах отличие данной характеристики для нанофлюида и чистой жидкости может достигать 30 %. Такой эффект может быть следствием влияния наночастиц на теплофизические свойства базовой жидкости и образования слоя наночастиц на теплопередающей поверхности в процессе кипения нанофлюида [4].

Целью настоящей работы являлось изучение влияния слоя наночастиц Al_2O_3, образующегося в процессе пузырькового кипения нанофлюида изопропанол/Al_2O_3, на краевой угол смачивания теплопередающей поверхности.

Исследуемые образцы представляли собой пару капилляров из нержавеющей стали, которые располагались на расстоянии 0,2 мм друг от друга, погружались в бюкс с исследуемой жидкостью и устанавливались на предметный столик оптического микроскопа со встроенной веб-камерой, подключенной к персональному компьютеру. Мениск жидкости, образующийся между капиллярами, освещался светодиодом. При помощи зеркальной призмы его изображение проецировалось в объектив микроскопа и посредством веб-камеры преобразовывалось в цифровой формат. Цифровые изображения мениска, которые отображались на экране компьютера в режиме реального времени, получали при помощи программного обеспечения ScopeImage 9.0 (H1C).

Эксперимент включал в себя следующие этапы:

1) подготовка поверхности образцов капилляров путем тщательного обезжиривания;

2) получение цифровых изображений мениска в зазоре между капиллярами;

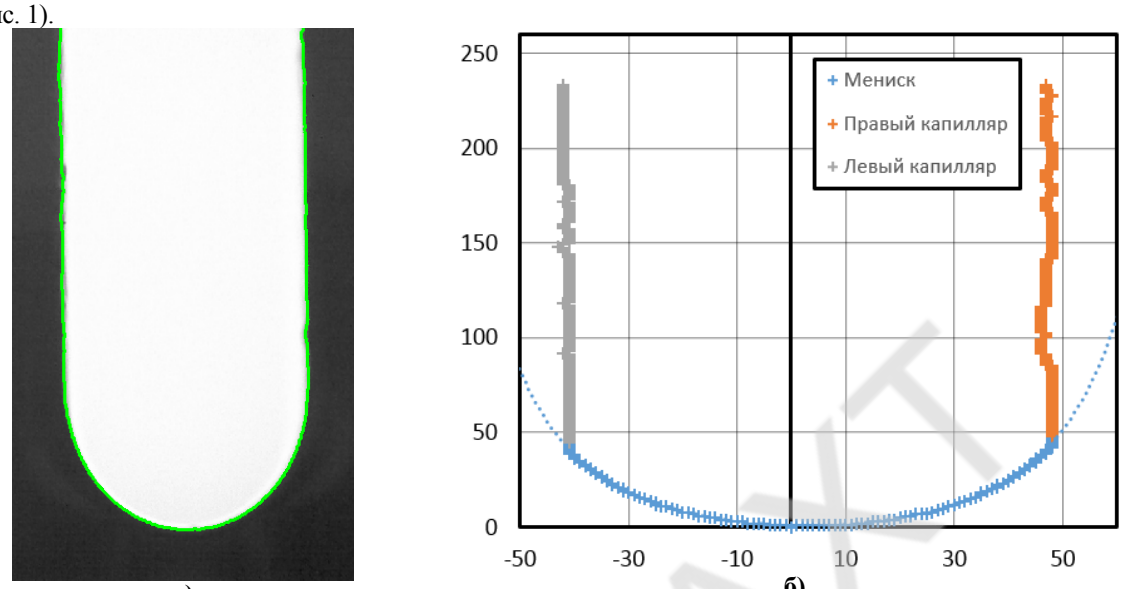
3) обработка полученных изображений мениска.

В опытах бюкс с исследуемыми образцами перемещался на предметном столике при помощи регулировочных винтов таким образом, чтобы на экране компьютера зазор между капиллярами выглядел наиболее контрастно.

Мениски исследовались в нескольких точках с шагом 1 мм по высоте капилляров 10 мм. В каждом фиксированном положении капилляров сохраняли несколько цифровых изображений мениска.

Измерения менисков проводились при натекании и оттекании жидкости. При исследовании «угла натекания» уровень жидкости в бюксе повышали, а при исследовании «угла оттекания» - снижали.

Обработка полученных цифровых изображений выполнялась при помощи программы, созданной в среде Matlab. Методика обработки изображений включала в себя ряд процедур, в результате которых определялись координаты пикселей, принадлежащих границе, образованной капиллярами и мениском (см. рис. 1).



а) **б)**

Рис. 1 – Координаты пикселей, принадлежащие границе:
а) наложенные на исходное изображение;
б) на координатной плоскости (на приведенном рисунке не соблюден масштаб)

После определения координат пикселей, принадлежащих границе левый капилляр – мениск – правый капилляр, полученные данные аппроксимировали уравнениями вида:

- для левого капилляра

$$Y_л = A_л + B_л \cdot X_л; \tag{1}$$

- для правого капилляра

$$Y_п = A_п + B_п \cdot X_п; \tag{2}$$

- для мениска

$$Y_м = A_м + B_м \cdot X_м + C_м \cdot X_м^2 + D_м \cdot X_м^3 + E_м \cdot X_м^4 + F_м \cdot X_м^5 + G_м \cdot X_м^6, \tag{3}$$

где, $Y_л$, $X_л$, $Y_п$, $X_п$, $Y_м$, $X_м$ – координаты ординат и абсцисс пикселей, принадлежащих левому капилляру, правому капилляру и мениску, соответственно; $A_л$, $B_л$, $A_п$, $B_п$, $A_м$, $B_м$, $C_м$, $D_м$, $E_м$, $F_м$, $G_м$ – коэффициенты уравнений, полученные в результате аппроксимации.

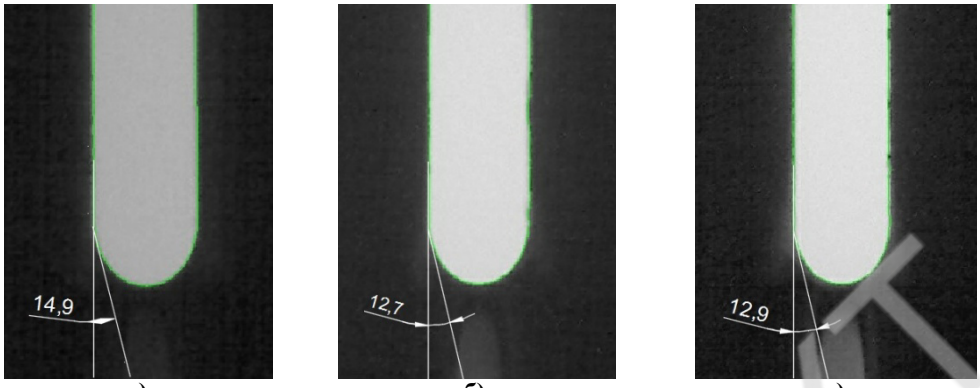
При дальнейшей обработке полученных данных находились общие решения пар уравнений (1), (3) и (2), (3). При условии $Y_л = Y_м$ определяли точку соприкосновения границ левого капилляра и мениска и соответствующую ей координату – X_1, а при условии $Y_п = Y_м$ - точку соприкосновения границ правого капилляра и мениска и соответствующую ей координату – X_2.

Краевой угол смачивания на i – ом капилляре при соответствующей абсциссе X_i определяли по следующей формуле

$$\Theta_i = 90^\circ \pm \frac{180^\circ}{\pi} arctg\left(\frac{dY_м(X_i)}{dX_м}\right). \tag{4}$$

При исследовании краевого угла смачивания изопропанолом поверхность капилляров-нагревателей загрязнялась наночастицами в процессе кипения нанофлюида изопропанол/Al_2O_3, содержавшего 0,0429 масс. % наночастиц Al_2O_3. Следует отметить, что в данной работе использовались те же капилляры и

та же методика приготовления нанофлюида, что и в работе [2]. Кипение нанофлюида происходило в развитом пузырьковом режиме при средней температуре 68 ^{0}C и плотности теплового потока 32 кВт/м^2 в течение 10, 60 и 360 мин. После каждого из этих периодов получали цифровые изображения формы мениска в зазоре между капиллярами на нескольких участках. Некоторые из полученных изображений представлены на рис. 2.



а) б) в)

Рис. 2 – Изображения мениска: а) чистая поверхность капилляров (при натекании); б) через 60 минут кипения нанофлюида (при оттекании); в) через 60 минут кипения нанофлюида изопропанол/Al_2O_3 (при натекании)

Результаты выполненного исследования представлены на рис. 3, из которого следует, что краевой угол смачивания практически не зависит от времени кипения нанофлюида. Авторы зафиксировали лишь отклонения измеренных величин от среднего значения, соизмеримые со стандартным отклонением измерения краевого угла смачивания, не превышающим, по оценке авторов, 2^0.

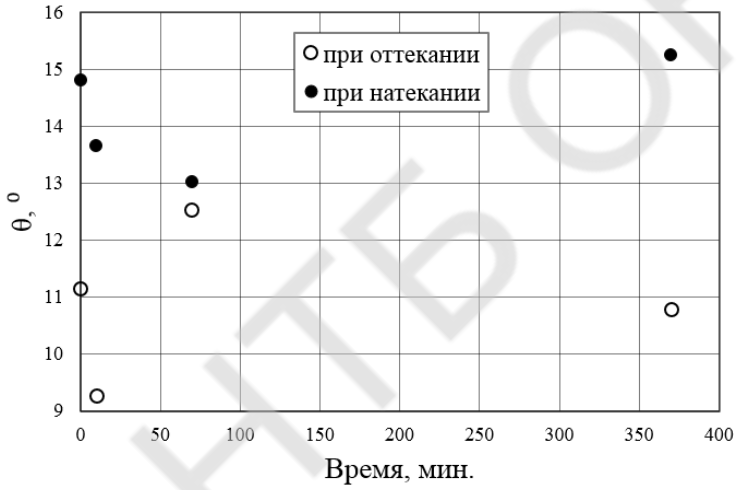
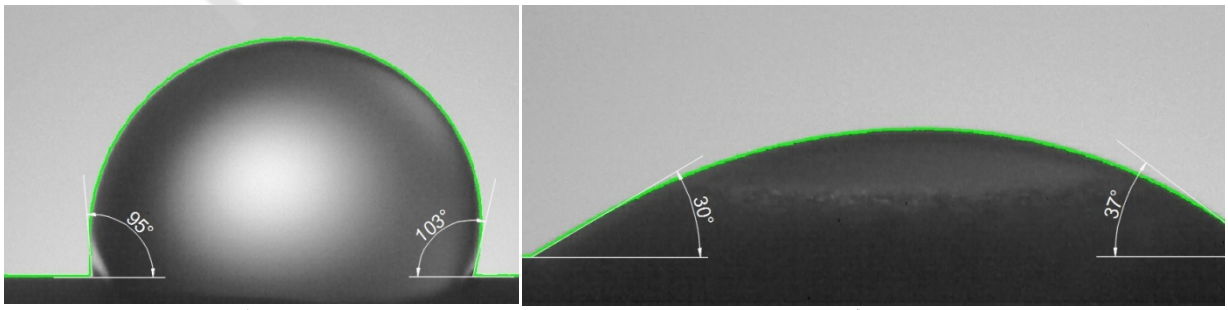


Рис. 3 – Результаты исследования краевого угла смачивания нагревателя изопропанолом в зависимости от времени кипения нанофлюида изопропанол/Al_2O_3



а) б)

Рис. 4 – Изображения капель воды на поверхности капилляра-нагревателя: а) чистая поверхность; б) поверхность, загрязненная наночастицами в результате кипения нанофлюида изопропанол/Al_2O_3 в течение 300 мин.

Качественно и количественно отличающийся результат был получен при исследовании краевого угла смачивания поверхности тех же капилляров-нагревателей ограниченно смачивающей их жидкостью - водой. На рис. 4 представлены изображения капель воды на чистой поверхности и на поверхности, загрязненной наночастицами в процессе кипения нанофлюида изопропанол/Al_2O_3 в течение 300 мин. Как видно из рисунка, краевой угол смачивания уменьшается от $(95…103)^0$ для чистой поверхности до $(30…37)^0$ для поверхности, загрязненной наночастицами, что качественно согласуется с результатами других авторов [5,6].

Выводы

По результатам проведенного исследования можно сформулировать вывод о том, что в случае, когда материал нагревателя является гидрофильным по отношению к базовой жидкости нанофлюида, влияние осаждённых наночастиц на краевой угол смачивания теплопередающей поверхности не следует рассматривать как фактор, влияющий на характеристики кипения.

Литература

1. Железный, В.П. Комплексное экспериментальное исследование теплофизических свойств нанофлюидов изопропиловый спирт/Al_2O_3 на линии кипения [Текст] / В.П. Железный и др. // XIV российская конференция по теплофизическим свойствам веществ. – Казань. – 2014. – С. 313 -317.
2. Железный, В.П. Методические особенности экспериментального изучения процессов кипения нанофлюидов в свободном объеме [Текст] / В.П. Железный, Ю.В. Семенюк, А.Г. Никулин, Н.Н. Лукьянов // Вестник МАХ. – 2014. – №.3. – С. 4-9.
3. Peng, H. Heat transfer characteristics of refrigerant-based nanofluid flow boiling inside a horizontal smooth tube [Text] / H. Peng at al. // Int. J. of Refrigeration. – 2009. – Vol. 32. – P. 1259 – 1270.
4. Железный, В.П. Методические особенности изучения процессов кипения в свободном объеме нанофлюида изопропанол/Al_2O_3 [Текст] / В.П. Железный и др. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Вып.68. – С. 39 - 45.
5. Kim, S.J. Effects of nanoparticle deposition on surface wettability influencing boiling heat transfer in nanofluids [Text] / S.J. Kim, I.C. Bang, J. Buongiorno, L.W. Hu // Appl. Phys. Lett. – 2006. – Vol.89(15). – P. 153107-1-3.
6. Phan, H.T. Surface wettability control by nanocoating: The effects on pool boiling heat transfer and nucleation mechanism [Text] / H.T. Phan [et. al.] // Int. J. Heat Mass. Transfer. – 2009. – Vol.52. – P. 5459-5471.

УДК 536.24

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ КИПЕНИИ НАНОФЛЮИДОВ В СВОБОДНОМ ОБЪЕМЕ

Семенюк Ю.В., д-р. техн. наук, доцент, Никулин А.Г., канд. техн. наук
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В работе приводятся результаты обобщения данных о коэффициенте теплоотдачи при кипении в свободном объеме хладагента R11, изопропанола и нанофлюида изопропанол/Al_2O_3. В качестве базовой была принята полуэмпирическая модель разделения тепловых потоков RPI (Rensselaer Polytechnic Institute). Отклонения эмпирических данных о коэффициенте теплоотдачи и расчетной информации по модели RPI в основном лежат в поле ± 5 % и не превышают 10 %.

***Ключевые слова**: нанофлюид, кипение, моделирование.*

This paper presents the results of pool boiling heat transfer coefficient data generalization for refrigerant R11, isopropanol, and nanofluid isopropanol/Al_2O_3. A semi-empirical heat flux partitioning model RPI (Rensselaer Polytechnic Institute) was used. Deviation of empirical and calculated by RPI model data on the heat transfer coefficient basically belong to the field of ± 5% and does not exceed 10%.

***Keywords**: nanofluid, boiling, modeling.*

Анализ работ, посвященных моделированию коэффициента теплоотдачи (КТО) при кипении нанофлюидов в свободном объеме, показывает, что предложенные модели в основном носят эмпирический характер [1,2,3] и могут быть использованы только для исследованных авторами нанофлюидов и условий проведения эксперимента. Обоснованность распространения таких корреляций на другие жидкости и термодинамические условия требует экспериментального подтверждения.

В настоящей работе для обобщения данных о КТО при кипении в свободном объеме хладагента R11, изопропанола и нанофлюида изопропанол/Al_2O_3, приведенных в [4,5], в качестве базовой была принята полуэмпирическая модель RPI (Rensselaer Polytechnic Institute), предложенная Kurul и Podowski [6]. Эта модель, основанная на схеме Bowring [7] раздельного учета различных механизмов переноса теплоты при кипении, была адаптирована [6] для пузырькового кипения в свободном объеме. При этом авторы использовали собственную экспериментальную информацию о КТО при кипении воды в свободном объеме, количестве центров парообразования, отрывном диаметре пузырьков, частоте отрыва пузырьков и времени их роста. Результаты выполненного в работе [4] сопоставления экспериментальных данных о КТО со значениями, рассчитанными по модели RPI, показали их хорошее согласование (особенно при низких тепловых потоках - до 100 кВт/м^2).

В рамках модели RPI рассматриваются следующие механизмы переноса теплоты: передача теплоты за счет испарения - теплота, расходуемая на образование пузырьков - q_u; расход теплоты на восстановление теплового пограничного слоя после отрыва пузырька - q_{nc}; передача теплоты к жидкости посредством конвекции за пределами области влияния пузырьков - $q_к$.

Таким образом, суммарный передаваемый тепловой поток определяется по формуле

$$q_{сум} = q_u + q_{nc} + q_к. \tag{1}$$

Для каждой составляющей теплового потока можно записать расчетные выражения, располагая информацией об отрывном диаметре пузырьков D_0, частоте отрыва пузырьков f, количестве действующих центров парообразования N и теплофизических свойствах кипящей жидкости. Для величины q_u такое

$$q_u = \frac{\pi}{6F}\rho_n r N\left(fD_0^3\right), \tag{2}$$

где F – площадь поверхности теплообмена; ρ_n – плотность пара кипящей жидкости; r – теплота парообразования; N – количество действующих центров парообразования.

Используя предположение Han и Griffith [8], что отрывающийся пузырек возмущает область теплового пограничного слоя, размер которой принимается равным $2D_0$, выражение для величины q_{nc} можно записать следующим образом:

$$q_{nc} = \frac{2\pi\lambda\left(T_{cm} - T_н\right)}{F\sqrt{\pi a}} N\left(fD_0^2\sqrt{1/f}\right). \tag{3}$$

Следует отметить, что в данной работе при расчетах использовались значения КТО и размера D_0, определявшиеся по экспериментальной информации [4,5], а частота отрыва пузырьков f рассчитывалась по формуле Толубинского [9]

$$f = \frac{2\theta\sqrt{\dfrac{\sigma}{g\left(\rho - \rho_n\right)}}}{D_0}, \tag{4}$$

где ρ – плотность жидкости; θ – краевой угол смачивания, принимается равным 30˚ вне зависимости от жидкости.

Теплота, передаваемая свободной конвекцией от области нагревателя, не возмущенной пузырьками, принималась равной

$$q_к = \left[1 - \left(\frac{\pi}{4F}ND_0^2 + F_c\right)\right]\alpha_к\left(T_{cm} - T_н\right), \tag{5}$$

где T_{cm}, $T_н$ – температуры стенки и насыщения, соответственно; F_c – доля площади нагревателя, возмущаемая пузырьками, соскальзывающими с нижней части нагревателя. Эта доля площади рассчитывалась по формуле

$$F_c = \frac{\pi D_0 dN}{8F}, \tag{6}$$

где d – диаметр нагревателя.

Коэффициент теплоотдачи при свободной конвекции рассчитывался по формуле [10]

$$\alpha_к = \frac{\lambda}{d}\left[0,52\,\mathrm{Pr}^{0,3} - 0,02\,\mathrm{Pr}^{-0,33}\right] Gr^{0,25}, \tag{7}$$

где λ – теплопроводность жидкости; *Pr* – число Прандтля; *Gr* - число Грасгофа.

В настоящей работе при расчете составляющих теплового потока по приведенным выше уравнениям использовались следующие источники информации о теплофизических свойствах: для чистого изопропанола и R11 - базы данных [11] и [12], соответственно; для нанофлюида изопропанол/Al_2O_3 – данные о теплопроводности, вязкости, и теплоемкости [13]. Необходимо отметить, что в работах [4] и [13] использовались идентичные образцы нанофлюида изопропанол/Al_2O_3 (CAS 70-21-29), не отличались также и технологии приготовления нанофлюидов различных составов.

Количество действующих центров парообразования *N* было определено из условия $q \equiv q_{сум}$, где *q* – теплота, выделявшаяся нагревателем в эксперименте [4,5].

Результаты расчета количества действующих центров парообразования для чистого изопропанола и хладагента R11 показаны на рис. 1.

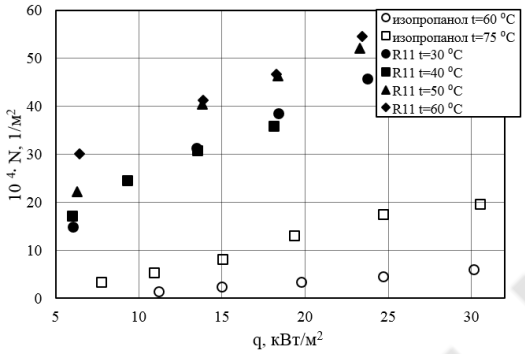


Рис. 1 – Результаты расчета количества действующих центров парообразования при кипении изопропанола и R11 в зависимости от плотности теплового потока и температуры

Как видно, увеличение температуры кипящей жидкости и плотности теплового потока приводит к увеличению количества действующих центров парообразования.

Результаты расчета количества действующих центров парообразования для чистого изопропанола и нанофлюидов изопропанол/Al_2O_3 показаны на рис. 2. Из рисунка видно, что величина *N* очень сильно (в несколько раз) изменяется в зависимости от температуры кипения, плотности теплового потока и концентрации наночастиц.

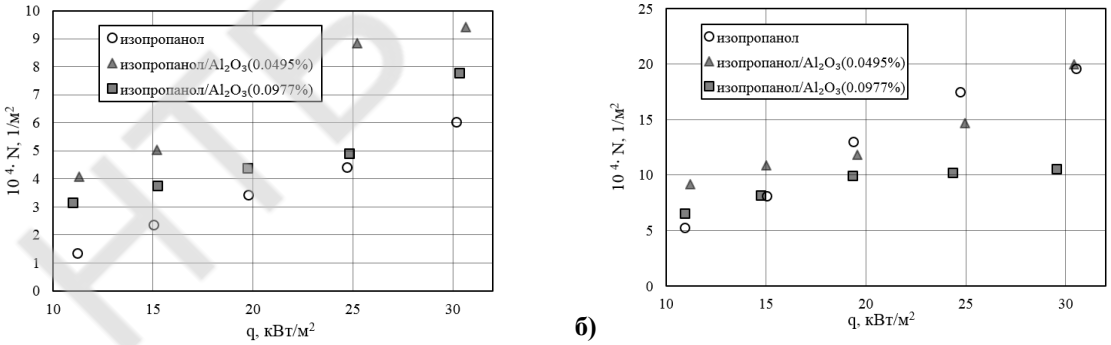
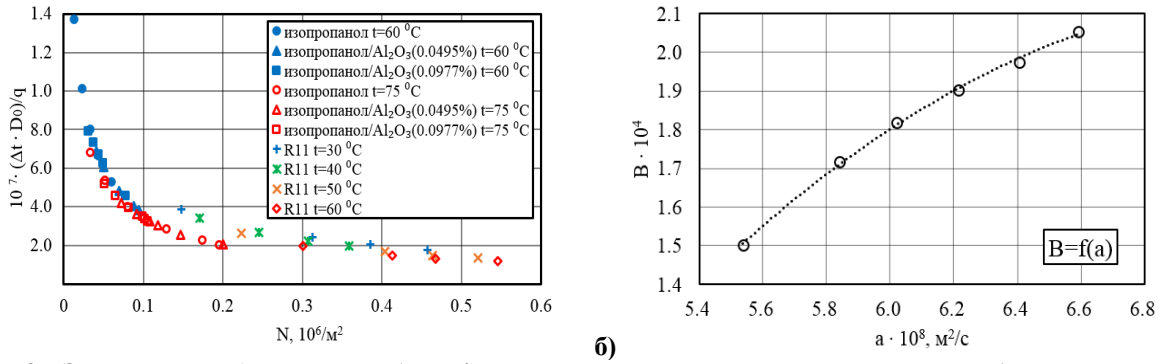


Рис. 2 - Результаты расчета количества действующих центров парообразования при кипении изопропанола и нанофлюидов изопропанол/Al_2O_3: а) t=60 ^{0}C; б) t=75 ^{0}C

Проведенный анализ полученных экспериментальных [4,5] и расчетных данных позволяет сделать вывод, что зависимость комплекса $\Delta t \cdot D_0/q \equiv D_0/\alpha$ от количества действующих центров парообразования *N* является в достаточной степени общей для изопропанола, нанофлюида изопропанол/Al_2O_3 и хладагента R11 (см. рис. 3а).



а) **б)**

Рис. 3 – Зависимости: а) комплекса $\Delta t \cdot D_0/q$ от количества действующих центров парообразования N; б) коэффициента B уравнения (8) от температуропроводности кипящей жидкости

Эта зависимость аппроксимирована уравнением

$$\frac{\Delta t \cdot D_0}{q} = A + \frac{B}{N^{0.5}}, \tag{8}$$

где A и B – коэффициенты, A = -1,33922·10^{-7}. Было установлено, что коэффициент B зависит от температуропроводности кипящей жидкости (см. рис. 3б) и может быть рассчитан по аппроксимационному уравнению

$$B = -2.113 \cdot 10^{11} a^2 + 3.076 \cdot 10^4 a - 9.044 \cdot 10^{-4}. \tag{9}$$

Отклонения эмпирических данных о КТО при кипении исследованных в [4,5] жидкостей от значений, рассчитанных по уравнениям (8) и (9) с использованием экспериментальной информации об отрывном диаметре пузырька D_0 и расчетной информации о количестве центров парообразования N, в основном лежат в поле ± 5 % и не превышают 10 % (см. рис. 4), что свидетельствует о приемлемой точности предлагаемых корреляций.

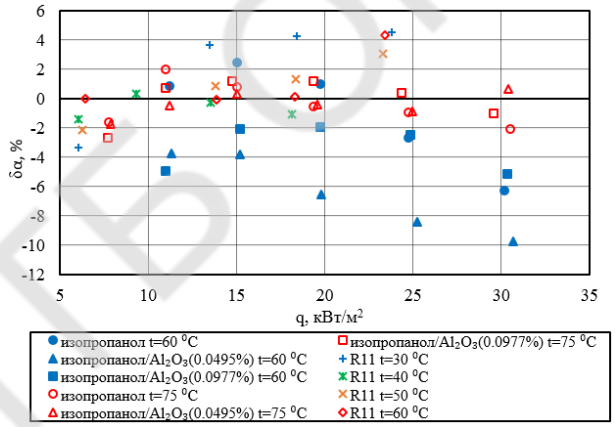


Рис. 4 – Относительные отклонения эмпирических данных о КТО при кипении исследованных жидкостей от значений, рассчитанных по уравнениям (8) и (9)

Выводы

При моделировании процессов кипения нанофлюидов в свободном объеме следует учитывать изменение морфологии поверхности нагрева, влияющей на количество центров парообразования и размер отрывных диаметров пузырьков. С учетом изложенных результатов наиболее приемлемой для прогнозирования КТО при кипении является базовая модель разделения тепловых потоков.

Впервые показано, что зависимость комплекса $\Delta t \cdot D_0/q$ от плотности центров парообразования N носит универсальный характер для различных классов веществ. Применение предлагаемой корреляции позволяет значительно сократить объем экспериментальных исследований КТО при кипении чистых веществ и нанофлюидов в свободном объеме.

Литература

1. Das, S.K. Pool boiling characteristics of nano-fluids [Text] / SK. Das, N. Putra, W. Roetzel // Int. J. Heat Mass. Transf. – 2003. – Vol.46. – P. 851-862.
2. Bang, I.C. Boiling heat transfer performance and phenomena of Al_2O_3 -water nanofluids from a plain surface in a pool [Text] / IC. Bang, Chang S. Heung // Int. J. Heat Mass. Transf. – 2005. – Vol.48. – P. 2407-2419.
3. Peng, H. Effect of surfactant additives on nucleate pool boiling heat transfer of refrigerant-based nanofluid [Text] / H. Peng, G. Ding, H. Hu // Exp. Thermal Fluid Sci. – 2011. – Vol.35. – P. 960-970.
4. Железный, В.П. Методические особенности экспериментального изучения процессов кипения нанофлюидов в свободном объеме [Текст] / В.П. Железный, Ю.В. Семенюк, А.Г. Никулин, Н.Н. Лукьянов // Вестник МАХ. – 2014. – №.3. – С. 4-9.
5. Никулин, А. Г. Экспериментальная установка для исследования процессов кипения чистых жидкостей и растворов в свободном объеме [Текст] / А.Г. Никулин, Ю.В. Семенюк, Н.Н. Лукьянов // Холодильная техника и технология. – 2013. – № 4(144). – С. 12–18.
6. Gerardi, C. Study of bubble growth in water pool boiling through synchronized, infrared thermometry and high-speed video / C. Gerardi, J. Buongiorno, L. Hu, T. McKrell // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2010. – Vol. 53. – P. 4185–4192.
7. Bowring, R.W. Physical model based on bubble detachment and calculation of steam voidage in the subcooled region of a heated channel [Text] / R.W. Bowring // OECD Halden HPR-10. - 1962.
8. Han, C.Y. The mechanism of heat transfer in nucleate pool boiling [Text] / C.Y. Han, P. Griffith // Int. J. Heat Mass Transfer. – 1965. – Vol. 8. – P. 887–914.
9. Толубинский, В.И. Теплообмен при кипении [Текст] / В.И. Толубинский. - Киев: Наук. думка. - 1980. - 316 с.
10. Кутателадзе, С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие [Текст] / С.С. Кутателадзе. - М.: Энергоатомиздат. - 1990. - 367 с.
11. VDI Heat Atlas [Text] / ed. by P. Stephan, S. Kabelac, M. Kind, H. Martin, D. Mewes, K. Schaber – Second edition. – Berlin: Springer – Verlag, 2010.- 1584 p.
12. NIST Thermodynamic properties of refrigerants and refrigerants mixtures database (REFPROP) Version 7.1/ M.O. McLinden, S.A. Klein, E.W. Lemmon, A.P.G. Peskin. - Gaithersburg: NIST. – 2003.
13. Железный, В.П. Комплексное экспериментальное исследование теплофизических свойств нанофлюидов изопропиловый спирт/Al_2O_3 на линии кипения [Текст] / В.П. Железный и др. // XIV российская конференция по теплофизическим свойствам веществ. – Казань. – 2014. – С. 313 -317.

УДК 536.715; 621.564.27

ПЛАВЛЕНИЕ И СВОЙСТВА СОСУЩЕСТВУЮЩИХ ФАЗ МЕТАНА ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Якуб Л.Н., д-р техн. наук, профессор; Бодюл Е.С.
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В представленной работе линия плавления метана предсказана с использованием двух теоретических уравнений состояния: для твердой и жидкой фаз. Уравнения состояния обеих фаз получены в рамках теории возмущений, в которой кристалл или жидкость, состоящие из сферических молекул, выступают в качестве опорной системы, а октуполь-октуполь взаимодействие молекул метана является возмущением.
***Ключевые слова**: метан, линия плавления, термодинамическая теория возмущения, каноническое уравнение состояния, скачок объема.*

The melting line of methane was predicted by two theoretical equations of state: for the solid and liquid phases. Equations of state developed within the framework of perturbation theory, in which the crystal or liquid consisting of spherical molecules is a support system, and octupole-octupole interaction of methane molecules is a perturbation.
***Keywords:** methane, melting line, thermodynamic perturbation theory, canonical equation of state, volume jump.*

Поиск новых энергоёмких систем на основе углеродных материалов, пригодных для хранения и лёгкого извлечения из них молекулярного водорода как топлива, обнаружение метана в конденсирован ном состоянии на некоторых планетах Солнечной системы, например, на спутнике Сатурна Титане [1] – это основные направления интереса к свойствам метана в области высоких давлений, определяющие актуальность их исследования.

Твердый метан имеет богатую фазовую диаграмму при высоких давлениях [2], при комнатной температуре и P < 1,6 ГПа метан кристаллизуется в так называемую фазу 1, стабильную в широком диапазоне температур и давлений, и находящуюся в равновесии с жидкой фазой при высоких температурах.

В работе рассматривается высокотемпературная ГЦК фаза, в которой наблюдается практически свободное вращение молекул, а основной вклад несферических сил вносит октуполь-октупольное взаимодействие молекул CH_4. По своим свойствам эта фаза близка к отвердевшим инертным газам, что позволяет применить для расчета ее свойств термодинамическую теорию возмущения, где в качестве нулевого приближения выступает кристалл, состоящий из сферических молекул, а в качестве потенциала возмущения – октуполь-октупольное взаимодействие молекул метана.

Мы используем канонические уравнения состояния для твердой и жидкой фаз [3].

Свободная энергия может быть записана в виде:

$$F(V,T) = F^{(сф)}(V,T) + \Delta F_{oct} \ ,$$

где $F^{(сф)}(V,T)$ – свободная энергия Гельмгольца кристалла, состоящего из сферических молекул, которая может быть рассчитана по теоретически обоснованному уравнению состояния, полученному в работе [4]; – поправка на октуполь-октупольное взаимодействие.

Подход к получению уравнения состояния сильно ангармонических кристаллов [4] основан на обобщении Майеровского группового разложения на твердые тела.

Для проведения практических расчетов в работе [5] была предложена аналитическая аппроксимация канонического уравнения состояния для сильно ангармонического кристалла. Уравнение было записано в простой аналитической форме, подобной той, что была предложена Ван-дер-Хоффом.

В рамках термодинамической теории возмущения поправка на октуполь-октупольное взаимодействие записывается в виде:

$$\Delta F_{oct} = \langle \Delta U_{oct} \rangle - \frac{1}{2kT}\left[\langle \Delta U^2{}_{oct} \rangle - \langle \Delta U_{oct} \rangle^2 \right] + \ldots$$

Здесь угловые скобки означают усреднение энергии октуполь-октупольного взаимодействия молекул метана по ориентациям и функции распределения опорной системы с центральным взаимодействием. Усреднение по ориентациям можно проводить также как и для системы свободных ротаторов. При этом мультипольная симметрия нецентрального взаимодействия приводит к тому, что поправка первого приближения обращается в нуль. Ввиду этого, оценку влияния несферичности потенциала взаимодействия на термодинамические свойства системы даёт среднее значение квадрата октуполь-октупольного взаимодействия.

Для жидкой фазы используется теоретическое уравнение состояния [6], которое отлично описывает имеющиеся МС данные Леннард-Джонсовской жидкости.

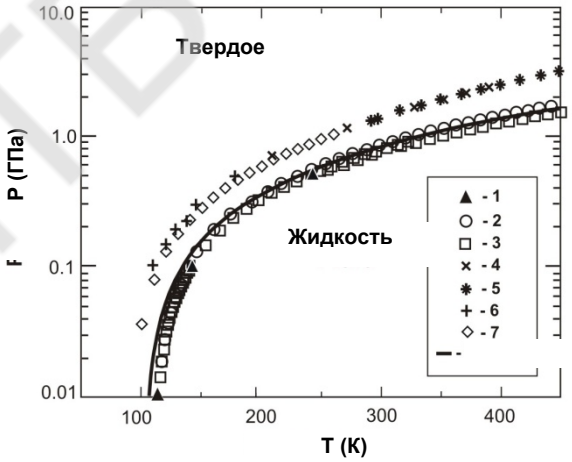


Рис. 1 – Зависимость давления от температуры (линия плавления метана). Сплошная линия – результат расчета авторов данной работы; 1, 2, 3 – данные МС [7]; 4, 5, 6, 7 – экспериментальные данные [8, 9].

В настоящей работе выполнены расчеты линии плавления опорной системы (Леннард-Джонсовского кристалла), оценен вклад октуполь-октупольного взаимодействия в термодинамические свойства метана, рассчитана P-T зависимость на линии плавления метана, определены плотности сосуществующих фаз и, соответственно, скачок объема на линии плавления.

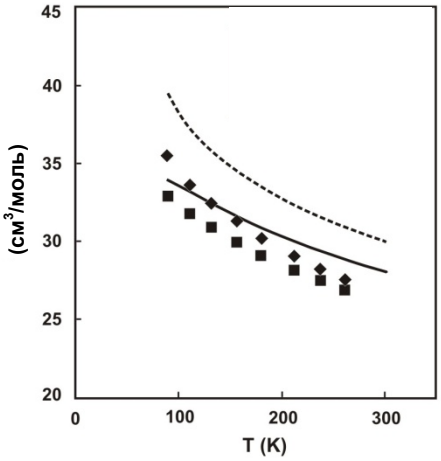


Рис. 2 – Молярные объемы твердого и жидкого метана на линии плавления. Сплошная и пунктирная линии, соответствующие твердой и жидкой фазам – результат расчета авторов данной работы; ▪ и ◆ – экспериментальные данные Ченга [10], соответственно для твердой и жидкой фаз.

Результаты расчета линии плавления метана и скачка объема представлены на рисунках 1 и 2, где сравниваются с имеющимися данными машинного эксперимента МС [7] и экспериментальными [8,9,10].

Рассчитанные объемы твердой и жидкой фаз метана находятся в хорошем согласии с экспериментом (3-10)%, но скачок объема заметно завышен.

Выводы

Сравнение результатов расчета линии плавления Леннард-Джонсовского кристалла хорошо согласуются с данными компьютерного моделирования в интервале приведенных температур T*=0.5…3.0, что свидетельствует о хорошем качестве используемых уравнений состояния опорной системы.

Предложенный подход, использующий теоретические уравнения состояния твердой и жидкой фаз метана, позволяет получить результаты, не уступающие по точности результатам компьютерного моделирования. Имеющееся систематическое отклонение результатов расчета равновесного давления на линии плавления метана с опытными данными связано, по-видимому, с неадекватным описанием короткодействующего отталкивания молекул CH_4 потенциалом (12 – 6).

Предложенное уравнения состояния твердого метана не имеет подгоночных параметров и может быть использовано для предсказания термодинамических свойств и линии плавления дейтеро- и галлоидозамещеных метана, которые имеют ГЦК решетку.

Литература

1. Dyches P., Bauer M. Cassini Explores a Methane Sea on Titan (2016, April 26). Retrieved from http://www.nasa.gov/feature/jpl/cassini-explores-a-methane-sea-on-titan.
2. Bini R., Pratesi G. High-pressure infrared study of solid methane: Phase diagram up to 30 GPa. // Physical Review. B. – 1997. – Vol. 55. – No. 22. – P. 14800-14809. DOI: http://dx.doi.org/10.1103/physevb.55.14800.
3. Yakub L. N., Bodiul O. S. Low-temperature equation of state of solid methane. // Refrigeration Engineering and Technology. – 2016. – Vol. 52. – Iss. 1. –P. 80–85. DOI: http://dx.doi.org/10.21691/ret.v52i1.46.
4. Yakub L., Yakub E. Absolute Helmholtz free energy of highly anharmonic crystals: Theory vs Monte Carlo. // Journ. Chem. Phys. – 2012. – Vol. 136. – P. 144508. DOI: http://dx.doi.org/10.1063/1.3702437.
5. Yakub L. Theoretical Equation of State for Highly An-harmonic Solids // International Journal of Thermophysics. – 2013. – Vol. 35. – No. 9-10. – P. 1957–1965. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s10765-012-1381-z.
6. Kolafa J., Horst L., Vortler H.L., Aim K., Nezbeda I. The Lennard-Jones Fluid Revisited: Computer Simulation Results. // Molecular Simulation. – 1993. – Vol. 11. – Iss. 5. – P 305-319.
7. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/08927029308022515.
8. Spanu L., Donadio D., Hohl D., Galli G. Theoretical investigation of methane under pressure. // Journal of Chemical Physics. – 2009. – Vol. 130. – Iss. 16. – P. 164520. DOI: http://dx.doi.org/10.1063/1.3120487.
9. Yagi T., Suzuki H. Melting curve of methane to 4.8GPa determined by the ruby pressure-temperature marker. // Proceedings of the Japan Academy. Ser. B: Physical and Biological Sciences. – 1990. – Vol. 66. – Iss. 9. – P. 167-172. DOI: http://dx.doi.org/10.2183/pjab.66.167.
10. J. C. Steyland, J. E. Crawford, and M. Mastoor, Can. J. Phys 38, 1546 (1960). Melting temperatures of krypton, xenon, and methane at pressures up to 3000 atm. // Canadian Journal of Physics. – 1960. – Vol. 38. – Iss. 11. – P. 1546-1547. DOI: http://dx.doi.org/10.1139/p60-155.
11. Cheng V. M., Daniels W. B., Crawford R. K. Melting parameters of methane and nitrogen from 0 to 10 kbar // Phys. Rev. B. – 1975. – Vol. 11. – No.10. – P. 3972-3975 DOI: http://dx.doi.org/10.1103/physrevb.11.3972.
выражение имеет вид:

СЕКЦІЯ 3:

ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В НАФТОГАЗОВОМУ КОМПЛЕКСІ

НТБ ОНАХТ

УДК 532.3:536.3 550.361

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Андерсон А.Ю., аспирант, Кологривов М.М., канд. техн. наук, доцент
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса.

В работе проведено численное моделирование теплового процесса в «подземном котле» геотермальной циркуляционной системе для подогрева нефти. Впервые учтено влияние диссипации энергии в скважинах на общий теплообмен в циркуляционной системе. Выполнено численное моделирование периода работы геотермальной системы с учетом и без учета теплообмена и диссипации энергии теплоносителя при его движении в нагнетательной скважине.

Ключевые слова: *диссипация, подземный котел, нагнетательная скважина, эксплуатационная скважина, циркуляционный теплоноситель, срок эксплуатации*

Освоение геотермальной энергии обусловлено ее огромным ресурсным потенциалом и возможностью получения экологически чистой энергии дешевле, чем при использовании топлива. Под геотермальной циркуляционной системой понимается совокупность инженерных сооружений, технических средств и технологических процессов нагрева, обработки и доставки потребителю горячего теплоносителя в условиях данного геотермального источника. Такая система включает естественный или искусственный природный коллектор, эксплуатационную (добычную) и нагнетательную скважины и наземный технологический комплекс [1,2]. Условием эффективного извлечения энергии горячих пород теплоносителем является наличие в «подземном котле» развитой теплообменной поверхности.

В основе надежных методов расчета технологических параметров таких систем лежат исследования процессов гидродинамики и теплообмена в условиях движения теплоносителя по скважинам и при его неизотермической фильтрации в коллекторах «подземного котла».

С другой стороны основным способом транспортировки высоковязких нефти и нефтепродуктов является их «горячая перекачка». Основная цель подогрева – понижение их вязкости с целью уменьшения гидравлического сопротивления и энергозатрат при перекачке по трубопроводу.

Геотермальный подогрев высоковязкой нефти, которая перекачивается по магистральному нефтепроводу, и подогрев нефтепродуктов на нефтебазах имеет особенности. Температура теплоносителя – циркуляционной воды на выходе из подземного котла находиться в диапазоне 60°С - 100°С. При движении теплоносителя по скважинам глубиной до трёх километров происходит существенное изменение температуры воды вследствие теплообмена с окружающим массивом. С увеличением времени эксплуатации на температуру воды заметное влияние оказывает возрастающая диссипация энергии потока на шероховатой поверхности трубы.

В работе авторов [3] показано, что наибольшее изменение температуры воды в скважинах происходит при общем периоде эксплуатации 12 лет. Доля тепловыделений от диссипации энергии в общем теплообмене изменяется во времени для нагнетательной скважины от 8% до 200%, а для эксплуатационной от 0,7% до 32%. Погрешность в оценке температуры потока на выходе из скважин без учета диссипации до 2°С.

Инженерные зависимости для нахождения температуры теплоносителя целесообразно получать на основе приближенных методов, которые позволяют решать задачу в определенном временном диапазоне.

Общей математической моделью нагрева теплоносителя является система классических уравнений течения вязкой жидкости и переноса тепла. При этом система уравнений является нелинейной. Такая модель сложная и не может быть решена известными аналитическими методами.

Модель в виде системы плоско-параллельных пластин и трещин одинаковой формы и протяженности является идеализацией искусственного и естественного трещинного коллектора. Для схемы геотермальной циркуляционной системы на базе трещин гидроразрыва она наиболее правомерна.

Фактические данные изучения и разработки месторождений нефти и газа с трещинными коллекторами, показывают, что длина отдельных трещин не большая. Разные трещины соединяются между собой микротрещинами, образуя систему с большими сопротивлениями движению жидкости.

Модели теплообмена в трещинном коллекторе основаны на представлении его в виде слоя, сложенного из блоков правильной формы (пластина, цилиндр, шар) одинакового размера и имеющих регулярную укладку.

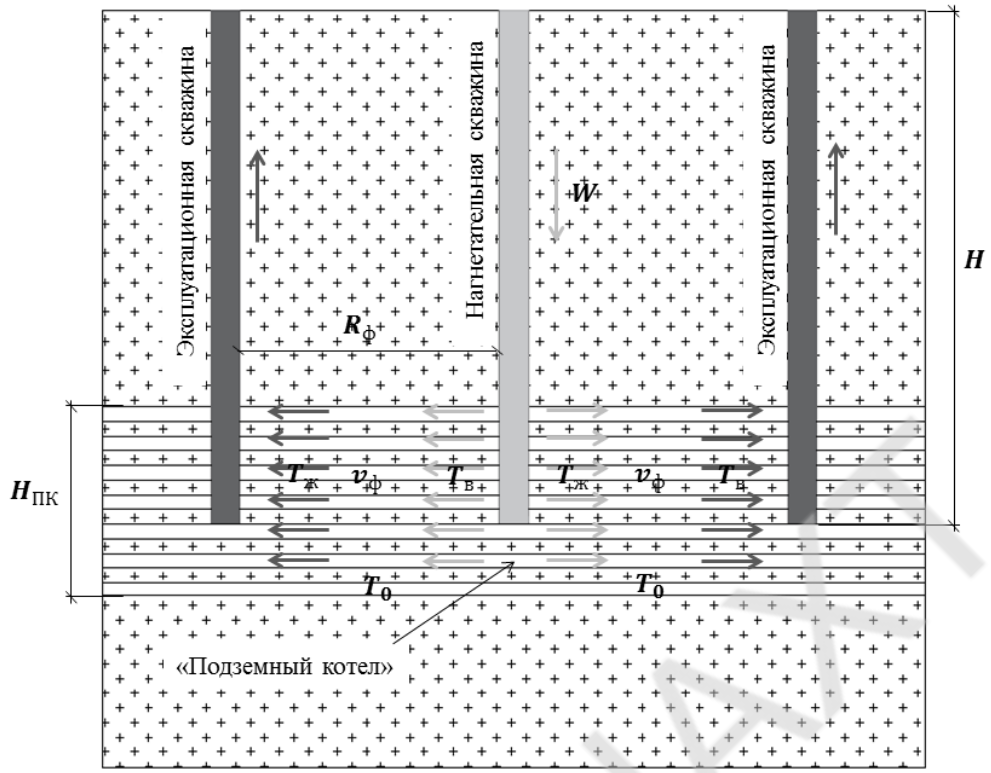


Рис. 1 – Физическая модель «подземного котла»

Решение задач при фильтрации теплоносителя в трещиноватых породах связано с необходимостью вычисления температурных полней не только в породных блоках, слагающих зону фильтрации, но и в окружающих её вмещающих породах. Математическая формулировка этих задач в предположении одномерности фильтрационного потока, независимости теплофизических свойств теплоносителя и пород от температуры, а также пренебрежении кондуктивной составляющей теплопроводности по сравнению с конвективным переносом в фильтрующей зоне и переносом тепла во вмещающих породах вдоль направления фильтрации, по сравнению с его радиальной составляющей представлена в виде [4]:

$$m \cdot C_T \cdot \rho_T \cdot \frac{\partial t_T}{\partial \tau} + \nu_ф \cdot C_T \cdot \rho_T \cdot \frac{\partial t_T}{\partial x} = -\frac{\lambda_{бл} \cdot K_1 \cdot (1-m)}{R_{бл}} \cdot \frac{\partial T_{бл}}{\partial r} - \frac{K_2 \cdot \lambda_n}{R_ф} \cdot \frac{\partial T_n}{\partial y} \quad (1)$$

Начальные условия - $t_T(x,0) = T_0;$ (2)

Граничные условия - $t_T(x,\tau) = t_0.$ (3)

Где m – активная пористость среды; $\nu_ф$ – скорость фильтрации; t_T , $T_{бл}$, $T_П$ – соответственно средняя температура теплоносителя по сечению зоны фильтрации, температура породных блоков и вмещающих пород; $R_{бл}$ – характерный размер породных блоков, слагающих зону фильтрации; $R_ф$ – характерный размер зоны фильтрации; $\lambda_{бл}$, $\lambda_П$ – соответственно коэффициенты теплопроводности породных блоков и вмещающих пород; T_0 и t_0 – соответственно начальная температура породных блоков и теплоносителя; K_1 и K_2 – соответственно коэффициенты формы породных блоков и зоны фильтрации, равные для цилиндров и шаров 2 и 3. Для породных блоков в виде пластин:

$$K_1 = 2 \cdot \frac{R_{бл}}{h} \quad (5)$$

где, h – раскрытие трещины.

Наибольшую трудность вызывает определение температурных градиентов. Для их вычисления необходимо задаться дополнительными допущениями и решать сложные трудоемкие задачи.

В работе [5] развивается предположение об использовании для описания процесса теплообмена между фильтрующимися теплоносителем и породными блоками, коэффициента межфазного теплообмена.

Количества тепла, воспринимаемое фильтрующимся теплоносителем от породных блоков, при этом предлагается находить по формуле:

$$q = \frac{K_1 \cdot \overline{\alpha}_\tau}{R} \cdot (T' - t_T) \tag{6}$$

где T' - средняя температура породных блоков, α_t – коэффициент межфазного теплообмена.

В результате анализа различных физических и математических моделей, приведенных в работах [4,5,6,7,8] было определено, что во всех предложенных моделях температура теплоносителя на входе в подземный котел остаётся неизменной в течение периода его эксплуатации. Для решения задачи с переменной температурой входа теплоносителя нами была выбрана наиболее простая модель, предложенная сотрудниками ИТТФ АН Украины [5].

Согласно работе [5] безразмерная температура θ подземного котла, может быть определена по формуле:

$$\theta = \frac{T_0 - T_ж}{T_0 - T_в} = \frac{1}{2} \cdot (1 - erf(\sqrt{r_1} - \sqrt{\tau_1})), \quad \text{при } \tau < \tau_0 \tag{7}$$

$$\theta = \frac{T_0 - T_ж}{T_0 - T_в} = \frac{1}{2} \cdot (1 + erf(\sqrt{\tau_1} - \sqrt{r_1})), \quad \text{при } \tau > \tau_0 \tag{8}$$

где τ – период эксплуатации циркуляционной системы, сек; $T_ж$ – температура теплоносителя на выходе из подземного котла, К; $T_в$ – температура теплоносителя на входе в подземный котел, К; T_0 – температура вмещающих подземный котел пород, К.

Расчетные параметры r_1, τ_1 и τ_0 определяются соответственно по формулам:

$$r_1 = \frac{\pi \cdot H_{пк} \cdot \alpha}{C_в \cdot W} R^2 \tag{9}$$

где $H_{пк}$ – мощность (высота) подземного котла, м; α – коэффициент межфазного теплообмена, Вт/м^2·К; $C_в$ – удельная теплоёмкость теплоносителя, кДж/м^3·К; W – объёмный расход теплоносителя, м^3/с; R – радиус подземного котла, м.

$$\tau_1 = \frac{\alpha}{C_п \cdot (1-p)} \cdot (\tau - \frac{\pi \cdot H_{пк} \cdot p}{W} R^2) \tag{10}$$

где $C_п$ – удельная теплоёмкость горных пород, Дж/м^3·К; p – трещинная пористость подземного котла, %.

Параметр τ_0 является положением прямоугольного температурного фронта с температурой $T_в$ для термически однородного пласта при условии, что тепло переносится только конвекцией [5].

$$\tau_0 = \frac{\pi \cdot H_{пк} \cdot \alpha}{W \cdot C_T} R^2 \tag{11}$$

В формуле (8) параметр C_T определяется по формуле:

$$C_T = C_в \cdot p + C_п(1-p) \tag{12}$$

В работах [4,5,6,7,8] предложены разные математические модели теплового расчёта «подземного котла». Но во всех известных моделях приняты допущения:

1. Температура на входе в подземный котёл $T_в$ принимается постоянной;
2. Температура на выходе из подземного котла $T_ж$ принимается равной температуре на выходе из эксплуатационной скважины.

В работе авторов [3] показано влияние срока эксплуатации геотермальной циркуляционной системы на температуры теплоносителя в нагнетательной и циркуляционной скважинах. Численное моделирование показало, что температура теплоносителя по ходу циркуляционных скважин существенно меняется за счёт теплообмена теплоносителя с окружающими скважину породами и за счёт диссипации энергии потока. С увеличением периода эксплуатации доля тепловыделений от диссипации растёт и через 10-12 лет сильнее влияет на изменение температуры теплоносителя, чем теплообмен в скважинах. Из вышесказанного следует, что температура теплоносителя на выходе из нагнетательной скважины и на входе в «подземный котёл» изменяется. Это должно быть учтено при тепловом расчете циркуляционной системы.

Для определения температуры теплоносителя на входе в «подземный котел» была использована методика, предложенная авторами в работе [3]. Численное моделирование с учетом изменения температуры теплоносителя на входе в «подземный котёл» показало, что в первые несколько лет эксплуатации нагрев

теплоносителя в «подземном котле» эффективен. Температура теплоносителя на выходе из «подземного котла» и на входе в эксплуатационную скважину практически не зависит от изменения температуры теплоносителя на входе в «подземный котел» и охлаждения вмещающей породы. В последующие 7-8 лет эксплуатации происходит практическое уменьшение температуры теплоносителя на выходе «из подземного котла» вследствие его остывания. При этом учёт изменения температуры теплоносителя на входе в «подземный котел» увеличивает срок эксплуатации циркуляционной системы на 2-3 года в сравнении с результатами расчётов по известным математическим моделям при постоянной температуре теплоносителя на входе (см. рис.2).

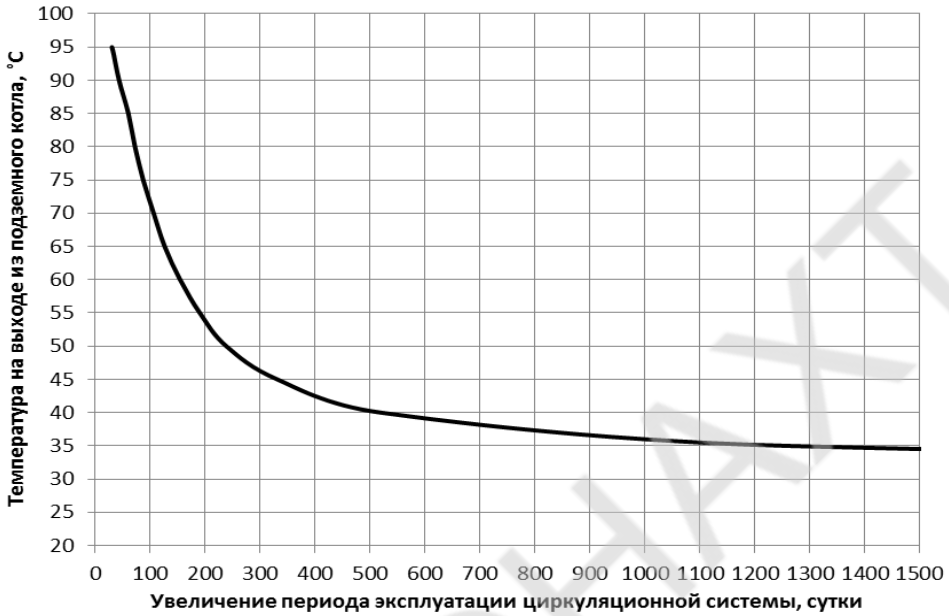


Рис.2 – Зависимость температуры теплоносителя на выходе из «подземного котла» от увеличения периода эксплуатации циркуляционной системы, рассчитанного согласно повышению температуры теплоносителя на входе в «подземный котел»

При моделировании расход теплоносителя (воды) принят 100 $м^3$/ч с температурой на входе в трёхкилометровую нагнетательную скважину 30^0С. Расстояние между нагнетательной и эксплуатационной скважинами принято 220 м.

Литература

1. Кологривов М.М. Геотермальная энергия для перекачки нефти //Трубопроводный транспорт – 2009. Материалы докладов V-ой учебно-научно-практической конференции под ред. А.М. Шаммазова. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2009. – С. 82-84.
2. Андерсон А.Ю., Кологривов М.М. Подогрев мазута в резервуаре геотермальной энергией. В кн: Промышленная теплотехника/ международный научно-прикладной журнал, 2015. - Т.37, - №7. - С. 201-207.
3. Андерсон А.Ю., Кологривов М.М., Притула В.В. Влияние диссипации энергии на температуру теплоносителя в скважинах геотермальной циркуляционной системы. В кн.: Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2016. - Т.1 (58). - С. 82-89.
4. Павлов И.А. Гидродинамика и теплообмен в породных трещинных коллекторах при извлечении геотермальной энергии: автореферат канд. техн. наук. Ленинградский горный институт, Ленинград, 1983. – 23 с.
5. Щербань А.Н. и др. Тепло Земли и его извлечение. — Киев: Наукова думка, 1974. — 264 с.
6. Дядькин Ю.Д., Парийский Ю.М. Извлечение и использование тепла Земли. – Л.: ЛГИ, 1977. – 114 с.
7. Дядькин Ю.Д., Парийский Ю.М., Романов В.А., Теплообмен в глубоких скважинах и зонах фильтрации при извлечении тепла сухих горных пород. – Л.: ЛГИ, 1974. – 40 с.
8. Смирнова Н.Н., Мухин В.А. Тепломассоотдача к стенкам канала при фильтрации в нем жидкости. – В кн.: Физические процессы горного производства. - Л.: ЛГИ, 1978. - вып. 5, - С. 83-87.

УДК 622.692

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О РАСЧЁТЕ ВРЕМЕНИ СЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АЗС

Бузовский В.П., Кологривов М.М., канд. техн. наук, доцент
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Представлена математическая модель расчёта времени слива топлива в подземные резервуары АЗС из автомобильных цистерн. Учтён переменный напор и работа дыхательных клапанов приёмного резервуара и автомобильной цистерны. Результаты численного решения данной задачи сопоставлены с результатами, полученными по инженерной методике Коршака А.А.

***Ключевые слова**: численное моделирование, заглубленный горизонтальный резервуар, автозаправочная станция, слив бензина, гидравлический расчет.*

From filling stations tank trucks into underground tanks mathematical model of fuel unloading time calculation is presented in this article. The variable head and the working of the storage tank and the tank truck breathing valves are taken into account. The results of the numerical solution of this task are compared with the results obtained by the Korshak A.A. method.

***Key words:** numerical modeling, underground tank, filling station, gasoline unloading, hydraulic calculation.*

Светлые нефтепродукты доставляются на АЗС автобензовозами, откуда сливаются самотёком в заглубленные резервуары (рис. 1). Особенности гидравлического расчета при сливе нефтепродуктов обусловлены конструкцией приёмного резервуара и автомобильной цистерны, и наличием дыхательных клапанов на них. Кроме того, слив будет происходить при переменном, постепенно уменьшающемся напоре, т.е., строго говоря, течение является неустановившимся [2].

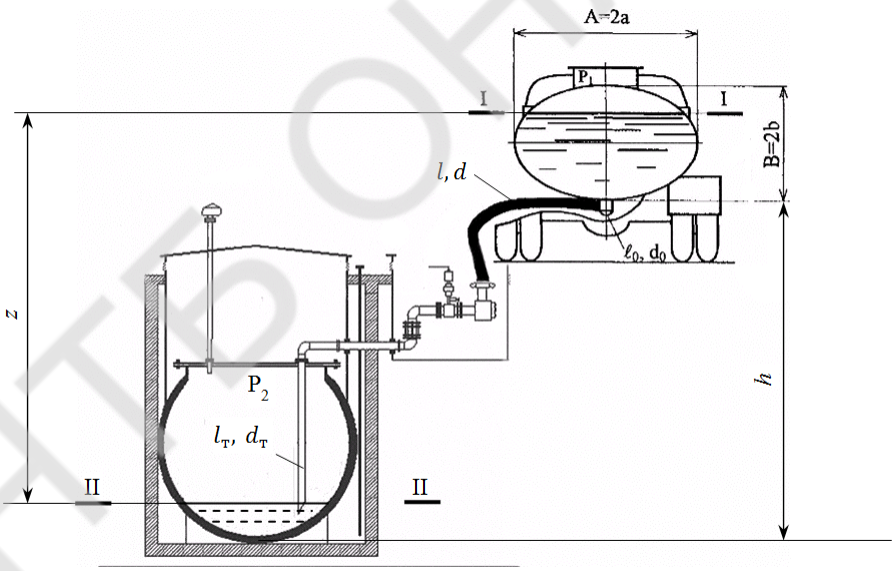


Рис. 1 – Схема слива нефтепродукта в подземный резервуар

Для инженерного расчета времени слива применяют методику Коршака А.А. [1]. Время слива определяется по средней скорости движения жидкости в приёмном трубопроводе l_m (рис. 1):

$$\tau_{сл} = \frac{V_{сл}}{f_m v_{ср}}, \qquad (1)$$

где $V_{сл}$ – сливаемый объём нефтепродукта; f_m – площадь сечения приёмного трубопровода; $v_{ср}$ – средняя скорость жидкости в приёмном трубопроводе.

$$v_{ср} = \frac{v_1 + v_2}{2}\ , \tag{2}$$

где скорости v_1, v_2 определяются для момента начала слива и его окончания соответственно.

Если строго рассматривать задачу о сливе нефтепродукта, то следует записать дифференциальное уравнение процесса выравнивания жидкости [3]:

$$dt = -\frac{F_ц F_р}{F_ц + F_р}\frac{dz}{Q_{нп}} \tag{3}$$

где $F_ц$, $F_р$ – площадь сечения зеркала жидкости в цистерне и в подземном резервуаре соответственно; $Q_{нп}$ – объёмный расход нефтепродукта; z – разность уровней жидкости.

Расход нефтепродукта $Q_{нп}$ зависит от разности уровней жидкости в резервуарах, коэффициента расхода и от давлений в газовых пространствах цистерны и резервуара:

$$Q_{нп} = \mu f_т \sqrt{2g\left(z + \frac{P_1 - P_{ат}}{\rho g} - \frac{P_2 - P_{ат}}{\rho g}\right)}, \tag{4}$$

μ – коэффициент расхода; P_1, P_2 – абсолютное давление в газовых пространствах цистерны и резервуара соответственно; ρ – плотность нефтепродукта; $P_{ат}$ – атмосферное давление.

До того как откроется дыхательный клапан автомобильной цистерны, давление P_1 изменяется по закону изотермического расширения. В момент открытия клапана и до конца операции, будем считать, что абсолютное давление P_1 меньше атмосферного на величину $P_{кв}$ настройки дыхательного клапана на вакуум:

$$\begin{cases} P_1 = \dfrac{P_{10}V_{10}}{V_1}\ ,\ если\ \dfrac{P_{10}V_{10}}{V_1} > P_{ат} - P_{кв} \\ P_1 = P_{ат} - P_{кв}\ ,\ если\ \dfrac{P_{10}V_{10}}{V_1} < P_{ат} - P_{кв} \end{cases} \tag{5}$$

где P_{10}, V_{10} – абсолютное давление и объём газового пространства цистерны соответственно к моменту начала операции; V_1 – текущий объём газового пространства.

По мере повышении уровня жидкости в подземном резервуаре абсолютное давление P_2 будет увеличиваться согласно закону изотермического сжатия. В момент, когда избыточное давление $P_2 - P_{ат}$ достигнет величины большей, чем величина настройки клапана на предельное избыточное давление $P_{кд}$, клапан откроется. Приближённо будем считать, после открытия клапана давление в резервуаре будет постоянным и равным $P_{ат} + P_{кд}$:

$$\begin{cases} P_2 = \dfrac{P_{20}V_{20}}{V_2},\ если \dfrac{P_{20}V_{20}}{V_2} < P_{ат} + P_{кд} \\ P_2 = P_{ат} + P_{кд}\ ,\ если \dfrac{P_{20}V_{20}}{V_2} > P_{ат} + P_{кв} \end{cases} \tag{6}$$

где P_{20}, V_{20} – абсолютное давление и объём газового пространства резервуара соответственно к моменту начала операции; V_2 – текущий объём газового пространства.

Величины $F_ц, F_р$ и V_1, V_2 должны быть выражены как функции от разности уровней жидкости z. В силу сложной геометрической формы рассматриваемых ёмкостей аналитическое выражение данных

величин представляет трудности. Поэтому данная задача решена нами численным путем.

Численное решение задачи о времени слива 10 м^3 бензина плотностью $\rho = 740\ кг/м^3$ в подземный резервуар АЗС выполнено для следующих условий:

тип резервуара ..... РГС 25;
модель автобензовоза АЦ-10-260;
начальный уровень бензина в резервуаре ..... 1 м;
разность между образующими цистерны и резервуара, h ..... 4 м;
диаметр сливного патрубка цистерны, d_0 ..... 0.075 м;
длина сливного патрубка цистерны, l_0 ..... 0.3 м;
длина рукава, l ..... 3 м;
диаметр рукава, d ..... 0.075 м;
длина приёмного трубопровода, l_m ..... 3 м;
диаметр приёмного трубопровода, d_m ..... 0.08 м;
коэффициент местного сопротивления
- на выходе из цистерны 0.5;
- колена 1.3;
- огневого преградителя 5;
- фильтра 1.7;
- муфты сливной 1;
- задвижки 0.05;
- на выходе из сливного трубопровода 1;

атмосферное давление, P_{am} ..... 101300 Па;
давление срабатывания дыхательного клапана резервуара, $P_{кд}$ ..... 1900 Па;
вакуум срабатывания дыхательного клапана цистерны, $P_{кв}$ ..... 250 Па;
температура газового пространства ..... 293 К;
вязкость бензина ..... 1 сСт;

Время слива $\tau_{сл}$ при данных условиях составило 18.3 мин (1096 с). Согласно расчетам, через время $t_1 = 0.4c$ (рис. 2) при достижении вакуума 250 Па откроется дыхательный клапан автомобильной цистерны. Предполагается, что далее давление P_1 не меняется.

Спустя время $t_2 = 29.3c$ от начала операции вследствие превышения избыточного давления в резервуаре над давлением срабатывания клапана, последний откроется и выпустит часть паровоздушной смеси. Предполагается далее давление P_2 также не меняется.

Рисунок 3 позволяет проследить как меняется объёмный расход нефтепродукта во времени. Так, максимальный расход составил 40 м^3/ч в начале операции, а минимальный – 26.3 м^3/ч в конце. На рисунке 3 следует выделить участок продолжительностью $t_2 = 29.3c$ от начала операции, на котором скорость уменьшения расхода выше, чем на остальном участке. Обусловлено это работой дыхательных клапанов, которые, находясь в закрытом состоянии в начале слива, задерживают движение бензина.

При аналогичных входных данных был выполнен расчет по инженерной методике Коршака А.А. [1], согласно которому время слива должно составить 17.7 мин (1061 с), что на 3.2 % меньше результата, полученного в ходе решения дифференциального уравнения (3).

НТБ ОНАХТ

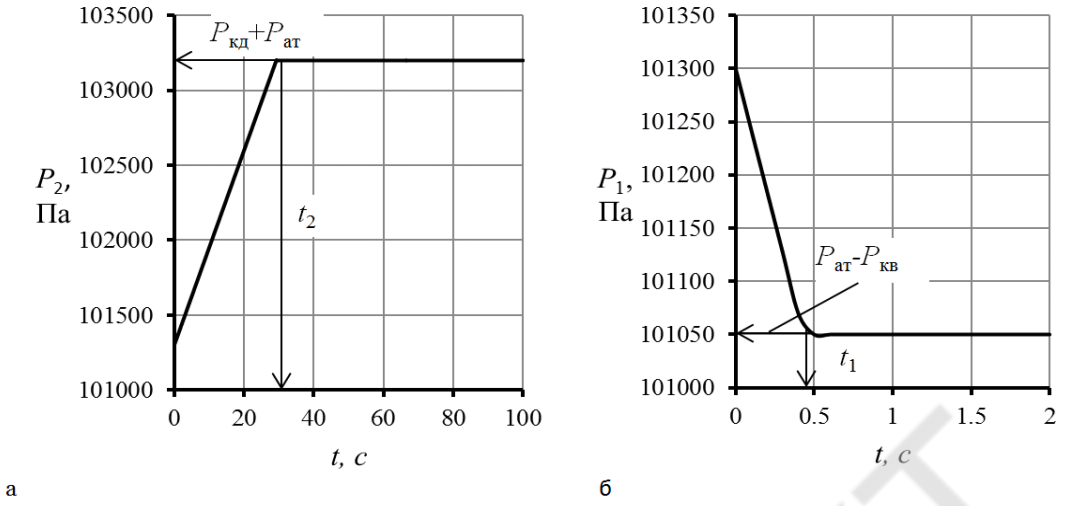


Рис. 2 – График изменения абсолютного давления в резервуаре (а) и в цистерне (б)

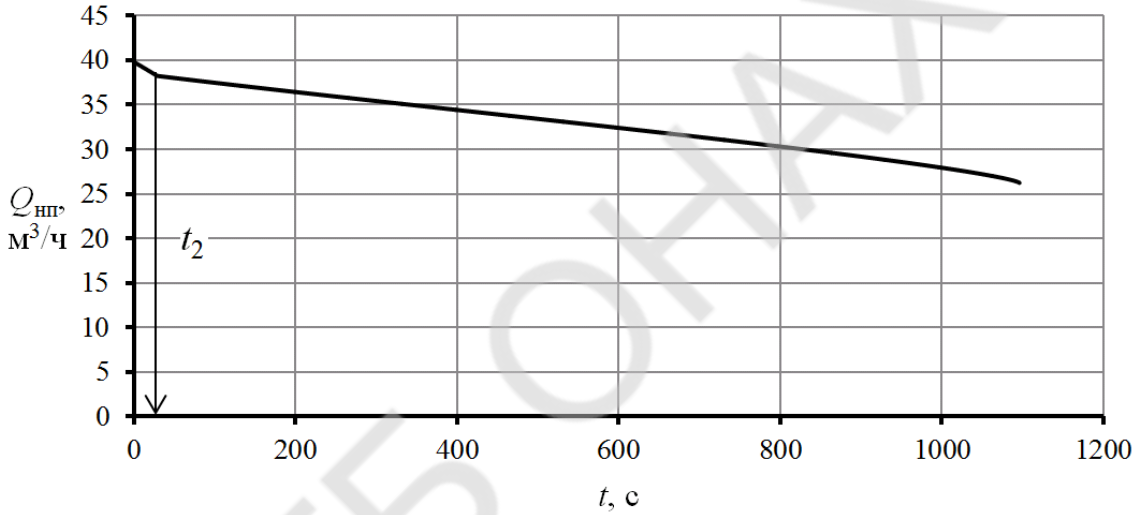


Рис. 3 – График изменения расхода сливаемого нефтепродукта во времени

Выводы

Представленная математическая модель решения задачи о расчете времени слива нефтепродуктов позволяет учесть переменный напор, переменную площадь сечения ёмкостей и изменение давлений в резервуарах вследствие изотермического расширения и сжатия. Сравнение результатов расчётов по точной математической модели и по приближенной инженерной методике, показало, что их различие для практики незначительное.

Методику численного решения времени слива нефтепродукта предполагается использовать при проектировании систем улавливания уходящих из резервуара паров нефтепродукта.

Литература

1. П.И. Тугунов, В.Ф. Новоселов, А.А. Коршак, А.М. Шаммазов Типовые расчёты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Учебное пособие для ВУЗов. – Уфа: ООО "ДизайнПолиграфСервис", 2002. – 658 с.
2. Башта Т. М., Руднев С. С., Некрасов Б. Б. и др. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы: [Учебник для машиностроит. специальностей вузов] / Под ред. Т. М. Башты. — М.: Машиностроение, 1970. — 504 с.
3. Сборник задач по машиностроительной гидравлике: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / Д.А. Бутаев, З.А. Калмыкова, Л.Г. Подвидз и др.; Под ред. И.И. Куколевского, Л.Г. Подвидза. – 5-е изд., стереотипное. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 448 с.

УДК 622.692.4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ТИСКУ В ЛІНІЙНІЙ ЧАСТИНІ МАГІСТРАЛЬНОГО НАФТОПРОВОДУ ПРИ ЗАПУСКАХ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ

Григорський С. Я., канд. техн. наук, асистент, Середюк М. Д., д-р техн. наук, професор
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ

Шляхом експериментальних досліджень, що проведені з використанням сучасних засобів вимірювання на діючому нафтопроводі, одержані закономірності зміни тиску за неусталених гідродинамічних процесів з урахуванням специфіки технології експлуатації та характеристик насосного обладнання. Виявлено характер зміни у часі тиску транспортованої нафти на вході і виході нафтоперекачувальної станції при запуску насосних агрегатів.

Побудовано експоненціальні залежності величини стрибкоподібного пониження та підвищення тиску нафти від відстані до місця виникнення збурення. Оцінено інтенсивність затухання хвилі пониженого та підвищеного тиску нафти в нафтопроводі.

Ключові слова: *неусталений гідродинамічний процес, хвиля тиску, швидкість поширення хвилі тиску, коефіцієнт затухання хвилі, стрибкоподібна зміна тиску.*

Using experimental research conducted with modern means of measuring on existing main oil-pipeline was derived patterns of pressure changes on unsteady hydrodynamic processes on the basis of specific technology operation and characteristics of domestic oil pumping equipment. Laws of pressure change over time of transported oil in inlet and outlet of the oil pumping station at start pumping units were detected.

Exponential dependence of the abrupt decrease and increase in oil pressure of the distance to occurrence of the wave was built. Intensity of decrease and increase pressure wave damping of oil in the pipeline was evaluated.

Keywords: *unsteady hydrodynamic process, pressure wave, the speed of propagation of the pressure wave, wave damping coefficient, abrupt change in pressure.*

Енергетичною складовою магістральних нафтопроводів є нафтоперекачувальні станції (НПС), які обладнані відцентровими насосними агрегатами. На кожній НПС зазвичай встановлено чотири магістральні насосні агрегати, які часто оснащені різними роторами. Одним із енергоефективних способів регулювання обсягів транспортування нафти нафтопроводом є використання різних комбінацій включених насосів на кожній НПС. Ось чому запуски і зупинки насосних агрегатів супроводжують процес експлуатації магістральних нафтопроводів. Кожна зупинка чи запуск насосного агрегату на НПС суттєво порушує усталений режим роботи нафтопроводу, спричинюючи виникнення нестаціонарних (перехідних) процесів, що характеризуються швидкоплинними змінами робочого тиску та витрати транспортованої рідини [1].

В роботах [2, 3] наведено системи диференціальних рівнянь, які дають змогу розрахувати перехідні процеси, спричинені раптовими змінами тиску в будь-якому перерізі нафтопроводу. Для розрахунку втрат енергії від тертя по довжині нафтопроводу використовується модифікована формула Колбрука, яка наведена в роботі [4]. Але при цьому не враховується вплив роботи насосних агрегатів на нафтоперекачувальних станціях на картину розподілу тиску і витрати нафти у нафтопроводі. .

У статті [5] авторами розглядається моделювання пускових режимів НПС трубопроводу при включенні на НПС одного та декількох послідовно працюючих насосних агрегатів. Тут визначається тривалість пускового режиму НПС та максимальне падіння тиску перед НПС. Однак авторами не розглядається, як та з якою амплітудою розповсюджується хвиля тиску, яка виникає внаслідок запуску насосів. Також відсутнє порівняння отриманих теоретичних результатів з фактичними даними на діючих магістральних нафтопроводах.

У роботі [6] пропонується наближений метод аналізу закономірностей перехідних процесів в трубопроводі, спричинених запусками насосних агрегатів. Недоліком є те, що наведений метод розрахунку дає завищені результати − понад 10 % з експериментальними даними. Для реалізації даного алгоритму необхідно знати закон зміни тиску у часі на вході та виході НПС при запуску насосних агрегатів, який в більшості випадків є невідомим.

Автором статті [7] розроблено виключно аналітичний метод розрахунку закону зміни тиску на вході та виході НПС при запусках насосних агрегатів із урахуванням режимних параметрів нафтопроводу, побудовано відповідні графічні залежності. Але в даній роботі не розглянуто закономірності зміни тиску нафти по трасі нафтопроводу, спричинені запусками насосних агрегатів. Окрім того, більшість теоретично

одержаних розрахункових залежностей не підтверджені достатньою кількістю дослідних даних, одержаних на діючих магістральних нафтопроводах.

У роботах [8–10] авторами всесторонньо досліджені закономірності гідродинамічних перехідних процесів у нафтопроводах, спричинених зупинками насосних агрегатів на НПС. Тут наведено результати промислових експериментів, виконаних на діючому магістральному нафтопроводі [8, 9], викладено результати теоретичних досліджень закономірностей стрибкоподібних змін тиску на вході і виході НПС, запропоновано аналітичні вирази для коефіцієнта затухання хвилі підвищеного тиску [10]. Однак в недостатній мірі досліджено закономірності розповсюдження хвиль пониженого тиску внаслідок зупинок насосних агрегатів.

У процесі експлуатації магістральних нафтопроводів кількість запусків насосних агрегатів не менша, ніж кількість їх зупинок. Кожен запуск насосного агрегату створює не менші проблеми, ніж його зупинка. Однак закономірності гідродинамічних процесів запусків насосних агрегатів на НПС магістральних нафтопроводів не розкрито в повній мірі. Ось чому прогнозування закономірностей гідродинамічних процесів, спричинених запусками насосних агрегатів, має важливе теоретичне і практичне значення для забезпечення надійної експлуатації магістральних нафтопроводів.

Для отримання закономірностей зміни тиску на НПС та у лінійній частині трубопроводу внаслідок запусків насосних агрегатів виконано широкомасштабні довготривалі промислові експерименти на одному із вітчизняних магістральних нафтопроводів. На трасі нафтопроводу номінальним діаметром 700 мм і довжиною 400 км працюють чотири НПС, оснащені нафтовими насосами серії НМ. Для контролю процесу перекачування нафти передбачено 14 контрольних пунктів, оснащених сучасними засобами контролю режимних параметрів. Для вимірювання тиску транспортованої рідини використано давачі надлишкового тиску типу Mikrotran F-R Fishers виробництва MMG Automatika (Угорщина) з класом точності 0,075-0,1. Вимірювання тиску нафти за швидкоплинних перехідних процесів у нафтопроводі проводилось з частотою 0,2 с. Розрахункову схему експлуатаційної ділянки нафтопроводу наведено в роботі [8]. Під час проведення промислових експериментів густина транспортованої нафти змінювалась у діапазоні від 864 до 878 кг/м^3. Коефіцієнт кінематичної в'язкості нафти варіював від 15 до 35 сСт.

При запуску насосного агрегату на НПС утворюються хвилі підвищеного та пониженого тиску, які розповсюджуються по лінійній частині нафтопроводу зі швидкістю звуку за та проти ходу руху нафти в трубопроводі відповідно [1, 6, 7]. У результаті експериментальних досліджень виявлена однакова тенденція зміни тиску нафти на лінійній частині нафтопроводу під час перехідного процесу, спричиненого запусками насосних агрегатів. У момент підходу хвилі підвищеного тиску до контрольного пункту спостерігалося стрибкоподібне підвищення тиску, тривалістю до 30 с, після цього тиск нафти повільно зростав протягом 1,5-2 хв, і далі тиск зростав із ще меншою інтенсивністю, та стабілізувався на величині, що відповідає новому усталеному режиму експлуатації нафтопроводу.

Результати промислових експериментів показали, що величини стрибкоподібного пониження і підвищення тиску транспортованої нафти на вході та виході НПС у разі запуску на ній насосного агрегату є приблизно рівними. Встановлено, що величина стрибкоподібного підвищення тиску у довільному перерізі нафтопроводу, розміщеному після НПС, де запустили насосний агрегат зменшується за експоненціальним законом

$$\Delta P = \Delta P_{вих} \cdot exp\left(-K_{пв} \cdot x\right), \tag{1}$$

де $\Delta P_{вих}$ - стрибкоподібне підвищення тиску на виході НПС, де відбулася зупинка одного або кількох послідовно працюючих насосів;

$K_{пв}$ - коефіцієнт затухання хвилі підвищеного тиску;

x - відстань по трасі нафтопроводу від місця виникнення збурення тиску до довільної точки траси, що розміщена до точки збурення.

Аналогічно величина стрибкоподібного зниження тиску у довільному перерізі нафтопроводу, розміщеному на відстані x до місця запуску насоса (за рухом нафти), набуває вигляду

$$\Delta P = \Delta P_{вх} \cdot exp\left(-K_{пн} \cdot x\right), \tag{2}$$

де $\Delta P_{вх}$ – фактичне значення стрибкоподібного пониження тиску на вході НПС, де відбувся запуск насосного агрегату;

$K_{пн}$ – коефіцієнт затухання хвилі пониженого тиску.

Для практики експлуатації магістрального нафтопроводу важливим є адекватне прогнозування величини стрибкоподібного як підвищення тиску, так і пониження тиску у довільній точці нафтопроводу у випадку запуску насосного агрегату на будь-якій НПС. Аналіз графічних залежностей та експоненціальних математичних моделей засвідчив, що за конкретного перехідного режиму експлуатації нафтопроводу значення коефіцієнтів затухання хвилі підвищеного і пониженого тиску практично співпадають ($K_{пв} \cong K_{пн}$).

За результатами експериментальних досліджень для конкретної нафтопровідної системи, на якій проводили промислові експерименти, розроблено регресійні моделі для коефіцієнта затухання хвилі тиску. Опрацювання результатів експериментальних досліджень закономірностей перехідних процесів, спричинених запусками насосних агрегатів, дали змогу підтвердити результат, одержаний раніше у роботі [9]. Для нафтопроводу, що був об'єктом досліджень, фактична швидкість поширення хвилі тиску становить порядку 1110 м/с, що на 12 % перевищує значення, розраховане за загальноприйнятою формулою. За відомої швидкості поширення хвилі $c = 1110$ м/с і внутрішнього діаметра трубопроводу $D = 0{,}702$ м коефіцієнт затухання хвилі тиску в нафтопроводі представляли степеневою функцією годинної витрати нафти до запуску $Q_{год}$ і числа Рейнольдса Re

$$K_з = a \cdot Q_{год}^{b} \cdot \mathrm{Re}^{c}, \tag{3}$$

де a, b, c – коефіцієнти регресійної моделі.

Коефіцієнти регресії визначались методом найменших квадратів за розробленою комп'ютерною програмою. З метою підвищення адекватності математичних моделей обчислювальний алгоритм передбачав перевірку кожної точки експериментальної вибірки на виконання умови Ст'юдента.

Математична модель коефіцієнта затухання хвиль підвищеного та пониженого тиску, спричинених запуском насосного агрегату на НПС, має вигляд

$$K_з = 2{,}505 \cdot 10^{-4} \cdot Q_{год}^{0{,}457} \cdot \mathrm{Re}^{0{,}072}. \tag{4}$$

Залежність (4) справедлива для діапазону зміни годинної витрати нафти в дослідному нафтопроводі від 1100 до 2400 м^3/год та чисел Рейнольдса від 18000 до 120000. На рисунку 1 показано як залежить коефіцієнт затухання хвилі підвищеного та пониженого тиску від режиму руху та кінематичної в'язкості нафти.

Результати розрахунку коефіцієнта затухання хвилі тиску в нафтопроводі за регресійною формулою добре корелюються з результатами опрацювання промислових експериментів. Максимальне відхилення результатів по абсолютній величині не перевищує 3 %. Ці залежності можна застосовувати для розрахунку стрибкоподібних змін тиску при перехідних процесах, спричинених запусками насосних агрегатів на НПС нафтопроводу, що досліджувався.

Висновки.

1.Промислові експерименти засвідчили, що перехідний процес як на вході, так і на виході НПС, при запуску насосного агрегату можна розбити на три етапи, що різняться інтенсивністю зміни тиску у часі: перший, тривалістю до 30 с відповідає стрибкоподібній зміні тиску; другий, тривалістю до трьох хвилин, відповідає більш повільній зміні тиску, і третій, тривалістю до 20–25 хвилин, ще повільніше змінює тиск до значення, що відповідає новому усталеному режиму роботи нафтопроводу. Характер зміни тиску на третьому етапі перехідного процесу при запуску насосного агрегату повністю відповідає зміні тиску (підвищенню чи зменшенню), яка забезпечує формування значення, характерного для нового усталеному режиму експлуатації нафтопроводу.

2. Виявлена однакова тенденція зміни тиску нафти як у лінійній частині нафтопроводу, так і на НПС під час перехідного процесу, спричиненого запуском насосного агрегату. Встановлено, що амплітуда стрибкоподібної зміни тиску зменшується за експоненціальним законом по довжині лінійної ділянки нафтопроводу в обидві сторони (за та проти ходу руху нафти) від НПС, де відбувся запуск насосного агрегату.

3. Для нафтопроводу, на якому проведені експерименти, за відомих значень діаметра і швидкості звуку, коефіцієнт затухання хвилі тиску можна представити степеневою функцією витрати нафти і характеристики режиму перекачування – числа Рейнольдса. За конкретного перехідного режиму експлуатації нафтопроводу значення коефіцієнта затухання хвилі підвищеного і пониженого тиску практично співпадають. Фактичні значення стрибкоподібного пониження тиску на вході і підвищення тиску на виході НПС у разі запуску насосного агрегату можуть дещо відрізнятись через неоднаковий гідравлічний опір вхідних і вихідних станційних комунікацій.

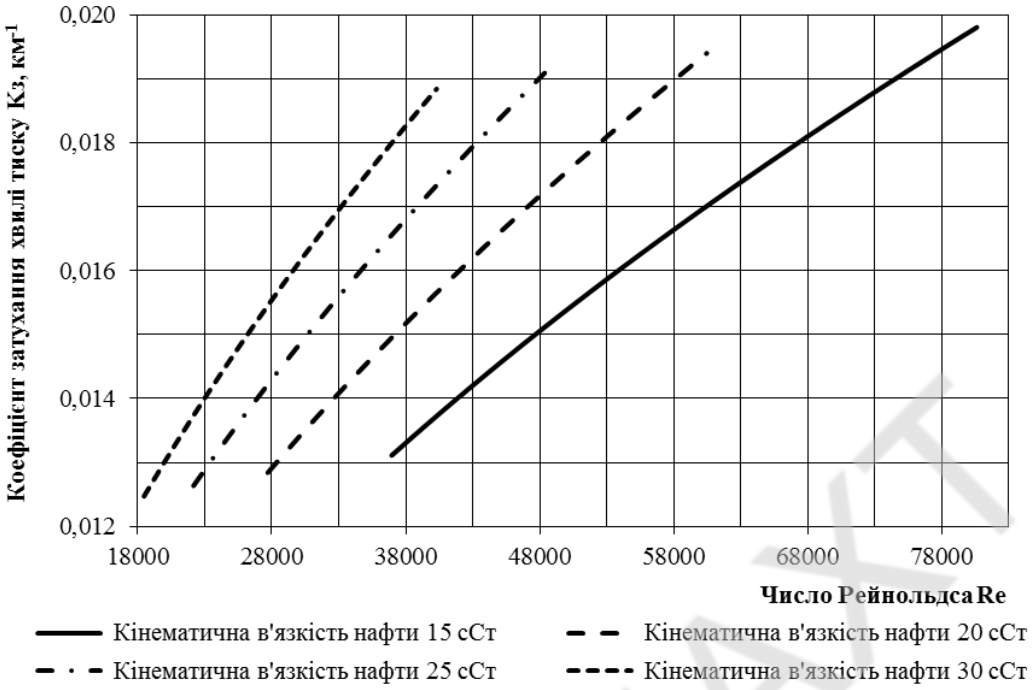


Рис. 1 – Динаміка зміни коефіцієнта затухання хвиль підвищеного та пониженого тиску, що утворюються внаслідок запуску насосного агрегату на НПС дослідного нафтопроводу від числа Рейнольдса та кінематичної в'язкості нафти

Література

1. Лурье, М. В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа / М. В. Лурье. – М.: Нефть и газ, 2003. – 335 с.
2. Donald W. A tutorial on pipe flow equations / W. Donald, J. Schroeder. – Pennsylvania, 2001. – P. 21–43.
3. Zagarola M. V. Mean flow scalling of turbulent pipe flow / Zagarola M. V. // Journal of Princeton University – 1996. – №51 – P. 17–34.
4. Haaland S. E. Simple and explicit formulas for the friction factor in turbulent pipe-flow / Haaland S. E. – Singapore: ASCE, 2008. – 62 p.
5. Дидковская А. С. Моделирование процесса пуска насосов промежуточной нефтеперекачивающей станции / А. С. Дидковская, М. В. Лурье // Территория нефтегаз. – 2015. – №3. – С. 118–122.
6. Вязунов Е. В. Расчет быстропротекающих переходных процессов, возникающих после включения и отключения насосных агрегатов / Е. В. Вязунов // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. – 1974. – №11. – С. 26–29.
7. Zhifeng L. Experimental and numerical study of transient flow in a centrifugal pump during startup / L. Zhifeng, W. Peng, W. Dazhuan, W. Leqin // Journal of mechanical science and technology. – 2011. – №3 – P. 749-757.
8. Середюк, М. Д. Експериментальні дослідження перехідних процесів у магістральних нафтопроводах, спричинених зупинками насосних агрегатів [Текст] / М. Д. Середюк, С. Я. Григорський // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2013. – №2. – С. 16–29.
9. Григорський С. Я. Результати експериментальних досліджень закономірностей гідродинамічних процесів у нафтопроводі за зміни кількості працюючих насосних агрегатів / С. Я. Григорський, М. Д. Середюк // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2014. - №1. – С. 161–172.
10. Середюк М. Д. Закономерности изменения давления в нефтепроводах при остановках насосных агрегатов / М. Д. Середюк, С. Я. Григорский // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 2 – С. 100–104.

УДК 622.691.4

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕРОЗІЙНОГО ЗНОШУВАННЯ ВІДВОДІВ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ

Дорошенко Я. В. канд. техн. наук, доцент, Марко Т. І. аспірант,
Дорошенко Ю. І. канд. техн. наук, доцент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ

Лагранжовим підходом (модель Discrete Phase Model) досліджено ерозійне зношування відводів лінійної частини магістрального газопроводу. Математична модель базується на розв'язанні системи рівнянь Нав'є-Стокса, нерозривності, руху дискретних фаз, рівняння Фінні, замкнених двопараметричною $k-\varepsilon$ *моделлю турбулентності Лаундера-Шарма з відповідними початковими та граничними умовами. Результати моделювання були візуалізовані в постпроцесорі ANSYS Fluent R17.0 Academic побудовою траєкторій руху крапель конденсату і твердих частинок відводом, полів концентрації дискретної фази та полів швидкості ерозійного зношування на контурах відводу. Дослідивши отримані результати виявлено місця інтенсивного ударяння рідких і твердих частинок до стінки трубопроводу, місця інтенсивного ерозійного зношування стінки труби. Визначено кути атаки, діаметри крапель конденсату та твердих частинок в місці ударяння.*

***Ключові слова**: дискретна фаза, модель Фінні, підхід Лагранжа, поля концентрації, траєкторія руху.*

Lagrang approach (Model Discrete Phase Model) studied erosion wear tap linear part of gas pipeline. A mathematical model based on solving the Navier-Stokes equations, continuity, discrete movement phases, equation Finney, closed two-parameter model of turbulence Laundera-Sharma with appropriate initial and boundary conditions. The simulation results were in postprocessor ANSYS Fluent R17.0 Academic building trajectories of drops of condensate and particulate challenge, discrete phase concentration fields and velocity fields erosive wear on the contours of way. Examining results found particle collision place heavy liquid and solid particles to the wall of the pipeline, place heavy erosive wear the pipe wall. Determined attack angles, diameters condensate drops and solid particles in collision place.

***Keywords**: discrete phase, model Finney, approach Lagrange, field concentration, trajectory.*

Лінійна частина магістрального газопроводу складається з прямих ділянок трубопроводу, кривих гарячого гнуття (відводів), трійників, перехідників, перекривної арматури. У відводах відбувається складний турбулентний рух газового потоку та зміна напряму його руху, що призводить до ударяння рідких та твердих частинок (дискретної фази), які містяться в потоці природного газу (суцільної фази), до стінки трубопроводу в результаті чого відбувається ерозійне зношування стінки труби. Ерозійне зношування є одним з чинників, який зменшує залишковий ресурс газопроводів. Якщо відводи не контролювати належним чином то ерозійне зношування може призвести до розривів газопроводу і втрат продукту. Особливо ерозійне зношування стінки труби є небезпечним для газопроводів термін експлуатації яких перевищує 35-40 років, яких є переважна більшість в складі газотранспортної системи України. Тому всебічне вивчення процесу ерозійного зношування стінки труби магістральних газопроводів є особливо актуальним.

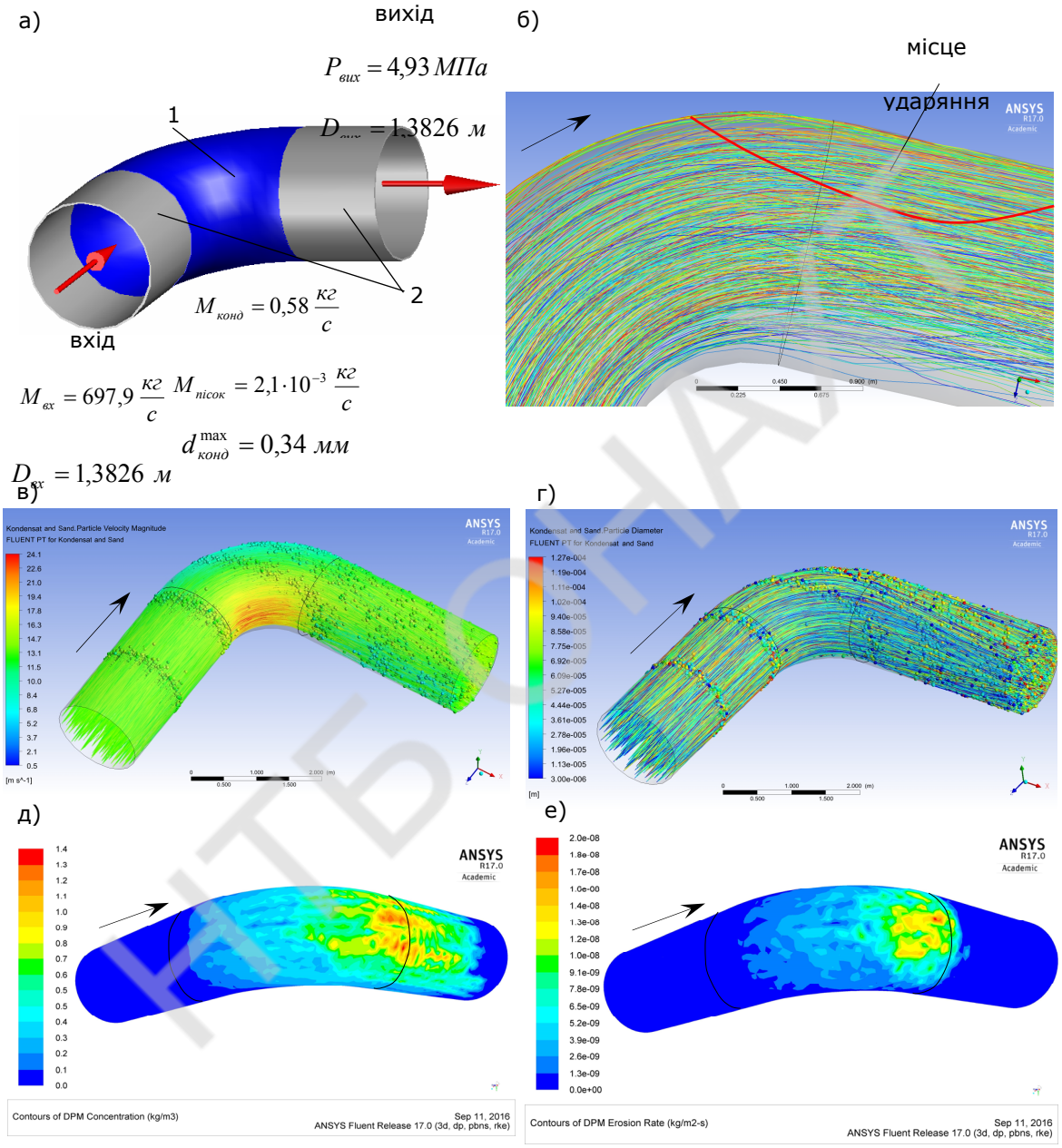
Для оцінки працездатності відводів та розрахунку їх залишкового ресурсу треба знати швидкість ерозійного зношування, місця ерозійного зношування фасонних елементів та геометричну форму дефектної їх внутрішньої поверхні.

Точно передбачувати ерозійне зношування дуже складно через широкий спектр параметрів, які впливають на його місцезнаходження та величину, зокрема, швидкість потоку та рідких і твердих частинок, концентрація, діаметр, густина частинок, кут атаки, режим течії, температура газу, геометрія фасонного елементу, матеріал стінки тощо.

Сьогодні вирішити такі задачі в найкоротші терміни можна сучасним програмним комплексом комп'ютерного моделювання ANSYS Fluent, який дає змогу моделювати ерозійне зношування фасонних елементів складної геометрії, в'являти місця ерозійного зношування фасонних елементів магістральних газопроводів та розраховувати величину ерозійного зношування.

Відомо, що транспортований магістральними газопроводами природний газ містить рідкі та тверді частинки (забруднення). До рідкої дискретної фази відносяться газовий конденсат, вода, мастило та інші вуглеводні. До твердої – винесена з свердловин родовищ порода, пісок, окалина, яка відшарувалась від внутрішньої стінки труб, продукти внутрішньо трубної корозії.

Причини наявності таких забруднень у внутрішній порожнині газопроводів різноманітні. Перш за все це неякісна очистка газу на промисли та компресорних станціях, конденсування рідини з газового потоку за сприятливих термодинамічних умов під час перекачування газу газопроводом, винесення мастила з підшипників нагнітачів газоперекачувальних агрегатів, неякісне очищення внутрішньої порожнини газопроводу перед здаванням у експлуатацію тощо. Хімічна реакція між металом труби і рідкими забрудненнями накопиченими у понижених місцях газопроводів призводять до внутрішньотрубної корозії і утворення твердих частинок.



1 – відвід 90° 1420×24 (ГазТУ 102-488/1 [1]); 2 – труба 1420×18,7;
а) – розрахункова схема;б) – траєкторії руху крапель конденсату і твердих частинок; в) – траєкторії руху крапель конденсату і твердих частинок забарвлені в кольори, що відповідають їх швидкості; г) – траєкторії руху крапель конденсату і твердих частинок забарвлені в кольори, що відповідають діаметру крапель і частинок; д) – поля концентрації дискретної фази на контурах; е) – поля швидкості ерозійного зношування на контурах
Рис. 1 – Результати моделювання ерозійного зношування відводу

Рухаючись відводами рідкі та тверді частинки ударяються до стінки трубопроводу, що призводить до ерозійного зношування газопроводу. Для своєчасного та якісного обстеження відводів треба знати місця їх максимального ерозійного зношування та прогнозувати величину ерозійного зношування.

Максимально повно дослідити ерозійне зношування відводів можна комп'ютерним моделюванням тривимірних турбулентних течій в програмному комплексі ANSYS Fluent R17.0 Academic. Закладені в цьому комплексі математичні моделі та числові алгоритми відповідають світовому рівню.

Для моделювання ерозійного зношування в ANSYS Fluent закладено Лагранжевий підхід (модель DPM (Discrete Phase Model – модель дискретної фази)). В основі Лагранжевого підходу лежить розгляд руху окремих частинок (або груп частинок) дискретної фази.

Комплексна процедура чисельного моделювання складається з трьох етапів:

- моделювання газового потоку (суцільної фази) в відводі газопроводу;
- моделювання руху рідких і твердих частинок в газовому потоці відводом;
- розрахунок ерозійного зношування відводу.

В програмному комплексі Ansys Fluent розрахунок ерозійного зношування виконується з використанням моделі Фінні, розробленої для жорстких пластичних матеріалів шляхом аналізу рівнянь руху однієї частинки під час її зіткнення з поверхнею.

Тривимірна модель відводу з прилеглими ділянками труб, конструкція та геометричні розміри яких ідентичні промисловим зразкам (рисунок 1, а) була накреслена в геометричному модулі Ansys Fluent – Design Modeler.

Зовнішній діаметр відводу $D_{з.відв} = 1420\ мм$, номінальна товщина стінки відводу $\delta_{н.відв} = 24\ мм$, внутрішній діаметр відводу $D_{В.відв} = 1372\ мм$. Геометрія відводу відповідає ГазТУ 102-488/1 [1].

Також у відводі відбувається нерівномірний перерозподіл дискретних фаз за діаметром (рисунок 1, г). Більша частина крапель конденсату і твердих частинок, які мають більші діаметри рухаються з опуклого боку відводу і частина з них ударяється в стінку відводу і привареної до відводу труби, що призводить до ерозійного зношування. Більша частинса дискретні фази меншого діаметра рухаються з вгнутого боку відводу.

Як видно з полів концентрації дискретної фази на контурах відводу (рисунок 1, д) інтенсивне ударяння рідких і твердих частинок до стінки відбувається з опуклого його боку. Місце ударяння простягається вздож відводу і прилеглої до нього труби починаючи від середини відводу і на довжину 1,5 м від кільцевого зварного шва в сторону руху продукту прилеглою до відводу трубою.

Для дослідження ерозійного зношування відводу в препроцесорі ANSYS Fluent задавались граничні умови наведені на рисунку 1, а.

Результати моделювання були візуалізовані в постпроцесорі програмного комплексу ANSYS Fluent побудовою траекторій руху дискретних фаз у відводі (рисунок 1, б, в, г), полів концентрації дискретної фази на контурах відводу (рисунок 1, д) та полів швидкості ерозійного зношування на контурах відводу (рисунок 1, е).

Як видно з рисунку 1, під час руху газового потоку з дискретними фазами відводом з поворотом на кут 90° він змінює свій напрям в результаті чого утворюється складна картина руху. Дослідивши траєкторії руху дискретних фаз у відводі встановлено, що у місці повороту відводу з опуклого боку більша частина крапель конденсату і твердих частинок (до 60 %) рухаються в потоці суцільної фази вздовж ліній течії траєкторіями паралельними стінці труби з незначним наближенням до стінки в місці повороту без ударяння до неї. Менша частина крапель конденсату і твердих частинок в місці повороту відводу рухається траєкторією радіус якої більший за радіус відводу в результаті чого відбувається ударяння крапель конденсату і твердих частинок до стінки відводу та привареної до нього з правого боку труби (рисунок 1, *б*). Найінтенсивніше ударяння відбувається в місці закінчення відводу з опуклого його боку і на початку привареної до відводу труби. При цьому чим далі від повороту відводу тим кут атаки є меншим. Так в кінці відводу він біля 40°, а вздовж привареної до відводу труби він поступово зменшується. Швидкість крапель конденсату і твердих частинок в місці ударяння, де закінчується відвід, складає біля $8,5\ м/с$, а на початку привареної до відводу труби досягає $14\ м/с$ (рисунок 1, в).

У відводі відбувається перебудова профілю швидкостей як суцільної так і дискретної фази в повздовжніх і в поперечних перерізах (рисунок 1, в). Вздовж вгнутого боку дискретні фази пришвидшуються до $22\ м/с$, а вздовж опуклого – уповільнюються до $7\ м/с$. Протилежна картина спостерігається на виході з відводу – вздовж вгнутого боку дискретна фаза уповільнюється до $6\ м/с$, а вздовж опуклого пришвидшується до $14\ м/с$ (рисунок 1, в). На початку повороту з вгнутого боку відводу відбувається відривання дискретної фази від стінки труби з збільшенням віддалі між траєкторіями руху дискретної фази і стінкою труби до $0,1\ м$. На виході з відводу відбувається незначне завихрення газового

потоку з наявними в ньому дискретними фазами з наближенням траєкторій руху дискретної фази до стінки труби.

З полів ерозійного зношування на контурах відводу (рисунок 1, е) видно, що інтенсивне ерозійне зношування відбувається з опуклого боку відводу в місці виходу з нього газового потоку між кутом 60° і 90° відводу та на початку привареної до відводу труби на довжину 0,1 м в напрямку руху продукту. Максимальна швидкість ерозійного зношування рівна $2,0 \cdot 10^{-8}$ *кг / м · с*^{2}. При такому ерозійному зношуванні стінка зтоншується з швидкістю $0,08$ *мм / рік*. На початку привареної до відводу труби швидкість ерозійного зношування різко зменшується, хоча інтенсивне ударяння рідких і твердих частинок до стінки відбувається ще на довжину 1,5 м від кільцевого шва. Це зумовлено зменшенням кута атаки в міру віддаляння місця ударяння від кільцевого зварного шва (рисунок 1, б).

Висновок

Комп'ютернм моделюванням виявлено, що максимальне ерозійне зношування відводів газопроводів відбувається з опуклого їх боку в місці виходу газового потоку між кутом 60° і 90° відводу та на початку привареної до відводу труби. Отримані траєкторії руху дискретних фаз відводом пояснюють як краплі конденсату і тверді частинки рухаються у відводі і чому його ерозійне зношування відбувається саме в виявленому місці.

Література

1. Технические условия: ГазТУ 102-488/1-05. Детали соединительные для магистральных газопроводов на Ру до 9,8 МПа (100 кгс/см2) [Текст] : нормативно-технический материал. – М. : ОАО "Трубодеталь", 2005. – 58 с.

УДК 622.692.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИКСОТРОПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОВ'ЯЗКОЇ ДОЛИНСЬКОЇ НАФТИ НА ЕКСПЛУАТАЦІЮ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Пилипів Л.Д., канд. техн. наук, доцент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м.Івано-Франківськ

Досліджено тиксотропні властивості високов'язкої долинської нафти на етапах руйнування парафінової структури нафти та її релаксації. Надані рекомендації по вибору безпечних та енергоощадних режимів роботи магістрального нафтопроводу Долина – Дрогобич.

Ключові слова: *високов'язка нафта, тиксотропні властивості, релаксація, напруження зсуву.*

The thixotropic properties high-viscosity Dolyna's oil have researched during the destruction of structures paraffin oil and its relaxation. The recommendations on the selection of safe and energy-saving modes of the main pipeline Dolyna – Drohobych have given.

Keywords: *high-viscosity oil, thixotropic properties, relaxation, stress shift.*

Експлуатація трубопроводів, що транспортують високов'язкі нафти, пов'язана зі значними труднощами, викликаними в першу чергу особливостями поведінки таких аномальних нафт. Часто реальна температура перекачування та температура навколишнього середовища є значно нижчою за температуру застигання високов'язких нафт, які ще тому і називають швидкозастигаючими. Процеси, що протікають в потоці нафти під час її перекачування магістральними трубопроводами, частково запобігають кристалізації парафінів. Однак, при зменшенні швидкості потоку або після повної зупинки транспортування відбувається інтенсивне структуроутворення в'язкої нафти з випаданням парафінів на внутрішніх стінках труб. Некерований процес застигання нафти в кінцевому підсумку може призвести до повного закупорювання перерізу труб утвореним пластичним продуктом. З метою недопущення так званого «заморожування трубопроводів» та контролю і прогнозування режимних параметрів необхідно вивчити механізм структуроутворення у високов'язких нафтах та оцінити можливі виробничі ризики.

Реологічні властивості більшості високов'язких парафінистих нафт залежать не тільки від температури та градієнта швидкості зсуву, а й від тривалості дії цих чинників [1]. Неньютонівські рідини, реологічні характеристики яких залежать від часу, відносяться до тиксотропних рідин. Тиксотропними називають рідини, консистенція яких залежить від тривалості зсуву і величини швидкості зсуву.

Тиксотропія – це зворотній процес, тому через деякий час структура рідини поступово відновлюється [1,2,3]. Якщо тиксотропний матеріал, що перебував у стані спокою, деформувати з постійною швидкістю зсуву, то його структура буде поступово руйнуватися, а реологічні параметри з часом знижуватися. Сучасні дослідження реологічних властивостей високов'язких швидкозастигаючих нафт методом магнітно-резонансної томографії ґрунтовно розглянуті в роботі [4], а методом математичного моделювання – в роботі [5]. Однак результати наведених досліджень стосуються умовних парафінистих нафт без чіткого прив'язування до реальних родовищ, а тому їх не можна повністю застосовувати до долинської нафти, реологічні властивості якої очевидно дещо відмінні від розглянутих в роботах [4,5].

Технологія експлуатації єдиного в Україні магістрального нафтопроводу для транспортування в'язких швидкозастигаючих нафт Долина – Дрогобич передбачає циклічне перекачування партій нафти з періодичною зупинкою нафтопроводу. Для запобігання «заморожування» трубопроводу внаслідок суттєвого зростання показників реологічних параметрів нафти в період зупинки перекачування високов'язка долинська нафта витісняється малов'язкою російською марки РЕС, яка в міжцикловий період знаходиться в трубі. У випадку тривалих зупинок така технологія виправдана, оскільки тиксотропні властивості долинської нафти можуть стати суттєвим ускладнюючим фактором в момент запуску перекачування. Однак, якщо розглядати нетривалі простої нафтопроводу, то доцільно на основі глибоких реологічних досліджень тиксотропних властивостей високов'язкої долинської нафти вивчити можливості зупинки перекачування без витіснення малов'язкою нафтою. При цьому надзвичайно важливим є знаходження оптимального часу спокою, під час якого реологічні властивості долинської нафти не перевищать критичних значень пускових режимів.

Дослідження тиксотропних властивостей долинської нафти

Для визначення ступеня прояву тиксотропних властивостей високов'язкої долинської нафти та встановлення залежності реологічних показників нафти від часу в лабораторних умовах було проведено низку реологічних досліджень швидкозастигаючої нафти Долинського родовища. Досліди проводились з використанням ротаційного віскозиметра Rheotest® 4.1 виробництва фірми Medingen Gmbh та циркуляційного термостата Julabo F25-ME фірми Julabo [6,7]. Інтерфейс програмного забезпечення під час виконання лабораторного завдання по дослідженню процесу руйнування кристалічної решітки високов'язкої долинської нафти наведено на рисунку 1.

Суть експериментів полягала в наступному. Проби нафти термостатувалися за температури 5 °С (типова температура нафти в трубопроводі в холодний період року) протягом 6 годин. Ця температура є суттєво нижчою температури застигання (19÷20 °С), тому і прояв тиксотропних властивостей повинен бути більш очевидним. Час термостатування раніше детально обґрунтований в роботі [7].

Далі необхідно було змоделювати процес «розкачування» нафти під час пускових режимів роботи НПС Долина. Така технологія полягає в забезпеченні зрушення партії нафти і її подальшу текучість за рахунок тривалої дії пускових тисків, значення яких не перевищують максимальних нормативних. Для цього в реотесті задавалися значення градієнта швидкості зсуву рівними 1 $с^{-1}$, 100 $с^{-1}$, 200 $с^{-1}$, 300 $с^{-1}$, протягом 120 с вимірювалася зміна напруження зсуву. Вказані дії моделювали процес руйнування структурної гратки парафінів в'язкої нафти. Процес відновлення структури нафти можна прослідкувати під час аналогічних дослідів, але уже при зменшенні градієнта швидкості зсуву від 300 $с^{-1}$ до 100 $с^{-1}$ з кроком 100 $с^{-1}$.

Аналіз отриманих результатів реологічних досліджень доцільно розбити на окремі зони по градієнтах швидкості зсуву. Так найкраще процес руйнування кристалічної решітки парафіну в початковому етапі пускових режимів може бути змодельований в зоні низьких градієнтів швидкості зсуву. На рисунку 2 наведені результати експериментальних досліджень впливу тривалості прикладеного навантаження на напруження зсуву при градієнті швидкості зсуву 1 $с^{-1}$.

Шляхом математичного моделювання лінії тренду дослідної кривої отримано аналітичну залежність напруження зсуву (Па) від тривалості прикладених зусиль

$$P = 26{,}349 \cdot \tau^{-0{,}158} . \quad (3)$$

Аналіз отриманих за допомогою моделі (3) результатів розрахунків дає змогу зробити висновок, що при градієнті швидкості зсуву 1 $с^{-1}$ і за температури 5 °С збільшення тривалості постійного навантаження до як завгодно великих значень (кілька десятків діб) зможе знизити напруження зсуву менше ніж до 3 Па.

Аналогічне моделювання було проведено для інших значень градієнта швидкості зсуву. Наприклад, при градієнті швидкості зсуву 100 $с^{-1}$ збільшення тривалості постійного навантаження до як завгодно великих значень не зможе знизити напруження зсуву менше ніж до 28 Па, при 200 $с^{-1}$ – не менше ніж 40 Па, 300 $с^{-1}$ – не менше ніж 48 Па.

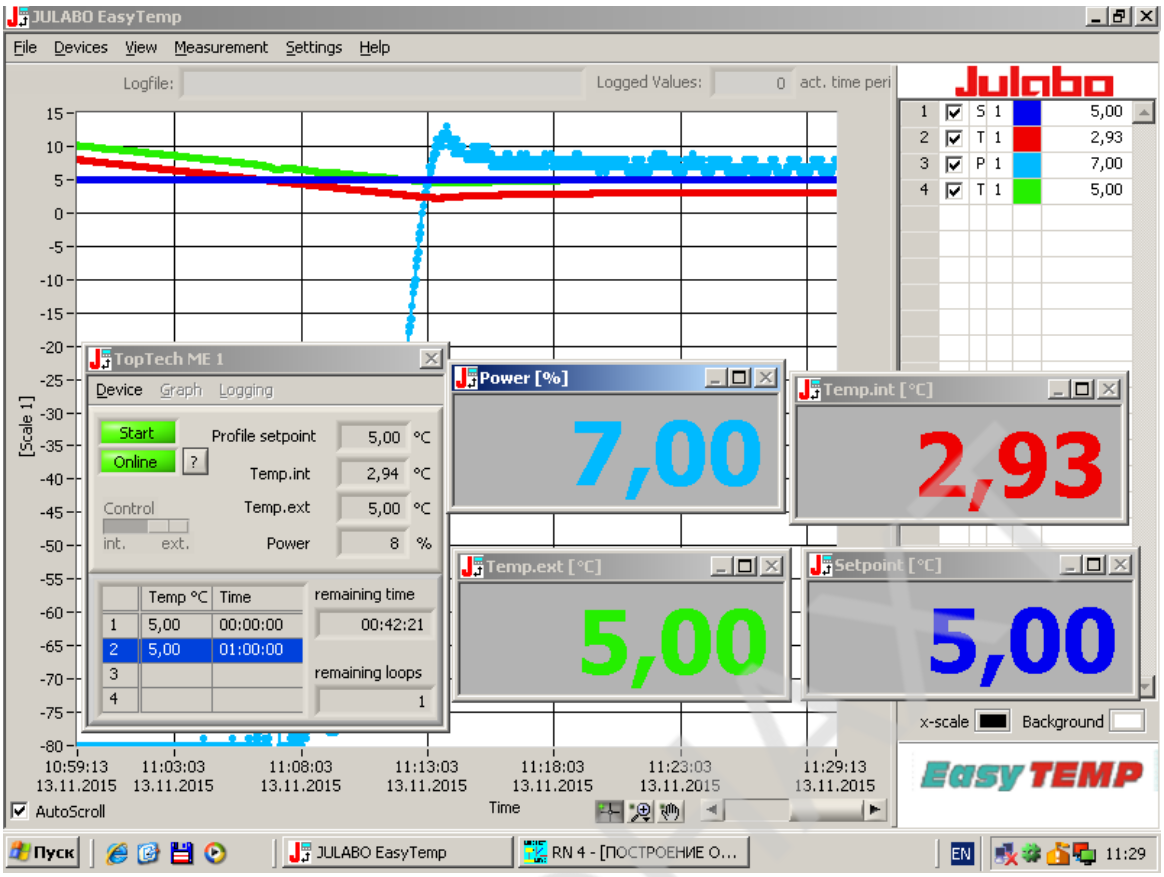


Рис. 1- Інтерфейс програмного комплексу Julabo F25-ME в процесі виконання лабораторного дослідження долинської нафти

Поведінка високов'язкої долинської нафти в момент руйнування структури повністю корелюється з сучасною теорією течії тиксотропних рідин [5]. Відзначається різке зниження напруження зсуву внаслідок прикладання зусиль за рахунок початкового інтенсивного руйнування кристалічного каркасу парафінів. Після руйнування кристалічної решітки парафіни витягуються в довгі але нестійкі молекулярні ланцюги, не чинячи при цьому значного опору руху нафти [8]. Міцність парафінової решітки є основним фактором стримування текучості високов'язкої нафти, а тому після її значного руйнування за рахунок зниження напруження міжшарового зсуву і, як наслідок, пластичної в'язкості суттєво покращується текучість нафти.

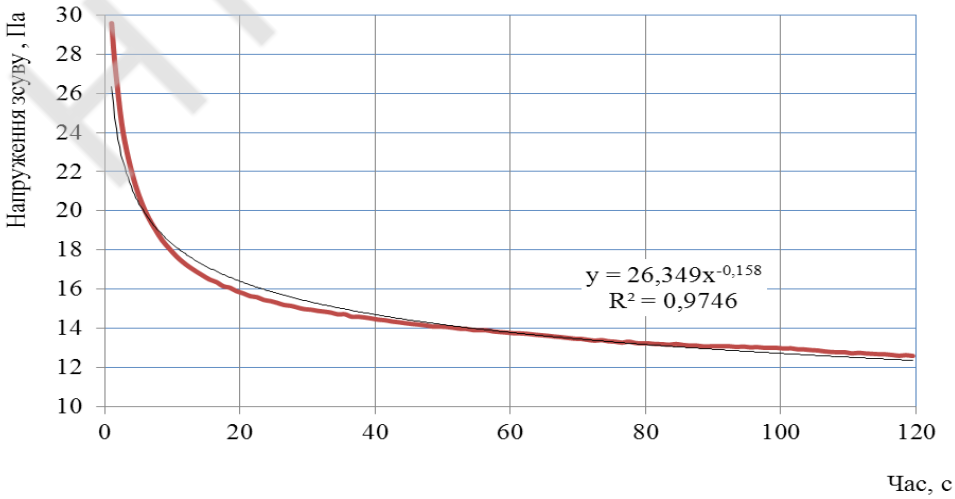


Рис. 2 – Залежність напруження зсуву долинської нафти від часу дії градієнту швидкості зсуву 1 $с^{-1}$

В свою чергу міцність кристалічної решітки парафінів залежить не тільки від зусиль, що прикладаються до нафти, та їх тривалості, а й від температурних умов та передісторії нафти. Стосовно передісторії слід відмітити суттєві відмінності реологічних властивостей термооброблених та нетермооброблених нафт [6]. Температура нафти має ще більший вплив на параметри структурно-механічних властивостей кристалічної решітки парафінів. При підвищенні температури кристали парафіну починають плавитися і диспергувати в середовищі рідкої нафти, повністю втрачаючи при цьому міцний каркас навіть без впливу зовнішніх зусиль.

Проте природний нафтовий парафін являє собою суміш декількох вуглеводнів [9], тому не має чіткої температури його плавлення. Температури плавлення індивідуальних компонентів парафіну тим вищі, чим більша їх молекулярна маса [9]. Найбільш низькоплавкий вуглеводень парафіну – гексадекан ($t_{пл}$ = 18,2 °С), а найбільш високоплавкий – пентаконтан ($t_{пл}$ = 93 °С). Середня температура плавлення парафіну становить $t_{пл}$ = 52-55 °С, хоча частковий його вплив на в'язкість нафти зберігається навіть до температури 93 °С.

Процес релаксації, або відновлення парафінової структури високов'язкої нафти змодельований на етапі зменшення градієнта швидкості зсуву від 300 до

100 $с^{-1}$. В цьому випадку відбувається поступове зрощування кристалів парафіну в міцну просторову ґратку і, як наслідок, погіршення реологічних параметрів нафти навіть без зниження температури. За рахунок інтенсивного структуроутворення напруження зсуву спочатку різко зростає (рисунок 2), а потім поступово з плином часу вирівнюється.

Наприклад, при градієнті швидкості зсуву 200 $с^{-1}$ залежність напруження зсуву від тривалості дії навантаження в період релаксації буде мати вигляд, представлений на рисунку 3.

Шляхом моделювання лінії тренду дослідної кривої отримано аналітичну модель залежності напруження зсуву (Па) долинської нафти від часу дії навантаження при градієнті швидкості зсуву 200 $с^{-1}$ за температури 5 °С в період релаксації

$$P = 0{,}7543 \cdot \ln(\tau) + 36{,}888\ , \qquad (4)$$

де τ – тривалість релаксації, с.

Використовуючи отриману модель встановлено, що при збільшенні тривалості відновлення структурно-механічних властивостей високов'язкої долинської нафти до як завгодно великого значення (кількох десятків діб) напруження зсуву наближається до 46 Па, причому основне структуроутворення проходить до 60-тої секунди. Аналогічне моделювання проведене для градієнта швидкості зсуву 200 $с^{-1}$, де напруження зсуву при тривалій релаксації досягає 30 Па.

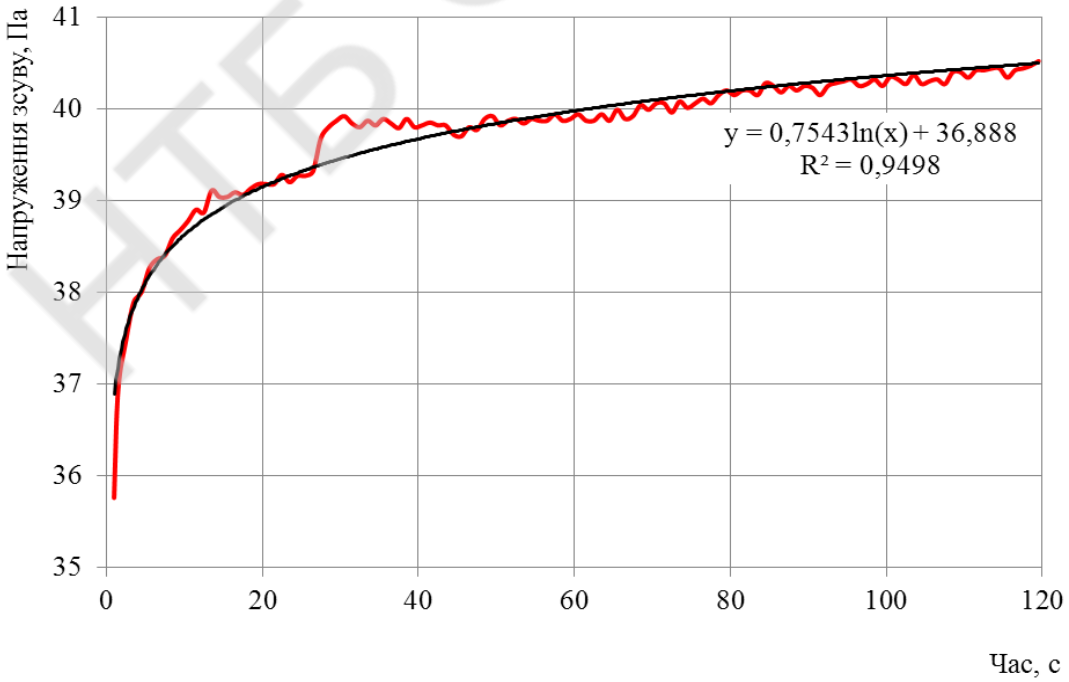


Рис. 3 – Залежність напруження зсуву долинської нафти від часу дії градієнту швидкості зсуву 200 $с^{-1}$ в період релаксації за температури 5 °С

Висновки

Шляхом проведення ґрунтовних досліджень реологічних властивостей високов'язкої долинської нафти встановлена її приналежність до класичних тиксотропних рідин. Результати проведених розрахунків за отриманими аналітичними залежностями в діапазоні робочих температур магістрального нафтопроводу Долина – Дрогобич показали таке: на етапі руйнування структури (пускові умови нафтоперекачувальної станції) в зоні низьких градієнтів швидкості зсуву (1 $с^{-1}$) після 10 годин впливу навантаження напруження зсуву знижується з 30 до 5 Па; хоча напруження зсуву залишається ще значним, це свідчить про суттєве руйнування кристалічної гратки парафіну; в зоні високих градієнтів швидкості зсуву (100 $с^{-1}$, 200 $с^{-1}$ і 300 $с^{-1}$) руйнування структури навіть протягом значного часу (до кількох десятків діб) не знижує напруження зсуву менш ніж до 28, 40 і 48 Па відповідно; це вказує на неможливість застосування технології простого способу «розкачування» нафтопроводу для транспортування високов'язкої нафти без її попереднього підігріву за вказаних температурних умов; релаксація високов'язкої долинської за температури 5 °С проходить надзвичайно інтенсивно; при градієнті швидкості зсуву 200 $с^{-1}$ 80% структури кристалічної решітки парафіну відновлюється вже після 120 с процесу релаксації; забезпечення безаварійних та енергоощадних режимів експлуатації магістрального нафтопроводу Долина – Дрогобич за температури 5 °С вимагає застосування технології попередньої підготовки до транспортування (термообробка, попередній підігрів, застосування депресаторів або розріджувачів); за температури 5 °С високов'язку долинську нафту під час зупинки не можна залишати в обв'язці НПС на тривалий час, а потрібно витісняти малов'язкою російською; тільки в зоні низьких градієнтів швидкості зсуву за температури 5 °С методом поступового «розкачування» трубопроводу протягом 10 год можна досягнути значення напруження зсуву, яке дозволить надати високов'язкій нафті текучості, хоча і без суттєвого збільшення продуктивності перекачування.

Отримані результати вказали на шляхи подальших досліджень тиксотропних властивостей високов'язкої долинської нафти, а саме: дослідити поведінку долинської нафти в широкому діапазоні температур (від 0 °С до 60 °С); дослідити процес релаксації парафінистої нафти в зоні низьких градієнтів швидкості зсуву; встановити максимальний час зупинки перекачування нафтопроводом Долина – Дрогобич без витіснення долинської нафти малов'язкою російською в діапазоні температур від 10 °С до 60 °С; визначити тривалість прикладання допустимого навантаження під час пускових режимів роботи НПС Долина в процесі «розкачування» долинської нафти в діапазоні робочих температур.

Література

1. Трубопровідний транспорт високов’язких вуглеводнів: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Середюк, Л.Д. Пилипів. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. - 347 с.
2. Уилкинсон У. Неньютоновские жидкости / У. Уилкинсон. – М: Мир, 1964. –216 с.
3. Овчинников П.Ф. Реология тиксотропных систем / П.Ф. Овчинников, Н.Н. Круглицкий, Н.В. Михайлов // – Киев: Наукова думка, 1972. – 120 с.
4. Mendes и др. (2014)
5. Modeling the rheological behavior of waxy crude oils as a function of flow and temperature history / Mendes R., Vinay G., Ovarlez G., Coussot Ph. // Journal of the Society of Rheology, Japan, Society of Rheology. – 2015. – №59 (3). – pp.703-732.
6. Пилипів Л.Д. Дослідження впливу термообробки високов'язкої долинської нафти на її реологічні та транспортабельні властивості / Л.Д. Пилипів // Нафтогазова галузь України. – 2015. – №1 (13). – С. 18-20.
7. Пилипів Л.Д. Експериментальне встановлення оптимального часу термостатування проб під час реологічних досліджень високов'язких нафт / Л.Д. Пилипів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ. – 2014. – №4 (53). – С. 96-108
8. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика: избр. тр. / П.А. Ребиндер. – М.: Наука. – 1979. – 384 с.
9. Пилипів Л.Д. Особливості будови твердих вуглеводнів та їх вплив на рух нафти трубопроводами / Л.Д. Пилипів // Нафтогазова енергетика. – 2013. - № 1 (19). –С.60-67.

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТИПОВОГО НАФТОПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА ДОВКІЛЛЯ

Пузік О.Г., Черняк Л.М.,
Національний авіаційний університет, м. Київ

Нафтопереробна промисловість належить до тих галузей господарства, які найбільшою мірою відповідальні за здоров'я населення, що проживає навколо них. У зв'язку з цим важливими є аналіз впливу підприємств нафтопереробного комплексу на довкілля.

Перероблення нафти та газового конденсату в Україні можна здійснювати на шести НПЗ: Лисичанському, Кременчуцькому, Одеському, Херсонському, Дрогобицькому, Надвірнянському. НПЗ України мають різні технологічні установки та технологічні процеси, а саме: первинне перероблення, каталітичний риформінг, каталітичний крекінг, гідроочищення реактивних та дизельних палив, селективне очищення, депарафінізація, гідроочищення дистилятів, гідроочищення парафіну, гідроізомеризація дизельних палив, виробництво МТБЕ, виробництво бітуму. Технологічні процеси на нафтопереробному заводі призводять до викидів забруднюючих речовин, аварійних ситуацій, що викликають пожежі та вибухи.

Основними шкідливими речовинами, що викидаються в атмосферу на нафтопереробних підприємствах, є сірководень, діоксид сірки, оксид і діоксид азоту, вуглеводні, сірчистий газ, окис вуглецю, аміак, фенол, і т.д. Сірководень надходить в атмосферу за рахунок його виділення (випаровування) з сірчистої-лужних стічних вод і технологічних конденсатів, через нещільність технологічного обладнання (насоси, компресори, арматура), з установок первинної переробки нафти і гідроочищення, термокрекінгу, моноетанолового очищення і резервуарів спільно з парами нафтопродуктів. Значними джерелами викидів сірководню є бароконденсатори змішання, а також установки з виробництва сірки. Основними джерелами викидів оксидів азоту є:технологічніпечі (72,6%), газомоторні компресори (14%), факельні стояки (5,4%). Монооксид вуглецю є найбільш небезпечним. Оксид вуглецю (II) небезпечний тим, що сполучається з гемоглобіном крові, в результаті чого утворюється карбоксигемоглобін. Підвищення рівня карбоксигемоглобіну в крові може викликати порушення функцій центральної нервової системи: слабшають зір, реакція, орієнтація в часі і просторі. Основними джерелами забруднення атмосферного повітря оксидом вуглецю (II) є трубчасті печі технологічних установок, викиди яких складають 50% від обсягу загальних викидів; реактори установок каталітичного крекінгу (12%); вихлопи газових компресорів (11%); бітумні установки (9%) і факели (18%). Характерними аварійними ситуаціями, що викликають пожежі, вибухи, аварійну загазованість є:використання несправного обладнання, порушення технологічного режиму, пуск несправної технологічної лінії (апарата), порушення правил проведення ремонтних робіт, невиконання правил зупинки обладнання. Основними потенційними джерелами запалювання, що призводять до утворення аварійних ситуацій з пожежами та вибухами на зовнішніх технологічних установках є: технологічні викиди, пари нафтопродуктів, які виходять з обладнання, підготовленого до ремонту, нагріті до високої температури конструкції обладнання та апаратів, взаємодія з повітрям нафтопродуктів, нагрітих вище за температуру самозаймання, відкритий вогонь форсунок технологічних печей, електричні іскри при несправності обладнання, відкритий вогонь, розлив нафтопродукту під час підготовки насоса або апарата до ремонту тощо. Отже, можемо зробити висновок, що процеси переробки нафти являють собою небезпеку для довкілля, так як забруднюються атмосфера, гідросфера, літосфера. Щоб знизити і запобігти техногенне навантаження на навколишнє середовище, на підприємствах нафтопереробної галузі необхідно впроваджувати екологічні методи управління, вести господарську діяльність у межах ємності екосистем на основі масового впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій.

УДК 622.692.4

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГУСТИНИ ТЕХНІЧНОГО АМІАКУ ЗА УМОВ МАГІСТРАЛЬНОГО АМІАКОПРОВОДУ ТОЛЬЯТТІ-ОДЕСА

Сусак О. М., канд. техн. наук, доцент, Григорський С. Я., канд. техн. наук, асистент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ

За результатами досліджень отримано математичну модель густини технічного аміаку за умов магістрального аміакопроводу Тольятті-Одеса як функцію абсолютного тиску, температури та об'ємної частки води. Сумарна відносна похибка розробленої моделі не перевищує 0,1 % в порівнянні з експериментальними даними.
***Ключові слова**: аміак, математична модель, віріальний коефіцієнт, термодинамічна поверхня.*

By results of researches obtained the mathematical model of technical ammonia density in conditions of the main ammonia-pipeline Toliatti-Odessa as a function of absolute pressure, temperature and volume fraction of water. The total relative error of the model doesn't exceed 0,1 % compared with experimental data.
***Keywords:** ammonia, mathematical model, virial coefficient, thermodynamic surface.*

Виробництво та транспортування аміаку як цінної хімічної сировини залишається однією з небагатьох сфер економіки країни, які практично не зазнали суттєвого падіння виробничих обсягів. Основними виробниками аміаку в Україні є підприємства хімічного холдингу OSTCHEM, зокрема, "Рівнеазот", Сєвєродонецьке об'єднання "Азот", Черкаський "Азот" та Концерн "Стірол", а також Одеський припортовий завод та "ДніпроАзот". Більше того, в останні роки гостро почало ставати питання збільшення об'ємів транспортування рідкого аміаку, зокрема по магістральному аміакопроводу Тольятті-Одеса. Така тенденція обумовлена кількома факторами. Перш за все, аміак як основна сировина для виготовлення азотних добрив стає більш витребуваним в умовах зростання значимості агропромислового виробництва в світовій та вітчизняній макроекономіках. По-друге, обмежені логістичні можливості унікального за своїм функціональним призначенням магістрального аміакопроводу Тольятті-Одеса, в умовах зростаючих потреб у технічному аміаку в першу чергу експортних споживачів, створюють певні труднощі у можливому оперативному збільшенні обсягів перекачування.

Аміак (NH_3) – токсична горюча газоподібна речовина, що володіє властивістю утворювати при контакті з повітрям вибухонебезпечну суміш. При нормальному тиску і кімнатній температурі існує у вигляді газу. Для використання у виробництві і при транспортуванні аміак зріджують. Суміш чистого аміаку та незначної кількості води (до 0,5 % в об'ємному співвідношенні) називають технічним аміаком. Він використовується як основна сировина при виробництві великої кількості речовин, що містять азот, використовуваних в різних галузях: мінеральних добрив, азотної та синильної кислот, загалом в органічному синтезі та у виробництві соди.

Основними фізичними властивостями технічного аміаку, які безпосередньо впливають на гідравлічний та тепловий режим роботи аміакопроводу є: густина, кінематична в'язкість, пружність насичених парів, питома масова ізобарна теплоємність, коефіцієнт Джоуля-Томсона. Густина аміаку є важливим технологічним параметром, числове значення якого необхідне при складанні матеріального балансу аміаку в трубопроводі, визначенні пропускної здатності системи та питомих витрат електроенергії на перекачування. Для забезпечення нормальної роботи трубопроводу напір аміаку має знаходитись в діапазоні від мінімально допустимого – для запобігання явища кавітації на вході в аміакоперекачувальну станцію та утворення парової фази в порожнині трубопроводу, до максимально допустимого – для забезпечення міцності лінійної частини трубопроводу. В обох випадках величина напору залежить від густини аміаку.

На даний час розрахунок густини технічного аміаку проводиться за методикою [1], яка має найвищу точність – до 0,1 % в порівнянні з експериментальними даними [2]. Дана методика базується на визначенні густини чистого аміаку за формулою Haar&Gallagher [3] та густини води за рівнянням стану IAPWS-IF97 [4] із урахуванням величини поправки на зміну густини суміші залежно від об'ємної частки води в суміші. Формула Haar&Gallagher являє собою рівняння стану з другим та третім віріальними коефіцієнтами, які є частинними похідними від функції термодинамічної поверхні та є поліноміальної функцією відносно густини другого порядку та оберненої температури – четвертого порядку [3]. При цьому, густина рідкого аміаку визначається методом послідовних наближень за відомих значень абсолютного тиску та температури. Густина води відповідно до [4] знаходиться за допомогою рівняння вільної енергії Гіббса, яке

є ортонормованою поліноміальною функцією від зведеного тиску та оберненої температури. Перевагою методики [1] є її висока точність та можливість застосування у широкому діапазоні зміни абсолютного тиску (від 0,1 до 40 МПа) та температури (від 230 до 600 К) [2]. Основним недоліком – значна складність, зумовлена розробкою ітераційного алгоритму та неможливість використання для практичних розрахунків.

Для умов магістрального аміакопроводу Тольятті-Одеса абсолютний тиск технічного аміаку змінюється в межах від 12 до 90 бар, температура – від 0 до 30 ^{o}C, а об'ємна частка води в суміші не перевищує 0,5 %. Тому актуальною є задача побудови спрощеної математичної моделі для розрахунку густини суміші аміаку та води, яка б забезпечувала необхідну точність в порівнянні з методикою [1] та могла використовувалась для практичних розрахунків. Для отримання спрощеної залежності проведено розрахунок густини технічного аміаку відповідно до роботи [1] з кроком то тиску 0,1 бар, по температурі – 0,1 ^{o}C та для об'ємної частки води – 0,01 %. З використанням методу найменших квадратів для сформованого масиву даних, отримана така математична модель густини технічного аміаку (кг/м^3):

$$\rho = A + B \cdot P + C \cdot P^2, \tag{1}$$

$$\begin{cases} A = a_0 + b_0 \cdot T + c_0 \cdot T^2, \\ B = a_1 + b_1 \cdot T + c_1 \cdot T^2, \\ C = a_2 + b_2 \cdot T + c_2 \cdot T^2, \end{cases} \tag{2}$$

$$\begin{cases} a_0 = 7{,}3187 \cdot 10^2 + 1{,}1009 \cdot 10^1 \cdot x - 3{,}4015 \cdot 10^{-1} \cdot x^2, \\ b_0 = 6{,}7383 \cdot 10^{-1} - 4{,}5587 \cdot 10^{-2} \cdot x + 1{,}8735 \cdot 10^{-3} \cdot x^2, \\ c_0 = -3{,}7212 \cdot 10^{-3} + 6{,}0934 \cdot 10^{-5} \cdot x - 2{,}3768 \cdot 10^{-6} \cdot x^2, \\ a_1 = 8{,}9864 \cdot 10^{-1} - 5{,}6096 \cdot 10^{-3} \cdot x - 9{,}9090 \cdot 10^{-5} \cdot x^2, \\ b_1 = -6{,}6566 \cdot 10^{-3} + 5{,}0996 \cdot 10^{-5} \cdot x + 6{,}2180 \cdot 10^{-7} \cdot x^2, \\ c_1 = 1{,}3345 \cdot 10^{-5} - 1{,}1544 \cdot 10^{-7} \cdot x - 1{,}0225 \cdot 10^{-9} \cdot x^2, \\ a_2 = -1{,}6502 \cdot 10^{-3} + 1{,}7795 \cdot 10^{-5} \cdot x + 8{,}4942 \cdot 10^{-7} \cdot x^2, \\ b_2 = 1{,}2333 \cdot 10^{-5} - 1{,}3484 \cdot 10^{-7} \cdot x - 6{,}0461 \cdot 10^{-9} \cdot x^2, \\ c_2 = -2{,}3523 \cdot 10^{-8} + 2{,}5967 \cdot 10^{-10} \cdot x + 1{,}0407 \cdot 10^{-11} \cdot x^2, \end{cases} \tag{3}$$

де P, T – абсолютний тиск (бар) та температура (К) суміші;

x – об'ємна частка води в суміші з аміаком, %.

Математична модель (1) справедлива за таких значень параметрів:

- абсолютний тиск 12÷100 бар;
- абсолютна температура 273÷303 К;
- об'ємна частка води в суміші 0÷0,5 %.

Максимальна різниця густини (по абсолютній величині) визначена за формулою (1) та густини, розрахованої за методикою [1] не перевищує 0,04 кг/м^3. Максимальна відносна похибка становить 0,006 % для вказаного діапазону параметрів (тиску, температури, об'ємної частки).

Висновки

1. Встановлено, що величину густини технічного аміаку за умов роботи аміакопроводу Тольятті-Одеса можна адекватно описати поліноміальною функцією другого степеня від абсолютного тиску, температури та об'ємної частки води в суміші. При цьому сумарна відносна похибка розробленої математичної моделі не перевищує 0,10 % в порівнянні з експериментальними даними.

2. Отримана залежність (без застосування ітераційного процесу) може бути використана для більш точних розрахунків пропускної здатності, режимів роботи та кількості аміаку, що знаходиться у внутрішній порожнині трубопроводу.

Література
1. Tillner-Roth R. A Helmoltz Free Energy Formulation of the Thermodynamic Properties of the Mixture {Ammonia + Water} [Text] / R. Tillner-Roth, D. G. Friend // Journal of Physical and Chemical Reference Data – 1998. – Vol. 27, Issue 1. – P. 63–96.
2. Tillner-Roth R. Survey and Assessment of Available Measurements on Thermodynamic Properties of the Mixture {Water + Ammonia} [Text] / R. Tillner-Roth, D. G. Friend // Journal of Physical and Chemical Reference Data – 1998. – Vol. 27, Issue 1. – P. 45–61.
3. Haar L. Thermodynamic Properties of Ammonia [Text] / L. Haar, J. S. Gallagher // Journal of Physical and Chemical Reference Data – 1978. – Vol. 7, Issue 3. – P. 635–792.
4. Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam. (IAPWS-IF97). (Revised August 2007).

УДК 622.691.4

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАФТОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ УКРАЇНИ В УМОВАХ НАДХОДЖЕННЯ РІДКИХ ВУГЛЕВОДНІВ З АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСТАЧАННЯ

Якимів Й.В., канд. техн. наук, доцент; Бортняк О.М., канд. техн. наук
***І*вано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ**

Проведений аналіз можливих джерел та маршрутів постачання нафти на внутрішній ринок та транзитом існуючими нафтотранспортними системами України. Досліджена енерговитратність нафтопроводів з метою забезпечення їх енергоефективної експлуатації в умовах диверсифікації імпорту вуглеводневої сировини.

Ключові слова: *альтернативні джерела постачання нафти, іранська нафта, каспійська нафта, нафтотранспортні системи, енергоефективність, енерговитратність.*

The analysis of possible sources and routes of oil supply to the domestic market and existing transit of Ukrainian oil transportation system was conducted. Energy consumption of pipeline to ensure their energy efficient operation in terms of diversification of imports energy hydrocarbons was studied.

Keywords: *alternative sources of oil, Iranian oil, Caspian oil, transportation systems, energy efficiency, energy consumption.*

Розроблення та успішна реалізації ефективної енергетичної політики є надзвичайно актуальним питанням для будь-якої країни, що прагне до зміцнення енергетичної незалежності, посилення політичного суверенітету та підвищення економічного благополуччя. Особливо це стосується України, яка поки що знаходиться на шляху до набуття таких характеристик. Вивчення світового досвіду дозволяє стверджувати, що основними складовими успішного економічного та соціального розвитку є енергетична безпека, енергоефективність та енергозбереження.

Висока енергоємність виробництва та існуючий стан енергоспоживання, які залишилися з часів входження країни до складу держави з достатньо високим рівнем забезпеченості паливно-енергетичними ресурсами, зумовили накопичення істотного потенціалу енергозбереження, реалізація якого, як засвідчує досвід країн Західної Європи, потребує акумулювання значних коштів. Враховуючи сучасний стан економіки країни в цілому, найбільш ймовірним джерелом фінансування енергоефективних заходів виглядає використання внутрішніх можливостей вітчизняних підприємств з достатньо високим рівнем енергоємності виробництва.

Одним з найважливіших елементів забезпечення енергетичної безпеки є диверсифікація джерел та шляхів постачання енергоносіїв. Наша держава належить до країн частково забезпечених традиційними видами первинної енергії відповідно повинна їх імпортувати. Найбільша проблема полягає в тому, що основне постачання вуглеводневих енергоносіїв відбувається практично з однієї країни-експортера або її територією, внаслідок чого спостерігається постійний політичний та економічний вплив з боку наявного монопольного постачальника сировини. Отже, одним з першочергових завдань у напрямку підвищення енергетичної залежності нашої держави є вирішення питання диверсифікації імпорту вуглеводнів за умов раціонального енергоефективного використання транзитного потенціалу країни з дотриманням доктрин енергозбереження та вимог екологічної стійкості.

Україна володіє потужною нафтотранспортною системою з великими транзитними можливостями, на її території розташовано шість крупних нафтопереробних заводів, потенційно здатних не лише забезпечити внутрішній попит на якісні моторні палива, але й експортувати їх до інших країн. Низький рівень власного видобутку вуглеводневої сировини не дозволяє забезпечити необхідний рівень завантаженості як транспортних, так і переробних потужностей. Проте географічне розташування країни та наявність унікальної системи магістральних нафтопроводів дозволяють реалізувати різні варіанти маршрутів постачання нафти. Зорієнтованість української нафтотранспортної системи на транзит сприяє зацікавленості в її роботі західних країн – споживачів, а також країн-експортерів з достатньо великими розвіданими запасами вуглеводневої сировини, що за певних умов може стимулювати приплив інвестицій в модернізацію самої системи та підвищити її енергоефективність до європейських стандартів. Потенційними постачальниками нафти в Україну окрім Росії можуть бути Іран, Ірак, Алжир, Казахстан, Азербайджан та Туркменістан, які характеризуються достатньо високими експортними можливостями і можуть задовольнити потреби України в імпорті нафти. У реаліях сьогодення найбільш перспективними експортерами видаються Іран та Азербайджан, враховуючи нещодавні заяви посла Ірану щодо існуючих можливостей постачання вуглеводнів в Україну та участі у модернізації її нафтопереробної галузі, а також переговорів президентів нашої держави та Азербайджану щодо постачання нафти з каспійського регіону і відновлення проекту Сарматія.

У будь-якому випадку схема транспортування нафти з Ірану чи Азербайджану передбачає завантаження та експлуатацію нафтопроводу Одеса-Броди. Реалізація даного маршруту дозволить забезпечити сировиною Дрогобицький та Надвірнянський НПЗ. Наявність збудованої на 52 км нафтопроводу Одеса-Броди перемички, яка з'єднує його на 154 км трубопроводу Снігурівка-Августівка з трубопроводом Кременчук-Снігурівка, дозволяє скерувати потік іранської нафти у напрямку нафтопереробних заводів, розташованих у східній частині України, зокрема на Кременчуцький та Лисичанський НПЗ.

Враховуючи можливість реалізації зазначених маршрутів постачання вуглеводневих енергоносіїв, виникає практична необхідність у розробленні енергоефективної технології її транспортування вітчизняними нафтопроводами шляхом застосування оптимальних з точки зору енерговитратності режимів їх експлуатації. До найбільш складних та енергоємних об'єктів від ефективної роботи яких залежить надійність функціонування усієї нафтотранспортної системи відносяться перекачувальні станції. Оскільки практично усі перекачувальні станції вітчизняних нафтопроводів обладнані агрегатами без можливості регулювання частоти обертання ротора насоса, експлуатація нафтопроводів відбувається на різних режимах, зміна яких відбувається дискретно зі зміною варіантів включення насосів та перекачувальних станцій загалом. Оптимізація режимів транспортування дозволяє значно зменшити собівартість перекачування нафти. В такому випадку виникає задача вибору серед ряду можливих режимів найбільш доцільних, реалізація яких дозволить мінімізувати вартість витраченої електроенергії за умов обов'язкового виконання плану приймання та здавання нафти за певний встановлений період.

З метою оцінки можливості реалізації альтернативних маршрутів постачання нафти на внутрішній ринок та транзитом із залученням існуючих нафтотранспортних систем України за умов їх енергоефективної експлуатації були проведені розрахунки енерговитратності режимів роботи нафтопроводу Одеса-Броди (у аверсному напрямі) та системи нафтопроводів Одеса-Броди, Кременчук-Снігурівка та Снігурівка-Августівка у реверсному напрямі за маршрутом МНТ "Південний"-Снігурівка-Кременчук. Дані нафтопроводи характеризуються пересічним профілем траси, що у разі їх експлуатації у зазначених напрямках ускладнює визначення пропускної здатності і енергетичних параметрів перекачування нафти, проведення експлуатаційних гідравлічних розрахунків і потребує дещо іншого підходу до вирішення даних питань.

За критерії оптимальності з метою встановлення енергоефективних режимів експлуатації зазначених трубопровідних мереж були вибрані питомі затрати потужності на перекачування нафти та величина загального обсягу дроселювання, яка складається з величини дроселювання для забезпечення міцності трубопроводу та додаткового дроселювання, спричиненого необхідністю забезпечення виконання технологічного обмеження тиску на вході в перекачувальну станцію, де нафта приймається в резервуари, тобто в кінцевий пункт (КП) для даної ділянки нафтопроводу.

Розроблений алгоритм визначення енергоефективних режимів експлуатації нафтопровідних систем був реалізований у програмному комплексі, який дає змогу визначити пропускну здатність та питомі витрати потужності для будь-якого варіанта роботи нафтопроводу, що має довільну кількість НПС, оснащених насосами з різними типами роторів і отримати розподіл тиску нафти в трубопроводі по довжині перегону між нафтоперекачувальними станціями з побудовою ліній гідравлічного нахилу для відповідного режиму перекачування.

Висновки

Проведені дослідження дають можливість стверджувати, що Україна володіє потужною нафтотранспортною системою, яка за раціональної технологічної і політичної організації, може забезпечити реалізацію альтернативних маршрутів нафтових потоків, привабливих як для країн-експортерів, які шукають ринки збуту нафти, так і для забезпечення потреб внутрішнього ринку сировиною за умов узгодженості заходів диверсифікації з модернізацією нафтопереробної галузі. Можливість енергоефективної експлуатації, яка дозволяє суттєво знизити енергозатратність вітчизняної нафтотранспортної системи і тим самим реалізувати накопичений потенціал енергозбереження, технічний стан, реверсивність та існуючі потужності позиціонують нашу країну як надійного транзитера, питання залишається тільки у реальності існуючих перспектив та домовленостей з країнами постачальниками вуглеводневої сировини.

НТБ ОНАХТ

СЕКЦІЯ 4:

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

РЕСУРСОЕФЕКТИВНІ І БІЛЬШ ЧИСТІ ТЕХНОЛОГІЇ

ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УПРАВЛІННЯ РЕСУРСНИМИ ПОТОКАМИ

ЕКОЛОГІЧНИЙ ДИЗАЙН ПРОДУКЦІЇ

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ І ОБЛАДНАННЯ

НТБ ОНАХТ

МОДЕЛЮВАННЯ МІГРАЦІЇ РАДІОНУКЛІДУ (CS-137) ПО КАСКАДУ КИТАЇВСЬКИХ СТАВКІВ (НПП «ГОЛОСІЇВСЬКИЙ», М. КИЇВ)

Кравець М.О., , Кутлахмедов Ю.О.
Національний авіаційний університет, м. Київ

Радіоекологічна ситуація, що склалася в Україні після чорнобильської катастрофи і за умов експлуатації АЕС, потребує вирішення найскладнішого комплексу наукових і практичних проблем. Для цього необхідний подальший розвиток глибоких наукових радіоекологічних досліджень. Дослідження динаміки, розподілу, міграції радіонуклідів і їх дії на біосистеми на різних рівнях служать основою для оцінки стану екосистем. Необхідність таких досліджень зумовлена також важливістю розуміння бар'єрної ролі водних екосистем і автореабілітаційних процесів, що відбуваються у забруднених радіонуклідами водоймах. При цьому водні екосистеми, з одного боку, є магістралями, по яких відбувається міграція радіонуклідів, з іншого - місцем депонування цих забруднювачів. Так само і ліс виконує бар'єрну функцію на шляху розповсюдження забруднень, виконуючи роль захисника довкілля, він є акумулятором різних речовин, в тому числі і токсичних.

В даній роботі досліджувалась міграція радіонукліду Cs-137 у Китаївському каскаді НПП «Голосіївський». Китаївський струмок бере свій початок у Голосіївському лісі на схилах пагорбів між місцевостями Пирогів і Мишоловка. Далі струмок прямує на північний схід і біля Китаївської пустині утворює низку ставків, які так і називаються «Китаївські». Після виходу з греблі останнього з ставків, струмок ховається у колектор, згодом зливається з іншим струмком - Голосіївським - і далі Мишоловським колектором прямує на схід, де впадає у Галерну затоку. Від витоку і до початку ставків струмок тече Голосіївським лісом природним руслом.

Для даної роботи відбиралися проби донних відкладів, біоти і грунту у Китаївському каскаді(2015-2016 рр.). Відібрані проби були висушені і виміряні на вміст 137Cs, за допомогою гамма-спектрометра СЕГ-01.

Таблиця 1 Середні значення активності Cs-137 у компонентах екосистеми Китаївського каскаду ставків

№ ставка	А (Бк) Грунт	А (Бк) Донні	А (Бк) Біота
1	39,75	35,50	22,88
2	66,50	47,20	20,83
3	39,63	34,65	18,50
4	51,05	34,18	19,85

Для опису міграції радіонуклідів в екосистемах використаний метод камерних моделей. Взаємодія між камерами задається за допомогою коефіцієнтів переносу радіонуклідів з однієї камери в іншу за одиницю часу (частіше за рік). Коефіцієнти вибираються за натурними дослідженнями і за розрахунками.

Таблиця 2 Коефіцієнти переходу між компонентами екосистеми Китаївських ставків

Камери	Ставок №1		Ставок №2		Ставок №3		Ставок №4	
«Грунт» - «Вода»	*a41*	0,036	*a85*	0,035	*a129*	0,036	*a1613*	0,037
«Вода» - «Донні відклади»	*a12*	0,4	*a56*	0,8	*a910*	0,9	*a1314*	0,6
«Донні відклади» - «Вода»	*a21*	0,1	*a65*	0,04	*a109*	0,03	*a1413*	0,04
«Вода» - «Біота»	*a13*	0,3	*a57*	0,7	*a911*	0,8	*a1315*	0,7
«Біота» - «Вода»	*a31*	0,06	*a75*	0,04	*a119*	0,01	*a1513*	0,04
«Вода» - «Вода»	*a15*	0,05	*a59*	0,05	*a913*	0,05	*a1317*	0,05
«Біота» -«Донні відклади»	*a32*	0,034	*a76*	0,032	*a1110*	0,032	*a1514*	0,03

З таблиці видно, що найменші коефіцієнти у першому ставку, тобто він найгірше виконує функцію очищення води від радіонуклідів. Наступні 2 ставки мають високі коефіцієнти, та №4 досить високі.

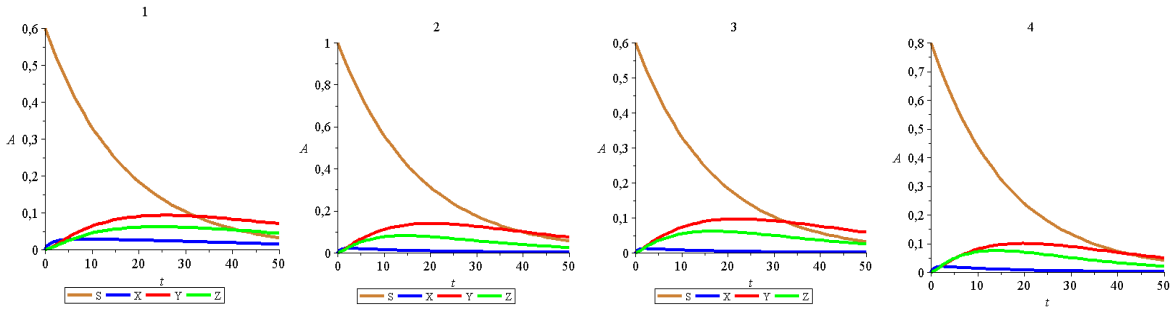


Рис.1 – Динаміка концентрації радіонуклідів протягом 50 років в 1, 2, 3, 4 ставку. X – вода, Y – донні відклади, Z – біота, S – грунт.

Висновки

В результаті роботи отримана адекватна модель накопичення радіонуклідів Cs-137 в каскаді Китаївських ставків. Спостерігається зменшення концентрацій радіонуклідів при проходженні по каскаду.

Щодо реконструкції початкового забруднення, то згідно моделей, основна частина радіації потрапила у другий ставок Китаївського каскаду. Видно як з роками радіонукліди переходять далі по каскаду, та накопичуються у донних відкладах. Важливими природними факторами самоочищення водних мас є седиментаційні процеси - адсорбція радіонуклідів на твердих зважених частинках і їх осадження у донні відкладення. Визначальна роль донних відкладів у процесі самоочищення водойм чітко прослідковується в даних моделях.

Отже, для підвищення екологічної безпеки даного каскаду водойм, заходи (як використання плаваючих біоплато, наприклад), в першу чергу необхідно направити на перший ставок Китаївського каскаду. В той час як ставки з високим накопиченням у донних відкладах і біоті найбільше потребують охорони від подальшого надходження радіонуклідів.

Література

1. Радіонукліди у водних екосистемах України. Вплив радіонуклідного забруднення на гідробіонти зони відчуження Чорнобильської АЕС: Монографія / М.І. Кузьменко, В.Д. Романенко, В.В. Деревець, О.М. Волкова, Д.І. Гудков та ін. – К.: Чорнобильінтерінформ, 2001. – 318 с.
2. Гудков Д. І. Радіонукліди в компонентах водних екосистем зони відчуження Чорнобильської АЕС: розподіл, міграція, дозові навантаження, біологічні ефекти : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. біол. наук : спец. 03.00.01 "радіобіологія" / Гудков Дмитро Ігорович – Київ, 2006. – 35 с.
3. Вишневський В. І. Малі річки Києва./ Вишневський В. І. — К.: «Інтерпрес ЛТД», 2007. — 28 с.
4. Кутлахмедов Ю. А. Дорога к теоретической радиоэкологии – К.:Фитосоциоцентр,2015. – 369 с.

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ

Крусір Г.В., д-р техн. наук, професор, Гаркович О.Л.,
канд. біол. наук, доцент, Чекал Г.Л., магістр ф-ту ПЕЕтаНГТ
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Ґрунт - це унікальне природне тіло, завдяки якому можливий ріст і розвиток всіх рослин і існування всієї біосфери. У нашій країні вона є і завжди була одним з головних багатств. Однак забруднення ґрунту на сьогоднішній день досягла критичного рівня. І це пов'язано, насамперед, з активним розвитком промисловості. Тому ґрунтовий покрив потребує постійного моніторингу та охорони. Ґрунтовий покрив Землі являє собою найважливіший компонент біосфери. Саме ґрунтова оболонка визначає багато процесів, що відбуваються в біосфері. Найважливіше значення ґрунтів складається в акумулюванні органічної речовини, різних хімічних елементів, а також енергії. Ґрунтовий покрив виконує функції біологічного поглинача, руйнівника і нейтралізатора різних забруднень, а також ґрунту відведена важлива роль в житті суспільства, так як являє собою джерело продовольства, що забезпечує 95-97 % продовольчих ресурсів для населення планети. Якщо ця ланка біосфери буде зруйнована, то сформоване функціонування біосфери незворотно порушиться. Надзвичайно важливе вивчення глобального біохімічного значення ґрунтового покриву, його сучасного стану і зміни під впливом антропогенної діяльності, так як ефективний захист

навколишнього середовища від небезпечних хімічних реагентів неможлива без достовірної інформації про ступінь забруднення ґрунтів. Принцип нормування хімічних речовин у ґрунті значно відрізняється від принципів, покладених в основу нормування їх у водоймищах, атмосферному повітрі, харчових продуктах. Хімічні речовини що потрапили в ґрунт надходять в організм людини головним чином через контактуючі з ґрунтом середовища: воду, повітря і рослини (в останньому випадку за біологічним ланцюгом ґрунт – людина). Тому при нормуванні хімічних речовин у ґрунті враховується не тільки та небезпека, яку представляє ґрунт при безпосередньому контакті , але й наслідки вторинного забруднення контактуючих з ґрунтом середовищ. Встановлення ГДК забруднюючих речовин в ґрунті знаходиться в початковій стадії, тому до теперішнього часу встановлені ГДК лише для 30 шкідливих речовин, переважно отрутохімікатів.

І саме ГДК хімічних речовин у ґрунті є основним критерієм гігієнічної оцінки небезпеки забруднення ґрунтів шкідливими речовинами. Для оцінки небезпеки забруднення ґрунту вибір хімічних речовин – показників забруднення – проводиться з урахуванням: специфіки джерел забруднення, визначають комплекс хімічних елементів, які беруть участь у забрудненні ґрунтів досліджуваного регіону ;пріоритетності забруднювачів у відповідності зі списком ГДК хімічних речовин у ґрунті та їх класів небезпеки; характер землекористування. Оцінка небезпеки забруднення ґрунту населених пунктів у свою чергу визначається: епідеміологічної значимістю забрудненої хімічними речовинами ґрунту; роль забрудненого ґрунту як джерела вторинного забруднення приземного шару атмосферного повітря і при її безпосередньому контакті з людиною; значення ступеня забруднення ґрунту як індикатора забруднення атмосферного повітря

Найбільш доцільним методом визначення інтегральної токсичності ґрунту є біотестування. Показником ступеня токсичності при біотестуванні служить зміна обраної тест-функції біоіндикаторного організму при його взаємодії з пробою середовища. Успішне застосування біотестування для діагностики стану екосистеми багато в чому залежить від правильного підбору тест-об'єкта. В якості біоіндикаторів можуть бути використані тварини, рослини, мікроорганізми. Найбільш повний аналіз інтегральної токсичності досягається при застосуванні набору біотестів з використанням різних тест-організмів при контролі їх біологічних параметрів. Найбільш очевидними критеріями вибору тест-організмів є простота роботи і точність одержуваних у результаті тестування даних. Під простотою розуміється легкість виділення тест-організму з природних джерел, їх зберігання, розмноження, постановки проби на токсичність, обробки та інтерпретації отриманих результатів. Точність в даному випадку – це наявність однозначних, яскраво виражених змін досліджуваної функції індикаторного організму в результаті впливу забруднювача. У деяких випадках для оцінки токсичності ґрунту необхідно в якості тест-об'єктів брати мікроорганізми.

Переваги мікробіологічних тестів зумовлені наступними причинами. Завдяки невеликим розмірам мікробні клітини мають відносно велику поверхню контакту з навколишнім середовищем, що визначає їх високу чутливість до дії змін. Високі швидкості росту і розмноження мікроорганізмів дають можливість за порівняно короткий термін простежити за впливом будь-якого несприятливого фактора протягом десятків і навіть сотень поколінь. До того ж вони компактні і в більшості випадків не вимагають значних матеріальних витрат для підтримки життєдіяльності.

Застосування мікроорганізмів для оцінки інтегральної токсичності ґрунту і створення на їх основі комплексної системи чутливих, достовірних і економічних біотестів є перспективною областю досліджень. До недоліків мікробіологічних тестів слід віднести досить високу здатність мікроорганізмів до утворення стійких мутантних штамів, що може у деяких випадках призводити до отримання недостовірних результатів.

Ґрунти забруднюються різними шкідливими хімічними речовинами, пестицидами, відходами сільського господарства, промислового виробництва і комунально-побутових підприємств. Надходять у ґрунт хімічні сполуки накопичуються і призводять до поступової зміни хімічних і фізичних властивостей ґрунту, знижують чисельність живих організмів, погіршують її родючість. У зв'язку з тим, що ґрунт є невід'ємною ланкою біосфери і грає найважливішу роль в житті суспільства всієї планети надзвичайно важливо вивчення її сучасного стану і зміни під впливом антропогенної діяльності. Таким чином, в даний час необхідно мати такі методи оцінки забруднення ґрунтів, які могли б дати об'єктивне уявлення про стан ґрунту, тобто про те, наскільки він здатен виконувати відведені їй функції. Розглянуті методи, такі як біотестування і біодиагностика забруднених ґрунтів виконують вимоги сучасності по дослідженню забруднених ґрунтів.

Біотестування є найбільш доцільним методом визначення інтегральної токсичності ґрунтів. Він доступний і простий у застосуванні, не вимагає складного лабораторного обладнання і може бути рекомендований дослідникам різних рівнів підготовки. У свою чергу і біодиагностика техногенного забруднення ґрунтів є досить простим методом, який здатний дати реальну оцінку стану ґрунтів.

Це стало можливим після довгих років досліджень, коли були виявлені найбільш інформативні показники, що об'єктивно відображають рівень та наслідки забруднення і не потребують для свого

визначення дорогого обладнання. В даний час, коли загострене протиріччя між економікою та екологією, важливо, щоб методи оцінки забруднення ґрунтів могли не тільки давати об'єктивне уявлення про стан ґрунтів, але і були доступні в матеріальному плані.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ЕКОЛОГІЧНОГО ПАСПОРТУВАННЯ КВАРТИРИ

Крусір Г. В., д-р техн. наук, професор, Мадані М.М., Саввова К.О., магістр ф-ту ПЕЕтаНГТ
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Житло для людини є екологічною нішею, з якою він пов'язаний більшу частину свого життя. Тому від його якості напряму залежить стан здоров'я людини. Щоб визначити, на якому рівні безпечності знаходиться ваше житло, потрібно провести необхідні дослідження, що виявляють стан повітря, шуму, енергетики квартири, рівень радіаційного фону та ін, тобто повну експертизу житла. Доступ до такої інформації дає екологічний паспорт квартири. У нього вносяться не тільки результати досліджень по всім санітарно-гігієнічним показникам, прийнятим в Україні, а й даються рекомендації щодо усунення ризиків.

В Україні екологічна паспортизація житлових і службових приміщень пропонується вперше. У ряді зарубіжних країн система екологічної паспортизації житлових приміщень вже є, але на відміну від зарубіжних аналогів пропонована розробка відрізняються принциповою новизною, яка полягає у тому, що наш продукт буде розроблятися ще на стадії проектування квартири.

Ключовим етапом процедури екопаспортизації є розробка та затвердження методики.

В ході виконання даної роботи було:

1. Обґрунтовано критерії екологічності квартири, за якими визначається її безпечність, що залежить від мікробіологічних, хімічних, фізичних та радіаційних показників.
2. Обґрунтовано такі мікробіологічні критерії, як загальне мікробне число, наявність та кількість золотистого стафілококу Staphylococcusaureus, наявність та кількість умовно-патогенних мікроорганізмів, наявність та кількість чорної плісняви Aspergillus, наявність пилових кліщів роду Dermatophagoides.
3. Визначені такі хімічні критерії, як характеристика зважених речовин повітря, концентрація чадного газу CO, формальдегіду CH_2O, фенолу C_6H_5OH, стиролу C_8H_8, аерозолів важких металів, тетрахлорметану CCl_4, аміаку NH_3, бутилацетату $C_6H_{12}O_2$, діоксиду нітрогену NO_2, діоксиду сірки SO_2, сірководню H_2S, етилацетату $C_4H_8O_2$.
4. Обґрунтовано такі фізичні критерії: рівень шуму, рівень вібрації, рівень ЕМВ, ступінь штучного освітлення, ступінь природного освітлення, наявність геопатогенних зон, характеристика наявних аерофонів, мікроклімат
5. Обґрунтовано такі радіаційні критерії екологічності, як концентрація Радону та загальний радіологічний стан.
6. Визначення екологічності квартири ґрунтується на розрахунку усіх вищезазначених критеріїв.

Впровадження процедури екологічної паспортизації квартир сприятиме екологізації ринку нерухомості та підвищить конкурентоспроможність підприємства, що продає квартири з екологічним паспортом.

ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ У АДМІНІСТРАТИВНИХ РАЙОНАХ ТА МІСТАХ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Ригас Т.Є., Шмандій В.М., д-р техн. наук, професор,
Кременуцький національний університет імені Михайла Остроградського

У результаті дослідження оцінено стан екологічної безпеки у Полтавській області на основі антропоцентричного підходу, який передбачає, що переважно вивчається вплив чинників екологічної безпеки саме на людину. Акцентувалася увага на оцінці антропогенного навантаження на атмосферне повітря, якості питної води, утворення відходів, рівня здоров'я населення в районах та містах області**.** Такий

підхід зумовлений тим, що у Полтавській області максимальної шкоди завдають саме викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря стаціонарними та пересувними джерелами, накопичена значна кількість різноманітних відходів, вода має суттєве значення для економіки, сільського господарства й промисловості.

Оцінка антропогенного навантаження на атмосферне повітря проведена окремо для стаціонарних та пересувних джерел викидів по адміністративним районам та крупним містам області.

З використанням статистичних даних по питомим (на одиницю площі) викидам проведена оцінка рівня викидів стаціонарними джерелами за районами області, встановлено чотири групи (градації) екологічної безпеки.

Методології дослідження полягає у наступному.

Визначається середнє значення викидів забруднюючих речовин (т/км^2) визначалось:

$$\overline{V} = \frac{1}{25}\sum_{i=1}^{25} I(t) = \frac{1}{25}\cdot 33{,}57 = \boldsymbol{1{,}34};$$

та середнє квадратичне його відхилення:

$$\boldsymbol{\sigma I} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(I - \bar{V}\right)^2} = \boldsymbol{1{,}86;}$$

Для знаходження довірчого інтервалу розраховували точність проведення математичної оцінки вибірки за формулою

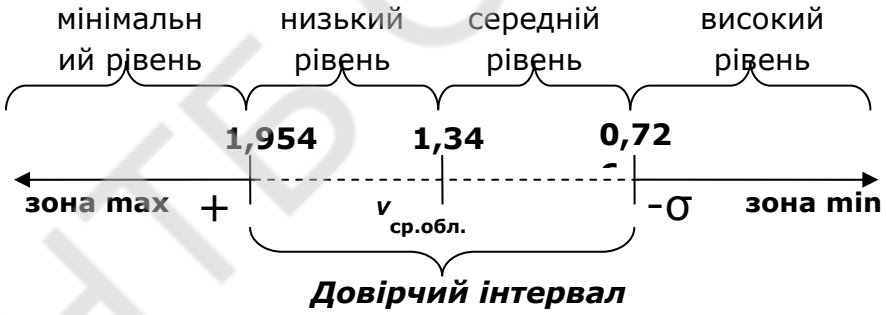
$$\boldsymbol{\delta} = t\frac{\sigma I}{\sqrt{n}}$$

де t – аргумент функції Лапласа, який визначається так. Φ(t) = α / 2, **α** – надійність математичної оцінки, n - об'єм вибірки ; σI – середнє квадратичне відхилення.

Приймаємо **α** = 0,9, знаходимо значення аргумента функції Лапласа t = 1,65. Точність проведення математичної оцінки вибірки складає $1{,}65\cdot(1{,}86/\sqrt{25}) = 0{,}6138$.

Таким чином математичне очікування M лежить в інтервалі: від $\boldsymbol{\delta_{min}}$= 1,34 – 0,6138 = 0,726 до $\boldsymbol{\delta_{max}}$= 1,34+0,6138 = 1,954.

Довірчий інтервал для величини загального значення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення може бути переставленим так:



Розподіл районів по групам екологічної безпеки виглядає наступним чином. Перша група – високий рівень безпеки (M нижче 0,726) є характерним для таких районів – Семенівський, Пирятинський, Миргородський, Лубенський, Глобинський, Хорольський, Полтавський, Кременчуцький, Гребінківський, Великобагачанський, Кобеляцький, Чутівський, Козельщинський, Чорнухинський, Карлівський. Друга група – середній рівень безпеки (M=0,726–1,34) – Новосанжарський, Оржицький райони. Третя група – низький рівень безпеки (M =1,34 – 1,954) - спостерігається в Котелевському та Зінківському районах. Четверта група – мінімальний рівень безпеки (M більше 1,954) – Машівський, Шишацький, Решетилівський, Гадяцький, Диканський райони.

Аналогічним чином проведено дослідження по основним містам області. Встановлено, що середнє значення викидів складає 81,1, середнє квадратичне відхилення **σI** дорівнює 72,6 при **n** = 5.Точність проведення математичної оцінки вибірки становить 53,48. Математичне очікування знаходиться в інтервалі: від $\boldsymbol{\delta_{min}}$= 81,1 – 53,48 = 27,62 до $\boldsymbol{\delta_{max}}$= 81,1 + 53,48 = 134,58. Розподіл міст по групам екологічної безпеки виглядає наступним чином. Перша група (M нижче 27,62) – високий рівень безпеки - м. Миргород та м. Полтава; друга група – середній рівень безпеки (M =27,62 - 81,1) - м. Комсомольськ; третя група – низький

рівень безпеки (М =81,1 - 134,58) - м. Лубни; четверта група – мінімальний рівень безпеки (М більше 134,58) – м. Кременчук.

Дослідження якості питної води проведено за бактеріологічними та хімічними показниками для районів та основних міст області - з джерел децентралізованого та централізованого водопостачання, відповідно. Проаналізовано обсяги утворення відходів по адміністративним районам та містам, а також аналіз захворюваності дитячого та дорослого населення. Здійснена узагальнююча оцінка рівня безпеки життя населення.

Як свідчать результати проведеного аналізу по більшості показників м. Кременчук та розташовані у безпосередній близькості м. Комсомольськ, Кременчуцький та Глобинський райони відносяться до групи з мінімальним рівнем екологічної безпеки, що обумовлює приділення цьому регіону уваги при вирішенні проблем екологічної безпеки.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ В УМОВАХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Харламова О.В., к.т.н., доцент, Мальований М.С., д.т.н., професор,
Кременуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Природно-антропогенна небезпека формується в результаті впливу людини на природні чинники, які є першорядними або рівнозначними з антропогенними за значимістю і вкладом у формування небезпеки. Її прикладом є суттєве погіршення якості поверхневих вод у штучно створених об’єктах гідросфери унаслідок масового неконтрольованого розвитку синьо-зелених водоростей, чинниками чого є результати антропогенного втручання в природні процеси. Антропогенна небезпека структурується на декілька складових, серед яких чинне місце займає техногенна небезпека, яка є предметом наших досліджень. Тому ми будемо розглядати природно-техногенну небезпеку. Прикладами її можуть бути землетруси, викликані створенням водосховищ та закачуванням вод в свердловини; загроза повеней в районах з неконтрольованою вирубкою лісів на гірських схилах, тощо.

Ми притримуємося основного принципу стратегії управління екологічною безпекою, який формулюється наступним чином: ефективно управління може здійснюватися на основі використання закономірностей формування небезпеки. Увагу акцентуємо на техніко-технологічних аспектах управління, які в кінцевому підсумку передбачають розробку і реалізацію практичних заходів і технічних рішень, спрямованих на запобігання потенційного і зниження реального техногенного впливу на людину і навколишнє середовище.

Логічний аналіз і узагальнення фактичного матеріалу, використання теоретичних положень формування небезпеки дозволили встановити закономірності управління екологічною безпекою відносно природно-техногенних чинників:

1. Результативним управління може бути при забезпеченні прийнятної просторової і часової структуризації небезпеки. Вивчення хронології функціонування небезпеки, встановлення стадій цього процесу дозволяють вибрати оптимальні методи і засоби управління. Виявлення особливостей формування небезпеки, врахування подібних ситуацій дають можливість розробити ефективну структуру управління, уникнути помилок, заощадити час і кошти.

2. Оптимізація розташування джерел небезпеки відносно об’єктів, на які впливає небезпека, суттєво послаблює наслідки її проявів. Слід зазначити, що поліпшити позиційні властивості системи «джерело-об'єкт» можна не тільки за рахунок реалізації технічних заходів, але і використовуючи природні особливості. Так, не змінюючи параметри джерел викидів шкідливих речовин можливо знизити ступінь прояву небезпеки в селитебних зонах шляхом раціонального розміщення цих джерел щодо переважного напрямку вітру. Цей захід є прикладом ліквідації несприятливої позиційності з використанням природних чинників. Іншим прикладом є організація санітарно-захисної зони промислового підприємства. При дії техногенних землетрусів на споруди різного призначення покращення умов позиційності може бути здійснено шляхом проведення серії мікровибухів на шляху поширення сейсмічних хвиль з метою забезпечення їх загасання в геологічному середовищі, а також розміщенням джерел техногенних землетрусів на такій відстані від будівель і споруд, де сейсмічні хвилі не спричиняють помітного впливу.

3. Мінімізація одночасної присутності складових небезпеки зменшує ступінь впливу на людину і довкілля. Враховуючи, що досить складно регулювати ступінь впливу проявів природної небезпеки, акцент

зміщується в бік ліквідації (або ослаблення інтенсивності) окремих видів і підвидів техногенної небезпеки. Так, застосування ефективних технічних засобів поглинання шуму (використання глушників) знижує ступінь прояву небезпеки, що послаблює вплив на людину. З іншого боку, оснащення двигунів автомобілів нейтралізаторами призводить до зниження викидів шкідливих речовин, тобто зменшення ступеня прояву небезпеки.

Зниження ступеня небезпеки у результаті реалізації управлінського рішення можуть бути розосереджені як в просторі, так і в часі. Зменшення обсягів скидів шкідливих речовин у водний об'єкт в одному місці сприяє зниженню їх концентрацій на значній відстані від нього. Реалізація заходів щодо зниження енергоємності виробництва на певному підприємстві може привести до необхідності зменшення вироблення електроенергії, що спричинить зниження кількісних показників викидів, і, отже, викличе зменшення приземних концентрацій шкідливих речовин в місцях розташування теплових електростанцій.

Однією з причин сезонного погіршення якості природних вод в штучно створених водоймах є масовий розвиток ціанобактерій (синьо-зелених водоростей). Як захід з управління екологічною безпекою може служити розведення в водосховищах окремих видів іхтіофауни (наприклад, товстолобика), здатних споживати ціанобактерії. Зниження проявів інтенсивності проявів небезпеки (запобігання погіршення якості природних вод) відбудеться через певний часовий інтервал, тобто в момент інтенсивного розвитку ціанобактерій.

Управління екологічною безпекою здійснюється як в безперервному, так і в дискретному режимах, іноді вона носить сезонний характер. Так, очищення забруднених стоків проводиться безперервно. Заходи щодо зниження впливу техногенних землетрусів реалізується дискретно. Недопущення погіршення якості вод, що використовуються для питного водопостачання в періоди несприятливих метеорологічних умов, здійснюються в літній період, тобто сезонно.

Результати аналізу закономірностей формування екологічної небезпеки та її регіональних особливостей дозволили встановити основні етапи досліджень для розробки системи управління екологічною безпекою.

На першому етапі аналізуємо роль геологічних, гідрогеологічних, кліматичних, метеорологічних і інших природних чинників у формуванні та просторовому поширенні екологічної небезпеки. Виявляємо джерела небезпеки, визначаємо їх параметри. Виділяємо окремі зони, що характеризуються певними особливостями формування небезпеки, а також промислові та транспортні комплекси. Вивчаємо роль соціогенних чинників

На наступному етапі проводимо аналіз конкретних проявів екологічної небезпеки. Аналізуємо показники зміненого стану природної підсистеми, проводимо моделювання сценаріїв формування екологічної небезпеки, що дозволяє визначити найбільш оптимальні шляхи її зниження.

На третьому етапі розроблюємо практичні рішення і технічні засоби, які повинні забезпечити зниження інтенсивності дії джерел небезпеки.

Реалізація управлінських рішень має здійснюватися в технологічних процесах господарської діяльності, в ресурсно-сировинному і матеріально-технічному забезпеченні і є найбільш дієвою, оскільки мінімізація утворення побічних видів речовини і енергії в значній мірі усуває необхідність здійснення заходів щодо обмеження надходження збурень в природну підсистему.

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВОДНЕВОГІДРИДНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГОПЕРЕТВОРЮЮЧИХ СИСТЕМ

Чорна Н.А., к.т.н., доц.
Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, м. Харків

Результати розробок останніх років та загострення екологічних проблем визначають як основні напрямки розвитку нового ринку водневих технологій і водню як екологічно чистого енергоносія в найближчій перспективі, так і загальні для всіх країн напрямки науково-дослідних робіт у даній області. Це, насамперед, технології виробництва, транспортування, зберігання й розподілу рідкого та стислого водню, водневі автомобілі, водневі системи енергозабезпечення на основі паливних елементів і потужні водневі енергоустановки паротурбінного циклу, металогідридні технології акумулювання й очищення водню, елементи водневої інфраструктури.

В промислово розвинутих країнах існує ряд провідних наукових організацій та технічних центрів, які займаються питаннями інтеграції водневих екотехнологій трансформації енергії в промисловості. Серед них можна виділити такі, як: CHEC (Canadian Hydrogen Energy Company); Solar Hydrogen Energy Corporation; H_2E Center (The Pennsylvania State University); Sandia National Laboratories (California); Clean Energy Research Institute, University of Miami; Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Republic of China; Technical University Berlin, Federal Republic of Germany та ін.

Проведений аналіз існуючих досліджень та публікацій дозволив встановити, що на сьогодні дана проблема знаходиться на стадії розробки. В рамках крупних міжнародних і національних проектів створюються основні елементи інтегрованих систем енергозабезпечення на базі водневих технологій і поновлюваних енергоресурсів. Але незважаючи на це, залишається ще невирішеним широке коло питань, пов'язаних з розробкою та експлуатацією водневого енерготехнологічного обладнання. Тому дослідження, що спрямовані на подальше удосконалення водневих технологій, є на сьогоднішній час досить актуальними.

Металогідридна технологія переробки водню є одним з напрямів водневої енергетики, що активно розвивається. Металогідридні пристрої призначені для роботи в складі різних енерготехнологічних систем (лабораторне й технологічне устаткування, системи газозабезпечення, стаціонарні й транспортні енергоустановки). Всі вони характеризуються сполученням декількох функцій переробки водню. Пристрою мають широкий діапазон кількостей збереженого водню й робочих тисків. Стабільність видачі водню визначається точністю регулювання робочого тиску в металогідридном пристрої, ефективне керування яким реалізується шляхом використання температури в якості керуючого фактору.

Металогідридні установки являють собою поки що нетрадиційні системи, котрим властивий ряд особливостей, що потребують вирішення задач як конструкційного, так і технологічного характеру на всіх етапах від розробки до пусконалагоджувальних робіт. Найважливішим фактором, який обумовлює ефективність установки, є вибір оптимальних режимів роботи основних функціональних елементів металогідридної системи.

При конструюванні металогідридної системи зберігання водню із заданим типом металогідрида, вибір якого обумовлений термосорбційними характеристиками, необхідно прагнути до скорочення тривалості циклів сорбція-десорбція водню. Це можна здійснювати шляхом підвищення теплових навантажень, реалізованих у металогідридних елементах, що досягається за рахунок збільшення питомої площі поверхні теплообміну, віднесеної до одиниці маси металогідрида.

У зв'язку з цим необхідна розробка методики з визначення основних технічних характеристик металогідридних установок ще на етапі створювання та дослідження їх параметричних характеристик з метою ефективності роботи цих систем.

На підставі результатів теоретичних, розрахункових і експериментальних досліджень в Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України запропонована вдосконалена методика розрахунку конструкцій металогідридних систем енерготехнологічної переробки водню [1 – 5]. Зазначена методика включає розрахунок динамічних характеристик прийому й видачі водню з урахуванням термодинаміки сорбційних процесів і тепломасообміну в шарі металогідрида, а також удосконалення масогабаритних показників металогідридних систем.

Застосування цієї методики уможливлює проведення розрахунків роботи металогідридних систем і визначення комплексу конструктивних та режимних параметрів, які характеризують їх загальну термодинамічну ефективність.

Побудова уточненої математичної моделі термосорбційної взаємодії металогідриду з воднем надає змогу змоделювати реальні процеси в металогідридних установках, тому її можна використовувати для розробки і створення металогідридних елементів у системах транспортування, зберігання та енерготехнологічної переробки водню.

Література

1. Мацевитый Ю.М. Повышение эффективности металлогидридных элементов теплоиспользующих установок / Ю.М. Мацевитый, В.В. Соловей, Н.А. Черная / Пробл. машиностроения. – 2006. – Т. 9, № 2. – С. 85–93.
2. Соловей В.В. Энергосберегающие технологии генерации и энерготехнологической переработки водорода / В.В. Соловей, А.И. Ивановский, Н.А. Черная // Компрессор. и энерг. машиностроение. – 2010. – № 2(20). – С. 21–24.
3. Соловей В.В. Моделирование тепломассообменных процессов в металлогидридных теплоиспользующих установках / В.В.Соловей, А.В. Кошельник, Н.А. Черная // Промышленная теплотехника. – Т. 34, № 2. – 2012. – С. 48–53.
4. Чорна Н.А. Удосконалення математичної моделі тепломасообмінних процесів у водневих металогідридних системах / Н.А. Чорна // Проблемы машиностроения. – 2013. – Т. 16, №3.– С. 68–72.

5. Чорна Н.А. Підвищення термодинамічної ефективності тепломасообмінних процесів у водневих металогідридних системах / Н.А. Чорна, М.М. Зіпунніков // Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды : сборник научных трудов IV Межд. научно-практ. конф-ции молодых ученых и специалистов (г. Харьков, 25–26 марта 2015 г.). – Харьков: ГП «УкрНТЦ «Энергосталь». – С. 39–43.

РОЗРОБКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ПРИНЦИПІВ СТВОРЕННЯ енергоперетворюючих металогідридних СИСТЕМ

Чорна Н.А., к.т.н., доц.
Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, м. Харків

Основою сучасної енергетики і її найближчою перспективою є природні копалини – нафта, природний газ і вугілля, що становлять близько 80 % сьогоднішніх світових поставок енергії. Однак вони не можуть бути джерелами енергії нескінченно довго через обмежені їхні запаси й попит, що збільшується, на енергію і її споживання. Крім того, основним недоліком енергетики на основі викопних палив є емісія величезної кількості вуглекислого газу, що є основним парниковим газом, який негативно впливає на навколишнє середовище та клімат планети.

Рис. 1 – Структурна схема розробки металогідридної системи

Занепокоєння за економічні й геополітичні наслідки можливого дефіциту поставок викопних палив, у першу чергу нафти й природного газу, як основи глобальної сучасної енергетики, і необхідність знижувати емісію парникових газів, особливо в транспортному секторі, та забруднення навколишнього середовища поклали початок пошуку альтернативних джерел енергії. Саме пошук альтернативних поновлюваних і екологічно чистих джерел, здатних забезпечити людство стійкими поставками на найближчі сотні років, є одним із пріоритетів науки.

Серед альтернативних джерел енергії при сучасному рівні знань особливо перспективним представляється водень, що має більші за потенційні можливості для забезпечення безперебійних поставок енергії і її надійності, переходу на водневу енергетику, поліпшення екології навколишнього середовища та соціальної, економічної, технологічної й державної стійкості в країні.

Використання металогідридів – зворотних сорбентів водню – відкриває перспективи створення нових тепловикористовувальних пристроїв енергетичного й технологічного призначення. Такі пристрої дозволяють виконувати операції прийому водню, його тривалого безпечного зберігання, очищення, видачі споживачеві із заданим тиском і витратою й т.п. Зазначені операції можуть бути об'єднані в єдиній багатофункціональній системі. При цьому переваги металогідридної технології переробки водню у порівнянні із традиційними методами проявляються найбільш повною мірою [1-2].

Конструктивні особливості та технічні характеристики створюваних металогідридних систем, у першу чергу, визначаються вимогами їхніх споживачів. Найчастіше виконання однієї з таких вимог заважає виконання іншої (наприклад, великий запас водню й високі динамічні характеристики його видачі). Тому в кожному конкретному випадку варто шукати сукупність оптимальних технічних рішень, що включають вибір металогідриду, розробку конструкцій окремих вузлів і системи в цілому, визначення оптимальних режимів її роботи. Крім згаданих вимог споживача, зазначені рішення повинні визначатися комплексом фізико-хімічних, теплофізичних, газодинамічних і механічних параметрів, що характеризують процеси термосорбційної взаємодії гідридоутворюючого матеріалу з воднем (рис. 1).

Задача практичного конструювання металогідридних систем не може бути вирішена без

математичного моделювання процесів тепломасообміну, які протікають у шарі металогідрида, що дозволяє розрахувати основні характеристики створюваного пристрою. Це потребує розробки ефективного обчислювального алгоритму та створення на його основі програм для моделювання роботи елементів водневих систем, дослідження їх параметричних характеристик, що дозволить із незначними витратами й досить оперативно вирішувати питання розробки та вибору ефективних режимів роботи систем такого типуВраховуючи це, відкриваються перспективи по створенню новітніх металогідридних технологій та обладнання для систем перетворення низькопотенційної теплоти в енергію стиснутого газу з метою підвищення їх енергоефективності та екологічної сумісності з оточуючим середовищем.

Потреба в даній інформації обумовила необхідність проведення комплексу досліджень, що включають розрахунково-теоретичне та експериментальне вивчення термодинамічних та теплофізичних процесів у водневих енергоперетворюючих системах. У результаті узагальнення інформації буде розроблена удосконалена методика розрахунку конструктивних характеристик металогідридних елементів, яка дозволить створити зразки металогідридної техніки, що забезпечують перехід на якісно новий рівень технологій зберігання та переробки водню.

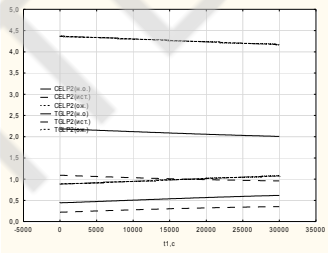
Література

1. Соловей В.В. Металлогидридная технология трансформации теплоты низкого температурного потенциала / В.В. Соловей, А.И. Васильев // Вісник Інженерної академії України. – 2014. – №4. – С. 137-144.
2. Соловей В.В., Ивановский А.И., Черная Н.А. Энергосберегающие технологии генерации и энерготехнологической переработки водорода // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – № 2(20). – 2010. – С. 21–24.

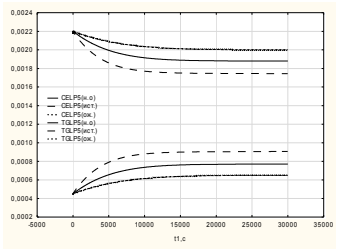
ЗМІНИ ЛІПІДНОГО ОБМІНУ В КРОВІ ЛЮДИНИ ПІД ДІЄЮ ЗАБРУДНЕНЬ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Щекатоліна С.А., к.т.н., доц.., Жарюк В.М., аспірант
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Життя на землі визначається природними умовами землі. Людський організм не може не реагувати на зміну умов свого існування під впливом забруднень. Забруднення повітря, води і грунту призвели до численних змін процесів життєдіяльності організму. Робота присвячена змінам, що відбуваються в системі ліпопротеїнів (ЛП), які пов'язані з процесами обміну ліпідами між ліпопротеїнами низької і високої щільності[1, 2].



А)



Б)

Рис.1 Вплив ліпідного стану організму і рівня білка СЕТР в кровотоці на обмін ліпідами в випадку p_r = 0.0005 для LP_2 (неокислений ЛПНЩ) і LP_5 (окислений ЛПНЩ).
А) Неокислені ліпіди ЛПНЩ: - Виснажений організм; - Нормальний організм; - Ожиріння;
Б) Окислені ліпіди ЛПНЩ: - Виснажений організм; - Нормальний організм; - Ожиріння;

У плазмі крові нормально-ліпідної людини приблизно 70% холестерину знаходяться в вигляді ефірів холестерину (СЕ). СЕ нерозчині в воді і знаходяться в корі частинок ЛП. В ході зворотного транспорту холестерину (ЗТХ) вільний холестерин на поверхні ЛПВЩ (ліпопротеїнів високої щільності) перетворюється в СЕ за допомогою LCAT (лецитин-холестеринової ацилтрансферази). У корі ЛПДНЩ (ліпопротеїнів дуже низької щільності) СЕ переносяться від ЛПВЩ і з гепатоцитів при утворенні ЛПДНЩ в печінці. ЛПНЩ віддає частину своїх СЕ і при такій деліпідізації в кровотоці перетворюється в ЛППП (ліпопротеїни проміжної щільності), а потім в ЛПНЩ. У присутності деяких плазмових ліпопротеїнів

CETP (білків-переносників ефірів холестерину) і PLTP (білків-переносників фосфоліпідів) відбувається обмін ліпідами між ЛПДНЩ від ЛПВЩ і ЛПНЩ, а також відбувається обмін ліпідами між ЛПВЩ і іншими ЛП [3].

Ми розглядаємо, модифікацію ЛПНЩ на первинній стадії їх окислення і тому вважаємо, що якісно процеси обміну і білки, які беруть участь в обміні, залишаються такими ж як і для неокислених ЛП, а кількісно відбувається з кілька збільшеною швидкістю.

Висновки

Таким чином, запропонована модель дозволяє врахувати зміну в ліпідному обміні в слабоокисленних ліпопротеїнів. Це може виявитися корисним при вивченні метаболізму ЛП в плазмі крові людини.

В оглядовій статті [4] детально розглянуто на основі існуючих даних in vivo і in vitro на тваринах зв'язок між окисними подіями і патогенезом, що призводить до серцево-судинних захворювань. Він відрізняє безсумнівні докази наявності окислювальних молекул в атеросклеротичних бляшках, проатерогенної активності окислення ЛПНЩ, а також збільшення виробництва внутрішньоклітинних ROS і RNS.На безпосередній зв'язок окислювальних подій з атеросклерозом вказує також вплив окислення на вазомоторну функцію і на розрив бляшки.

У даній роботі розглянуто вплив ліпідного стану організму і концентрації CETP на процеси обміну ліпідами. Розглянуто три стани організму (виснаження, нормальний організм і ожиріння).

Література

1. Kontush, J Chapman, High-density lipoproteins, *Wiles*, (2012).
2. L.K.Potter, D.L.Specher, M.C.Walker, F.L.Tobin. Mechanisln of inhibition defines CETP activity: a mathematical modem for CETP in vitro.*J.Lipid Research*, 50, 2222-2234 (2009).
3. Tall, A.1995. Plasma lipid transfer proteins. *Annu. Rew.Biochem.* 64: 235-257.
4. Pawzenbock U., Stoker R. Formation of methionine sufoxide-containing specific forms of oxidide hidh-density lipoproteins. *Biochim. Biophys. Acta*, 2005, v.1703, pp.171-181.

ШЛЯХИ ПОДОЛАННЯ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КРИЗИ УРБОСИСТЕМ УКРАЇНИ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ФЕП

Вамболь С.О., д. т. н., професор
Національний університет цивільного захисту України
Сичікова Я.О., канд. ф.-м. н., доцент
Бердянський державний педагогічний університет

Бурхливий розвиток урбаністичних процесів призвів до формування значної кількості урбосистем, де мешкають близько 70% населення України. Розвиток і функціонування міст обумовили загострення екологічних проблем. На сьогодні немає системи принципів і способів організації дослідження процесів підвищення екологічної безпеки урбосистеми [1]. Значною мірою це обумовлено міждисциплінарним характером досліджень і необхідністю використовування системного підходу до розробки й упровадження енергоефективних енергозберігальних технологій. Аналіз сучасного стану екологічної ситуації України демонструє тенденцію до погіршення. Стрімкі темпи сучасного технологічного розвитку обумовили значне збільшення споживання енергетичних ресурсів. З іншого боку, Україна забезпечує свої потреби в енергетиці лише на 70%, тобто є енергозалежною державою. Щодо ресурсного забезпечення вирішальне значення мають достатність і надійність забезпечення електрикою і теплом зростаючих потреб господарства і населення, щодо якості життя – екологічна чистота виробництва енергії [2]. Проблеми енергетики є ключовими глобальними проблемами сучасності, від характеру вирішення яких прямо залежать не тільки побудова глобальної економіки всього світу і стратегій розвитку держав, а й подолання екологічної кризи. Звідси випливає актуальність пошуку альтернативних способів забезпечення людства енергією.

Найбільш перспективним методом нетрадиційної енергетики виступає фотоелектричний метод перетворення сонячної енергії завдяки наявним перевагам: 1) пряме перетворення енергії світлових квантів в електричну; 2) різноманіття елементарної бази для створення сонячних елементів; 3) можливість створення модульних систем різної потужності; 4) можливість використання концентрованого сонячного випромінювання; 5) безшумність; 6) простота експлуатації; 7) екологічність тощо.

Широкому застосуванню фотоелектричних перетворювачів перешкоджають, передусім, висока вартість технологій одержання монокристалічних плівок кремнію і полікомпонентна технологія багатошарових напівпровідникових структур [3 – 5]. Саме недосконаліть технології створення ФЕП та їх низький ККД є основним стримуючим фактором глобальної заміни традиційної енергетики на відновлювальну. Тобто існує потреба у розробці інноваційних технологій, що здатні підвищити ККД та інші електрофізичні характеристики сонячних панелей.

Основою найпоширеніших на сьогодні комерційних фотоелектричних пристроїв є твердотільні монокристалічні кремнієві сонячні елементи з p-n-переходами [3]. На даний час широкого поширення отримали 3 види фотоелектричних перетворювачів та сонячних батарей на їх основі: ФЕП на основі монокристалічного кремнію; ФЕП на основі полікристалічного кремнію; тонкоплівкові ФЕП на основі аморфного кремнію (у вигляді тонкої плівки Si).

Підвищення ККД ФЕП на основі кремнію чи інших напівпровідників можливе за рахунок зменшення коефіцієнту відбиття фотоприймаючої поверхні. При попаданні на поверхню фотоелектричного перетворювача сонячного випромінювання частина його відбивається. Зі зменшенням коефіцієнту відбиття збільшиться кількість фотоактивних фотонів, що поглинаються ФЕП. Відповідно збільшиться й кількість електричної енергії, що виробляється сонячною панеллю. Наведений принцип можливо реалізувати за рахунок наноструктурування поверхні напівпровідника. Наявність мікрорельєфу на поверхні напівпровідника істотно впливає на електричні, механічні та оптичні властивості цієї поверхні.

Для експерименту використовували набори пластин кремнію з орієнтацією поверхні (100) і травники на основі плавикової кислоти. Зразки монокристалічних відполірованих пластин використовувалися у якості еталону для оцінки впливу часу травлення на коефіцієнт відбиття при різних довжинах хвиль випромінювання. Наноструктурування проводили методом селективного електрохімічного травлення у фторопластовій комірці з платиною на катоді [6]. Час травлення обирався у діапазоні (5 – 25) хв. Визначення коефіцієнту відбиття поверхні досліджуваних зразків при різних довжинах хвиль випромінювання здійснювалося на пристрої ФВ-1.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що коефіцієнт відбиття зменшується зі збільшенням часу травлення. Так, для довжини хвилі 750 мкм коефіцієнт відбиття поверхні монокристалічного кремнію складає 24%, для пластин, час текстурування яких 10 хв – 20%, 15 хв – 18%, 20 хв – 15%. Майже незмінним залишився коефіцієнт відбиття пластин, що проходили електрохімічну обробку протягом 5 хв (23%). Аналогічні результати були отриманні і для інших довжин хвиль.

Зменшення коефіцієнту відбиття поверхні нанотекстурованних пластин кремнію відбувається за рахунок формування пірамідальних кластерів на поверхні напівпровідника, різний нахил граней якого забезпечують поглинання світу у широкому діапазоні довжин хвиль. Крім того, під час електрохімічної обробки кристалів, на поверхні формується розгалужена система пор, у отворах яких «застрягають» промені світла. У цьому випадку пора являє собою модель чорного тіла.

Отримані результати свідчать про ефективність використання методу текстурування пластин монокристалічного кремнію для фотоелектричних перетворювачів енергії. Зменшення коефіцієнту відбиття поверхні напівпровідникових пластин дозволить значно підвищити ККД сонячних перетворювачів енергії, що стане підґрунтям для вирішення енергетичних та екологічних проблем українського суспільства.

Література

1. Вамболь С.А. Системы управления экологической безопасностью, которые используют многофазные дисперсные структуры : [монография] / С. А. Вамболь; Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского "Харьк. авиац. ин-т". – Харьков : НАКУ «ХАИ», 2013. – 204 с.
2. Tibude V. Hybrid Energy Storage System consisting Solar Panel – Battery – Super capacitor for improving the performance of Electric Vehicles / Vrinda Tibude, Sneha Tibude // IJISET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. – 2016. – Vol. 3 (1). – p. 217–221.
3. Dubey R. S. Electrochemical Fabrication of Porous Silicon Structures for Solar Cells / R. S. Dubey // Nanoscience and Nanoengineering. – 2013. – №1. – С. 36–40.
4. Petermann J. H. 19% Efficient Thin-Film Crystalline Silicon Solar Cells From Layer Transfer Using Porous Silicon: A Loss Analysis by Means of Three-Dimensional Simulations / Jan Hendrik Petermann, Tobias Ohrdes ; Pietro P. Altermatt ; Stefan Eidelloth // IEEE Transactions on Electron Devices. – 2012. – Vol. 59 (4). – p. 909–917.
5. Al-Hamdani A.H. Enhancement of Solar Cell Performance Based On Porous Silicon / A.H. Al-Hamdani, M. Qasim, K.S. Rida, A. Kadhim // Journal of Nanoscience and Technology. – 2016. – Vol. 2(2) – p.73–75.
6. Сычикова Я.А. Ресурсо- и энергосберегающие технологии на основе наноструктурированного кремния / Я.А. Сычикова // Альтернативная енергетика и екология. – №19 (183). – 2015. – С. 136–141.

ОКРАСКА ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ ПРОТИВОПРИГАРНЫМИ НАНОПОРОШКОВЫМИ КРАСКАМИ С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА

[1, 2]Крушенко Г.Г., докт. техн. наук, профессор,
[2]Двирный В.В., докт. техн. наук, профессор, [2]Решетникова С.Н., канд. техн. наук.
[1]Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск
[2]Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск

Запатентованы составы противопригарных покрытий, содержащих нанопорошки тугоплавких химических соединений, окраска которыми рабочих поверхностей песчано-глинистых форм и стержней,
Предотвращает образование пригара на поверхности стальных и чугунных отливок.
***Ключевые слова**: стальное и чугунное литье, песчано-глинистые формы и стержни, пригар, нанопорошковые противопригарные краски*

Patented anti-burn coating containing nanopowders of refractory chemical compounds, the color of which the working surfaces of sand-clay moulds and cores prevents the formation burn on the surface of steel and iron castings.
***Key words**: steel and iron castings, sand-clay moulds and cores, burn on, nanopowder anti burn-on coating*

Литейное производство занимает одно из ведущих мест в машиностроении ввиду целого ряда преимуществ перед другими технологиями изготовления деталей. Наиболее значимые из них – относительная простота технологии, позволяющая при этом получать сложные по геометрии детали («фасонное» литье), которые по этой причине невозможно изготовить никакими другими способами воздействия на сплавы, при одновременном обеспечении требуемых характеристик отливок.

При этом самый большой объем отливок по массе получают литьем в разовые песчано-глинистые формы. Однако при этом, если не применять специальных мер, то поверхность стальных и чугунных отливок, практически во всех случаях поражается так называемым «пригаром» [1], который представляет собой грубую, прочно сцепленную с телом отливки корку, состоящую из зерен формовочного материала (кварцевый песок) и цементирующего вещества – металла, проникающего в зазоры между зернами песка, [2], Среди других литейных поверхностных дефектов отливок на долю пригара приходится до 50 % [3].

Несмотря на принятие мер по предотвращению вероятности образования пригара, что осуществляется путем окраски рабочих поверхностей литейных форм и стержней (формируют в отливках полости) противопригарными красками, поверхность стальных и чугунных отливок зачастую оказывается пораженной этим дефектом. При этом следует отметить, что удаление пригара связано с большим объемом работ (обрубка, зачистка), с применением специального оборудования, значительным расходом инструмента, с потерей металла, участвующего в образовании пригара, с ухудшением экологической обстановки, а также с возникновением травматического заболевания позвоночника у обрубщиков, связанного с применением вибрационного обрубного инструмента. Кроме того, при этом поверхность отливок повреждается, и приходится выполнять дополнительные операции по ее зачистке. На машиностроительных предприятиях существуют целые участки и цехи, специализирующиеся на удалении пригара.

С целью предотвращения образования пригара нами запатентованы новые противопригарные краски [4, 5], новизна которых заключается в использовании в их составе нанопорошков (НП) тугоплавких химических соединений (оксиды, карбиды, нитриды, карбонитриды и др.) [6, 7], в результате чего в значительной степени или полностью удалось предотвратить образование пригара на стальных и чугунных отливках. При использовании таких покрытий практически полностью предотвращается образование пригара, и, как результат, повышается чистота и улучшается качество поверхности отливок, предотвращается образование газовых раковин, практически отпадает необходимость проведения обрубных и зачистных работ, и связанного с этим оборудования, включая, например, установку для электрогидравлической выбивки стержней, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда и экологическое состояние.

На первом этапе работы на основе стандартной заводской краски [8], содержащей этилсиликат негидролизованный + поливинлбутираль + ацетон + этиловый спирт, и, в качестве огнеупорного компонента – маршалит (пылевидный кварц – состоит из угловатых зерен кварца, свыше 80% из которых имеют размер меньше 0,01 мм. ρ = 2,61…2,65 г/см^3, огнеупорность 1650…1710^{0}С,), которая не обеспечивала противопригарный эффект при литье отливок из углеродистых сталей, была разработана [4 4]

краска, содержащая 18…22 масс. % НП карбонитрида титана $Ti_xC_yN_z$ взамен маршалита. $Ti_xC_yN_z$ представляет собой [9, 10] нестехиометрическое тугоплавкое соединение – твердый раствор нитрида титана TiN ($T_{пл}$ = 2950^{0}C) и карбида титана TiC ($T_{пл}$ = 3527^{0}C), объединяющее в себе все характеристики и преимущества TiN и TiC.

При окраске форм, изготовленных CO_2-процессом, краской, содержащей НП SiC, было предотвращено образование пригара на лопастях судовых гребных винтов массой 20 кг, отливаемых из стали 25Л при площади окраски полости формы, оформляющей одну лопасть с обеих сторон – 0,045 м^2 и суммарной окрашиваемой поверхности – 0,18 м^2. При литье винтов в формы, окрашенные стандартной заводской краской того же состава, но не содержащей НП SiC, толщина корки пригара на обеих сторонах лопастей составляла 12…15 мм. При окраске этим же составом рабочей поверхности изготовленного по CO_2-процессу стержня (площадь окраски – 0,052 м^2), оформляющего в отливке из стали 25Л судового двигателя "дебаланс" массой 88,6 кг длительность и трудоемкость его выбивки сократилась в три раза.

В дальнейшем работы были продолжены в направлении установления НП, который привел бы к уменьшению его расхода в покрытиях при сохранении высокого противопригарного эффекта. Таким требованиям удовлетворял недорогой и недефицитный НП оксида алюминия Al_2O_3 [5], количества которого в покрытии оказалось достаточным в пределах 1,4…3,0 %.

При окраске песчаных стержней покрытием с НП Al_2O_3 полностью исключено образование пригара на отливках:

1. Броня неподвижная; сталь 110Г13Л; масса 3,0 т; окрашенная поверхность 3,12 м^2. При окраске стандартным покрытием толщина пригара составляла 9 мм.

2. Зубчатое колесо ∅ 3,66 м; сталь 45Л3; масса 18,42 т; окрашенная поверхность 15,528 м^2. При окраске стандартным покрытием толщина пригара составляла 3 мм.

3. Изложница для литья анодов; чугун СЧ15; масса 1,08 т; окрашенная поверхность 1,03 м^2. При окраске стандартным покрытием толщина пригара составляла 6 мм.

4.. Изложница для литья конических слитков; чугун СЧИ; масса 2,86 т; окрашенная поверхность 4,5 м^2. При окраске стандартным покрытием толщина пригара составляла 3 мм.

5. Сквозная изложница; чугун СЧ15; масса 0,445 т; окрашенная поверхность 0,878 м^2. При окраске стандартным покрытием толщина пригара составляла 3 мм. (Рис. 3)

Эти краски показали также высокий противопригарный эффект при литье сложных фасонных отливок из сталей 40Л, 45Л, 110Г13Л, 110Г13Х2БРЛ и др. Трудоемкость зачистных работ при этом уменьшилась на 90…95 %.

Работа по снижению пригара с помощью противопригарных покрытий, содержащих НП Al_2O_3 была также проведена и на Алма-Атинском заводе тяжелого машиностроения. При этом в результате окраски песчаных стержней было предотвращено образование пригара на отливках «крышка редуктора» и «букса».

Установлен также высокий противопригарный эффект красок, содержащих и другие НП.

Механизм противопригарного эффекта нанопорошков заключается в следующем.

Основной эффект от применения НП происходит от значительной разницы размера частиц химических соединений (≤ 100 нм; 1 нм = 1 х 10^{-9} м) и песка формовочного (зерна кварца размером 0,14…≥ 0,28 мм) [11], из которого состоит литейная форма. Существенным фактором является и форма зерен формовочного песка (кварца), характеризующаяся «угловатостью», в связи с чем, при формовке между зернами кварца остаются зазоры. Размер частиц тугоплавких соединений, используемых в обычно применяемых стандартных красках, лежит в микрометровом интервале (например, зерна маршалита имеют размер до 0,01 мм), в связи с чем, они не могут перекрыть зазоры между зернами кварца литейной формы (согласно [12] свободное пространство между зернами составляет от 25,9 до 47,6 % от общего объема формы в зависимости от их взаимного расположения и от степени уплотнения формы), в которые и проникает жидкий металл, в результате чего на поверхности отливок образуется пригар.

При использовании в красках НП ввиду многократно меньших размеров их частиц по сравнению с зернами песка частицы НП полностью перекрывают зазоры между ними, что и препятствует проникновению в них металла, а, следовательно, и образованию пригара. Кроме того, как указывалось выше, температура плавления НП значительно превышает температуру заливки чугунов и сталей, что исключает их взаимодействие, и, в свою очередь, участие в образовании пригара. Температура плавления всех используемых НП лежит в интервале 1900…3527^{0}C, т.е. они не расплавляются при заливке в форму всех типов и марок чугунов (температура литья 1300…1510^{0}C) [13] и сталей – от углеродистых до высоколегированных (температура литья 1420…1590^{0}C).

Выводы

Применение нанопорошковых противопригарных красок для окраски рабочих поверхностей песчано-глинистых литейных форм и стержней предотвращает образование пригара на поверхности стальных и чугунных отливок.

Литература
1. Дорошенко С.П., Дробязко В.Н., Ващенко К.И. Получение отливок без пригара в песчаных формах. М. –: Машиностроение, 1978. – 206 с.
2. Берг П.П. Формовочные материалы. М. –: Машгиз, 1963. – 237 с.
3. Куманин И.Б. Вопросы теории литейных процессов. – М.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
4. А. с. СССР № 980922. Противопригарная краска для литейных форм и стержней / Г.Г. Крушенко, М.Ф. Жуков, П.А. Михалев и др. // Заявл. 13.05.81 г. № 3288960. – Бюл. – 1982. – № 46.
5. Патент РФ № 2048952. Противопригарная краска для литейных форм и стержней/ И.В. Усков. В.Ф. Пинкин, Г.Г. Крушенко и др.// Заявлено 02.12.91 г. № 5015205 – Бюл. – 1995. – № 33.
6. Крушенко Г.Г. Литейные нанопокрытия // Нанотехника, 2012. – № 2. – С. 93-97.
7. Москвичев В.В., Крушенко Г.Г., Буров А.Е. и др. Нанопопрошковые технологии в машиностроении: монография. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. – 186 с.
8. А.с. СССР № 316521. Противопригарная краска / В.С. Андрианов, Н.В. Валисовский, Н.Н. Кузьмин и др. // Завл. 06.11.1968 г. № 1281398. Бюл. 1971. – № 30.
9. Wenran Feng, Chizi Liu, Guangliang Chen, Guling Zhang, Weichao Gu, Erwu Niu, Si-Ze Yang Titanium carbonitride films on cemented carbide cutting tool prepared by pulsed high energy density plasma // Applied Surface Science, 2007. – V. 253. – P. 4923–4927.
10. D. Carole, N. Fre´ty, S. Paris, D. Vrel, F. Bernard, R.-M. Marin-Ayral Microstructural study of titanium carbonitride produced by combustion synthesis // Ceramics International, 2007. –V. 33. – P. 1525–1534.
11. Гуляев Б.Б., Корнюшкин О.А., Кузин А.В. Формовочные процессы. Л.: Машиностроение ЛО. – 1987. – 264 с.
12. Vetiska A., Bradic J., Macashek I., Slovak C. Teoreticke zaklady slevarenske technologie. vydání, 2., upravené vyd- Praha: NTL, 1976. – 320 s.
13. Справочник по чугунному литью. Под ред. Н.Г. Гиршовича. Л. –: Машиностроение. 1978. – 758 с.

СУЧАСНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ І УТИЛІЗАЦІЇ МЕДИЧНИХ ВІДХОДІВ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Арабаджи Я. А., Мішкой Ю. Є., студенти ф-ту ПЕЕтаНГТ, Цикало А.Л., д.х.н.проф., голова фірми «Гамма» інженер Косой Ю. І.
Одеська національна академія харчових технологій

Виконано детальний аналіз існуючих методів знезараження медичних відходів (МВ) з урахуванням можливостей подальшого їх використання (зокрема ,з точки зору можливості використання МВ для виготовлення нових виробів медичного або іншого призначення).

З цією метою розглянуто такі методи знезараження МВ ,як хімічне знезараження (ХЗ, реалізується шляхом впливу на МВ високотоксичних хімічних речовин:у подальшому відходи заховуються або спалюються в печах),але при цьому виникає ризик забруднення довкілля канцерогенними сполуками та ризик алергічних реакцій у медичного персоналу); автоклавування (АЗ, при цьому використовується пар з метою термічного руйнування та розкладу органічних та неорганічних складових МВ); променеві методи знезараження (ПМЗ) (зокрема ,використовується надвисокочастотне випромінювання ,НВЧ); радіаційні методи знезараження (РМЗ), які потребують значних витрат.

На основі результатів порівняльного аналізу цих методів зроблено висновок про те, що найбільш доцільним з екологічної та економічної точки зору є НВЧ – метод знезараження МВ, який є одночасно найбільш простим, надійним та економічно обгрунтованим. У порівнянні з іншими методами знезараження МВ цей метод має такі переваги: 1) витрати енергії у декілька разів нижчі, ніж у випадку використання термічних методів; 2) обробку МВ можна проводити у безперервному режимі, її легко автоматизувати; 3) цей метод є екологічно безпечним; 4) медичні відходи після знезараження цим методом можуть бути утилізовані шляхом виготовлення нової продукції, зокрема, продукції медичного призначення (в залежності від виду цих відходів).

Замість використання досить складних та коштовних в експлуатації методів ліквідування МВ шляхом спалювання або з використанням плазмових технологій, піролізу (коли можуть виникати небезпечні для людини та довкілля діоксини, хлор, фурани та деякі інші сполуки, а також пил і шлаки), доцільно здійснювати утилізацію знезаражених методом НВЧ МВ шляхом виготовлення нових виробів медичного призначення з використання існуючого практичного досвіду (наприклад, досвіду Одеської фірми «Гамма»).

ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИЙ АНАЛІЗ НЕОБХІДНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЛЕЖНОГО РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Бойченко М. С., аспірант, Вовк О. О., д.т.н., проф.
Національний університет «Київський політехнічний інститут»
ім. І. І. Сікорського

Охорона навколишнього середовища разом із раціональним використанням природних ресурсів і фармацевтичною безпекою в Україні в нестійких умовах економічного розвитку є однією з найактуальніших проблем. Складна екологічна ситуація утворюється, у тому числі, через діяльність підприємств виробництва фармацевтичної продукції, оскільки вони, як правило, мають низькі ступені захисту, перероблення, утилізації та очистки стічних вод і шкідливих викидів у повітря. Екологічна безпека є однією з найголовніших складових економічної безпеки і важливою умовою забезпечення збалансованого розвитку держави. Екологічну ситуацію в Україні на сьогодні можна охарактеризувати як кризову, що формувалася протягом тривалого періоду часу через нехтування об'єктивними законами розвитку і відтворення природно-ресурсного потенціалу країни. Неконтрольоване використання природних ресурсів, застосування екстенсивних ресурсомістких технологій, відсутність чіткої системи поводження з відходами, у тому числі й фармацевтичних, а також низький рівень екологічної свідомості суспільства сприяли нераціональному природокористуванню і зрештою призвели до значної деградації довкілля України.

Інформаційною базою для формування концепції та змістовної частини нашої праці є наукові доробки провідних вітчизняних і зарубіжних вчених у сфері формування системи забезпечення екологічної безпеки у фармації; нормативно-правова база України; комплекс міжнародних стандартів; офіційні статистичні дані Держкомітету статистики України; інформація зібрана безпосередньо на конкретному ФП; періодичні наукові видання; ресурси мережі Internet.

Аналіз опублікованих праць показав, що вона ще є недостатньо дослідженою як у теоретичному, так і в практичному аспектах. Отже, виникає необхідність у поглибленні теоретичних досліджень і методичних розробок, пов'язаних з удосконаленням механізму забезпечення екологічної безпеки виробництва та використання фармацевтичної продукції.

Головною метою праці є: теоретико-методологічне обґрунтування та практичні рекомендації для механізму забезпечення екологічної безпеки в умовах виробництва та використання фармацевтичної продукції.

Досягнення поставленої мети зумовлює необхідність вирішення таких завдань: узагальнення теоретико-методологічних принципів формування системи екологічної безпеки фармацевтичного підприємства (ФП), доповнення й уточнення понятійно-категоріального апарату з цієї тематики; обґрунтування структури та методів оцінки рівня екологічної безпеки ФП і інструментів управління нею; удосконалення механізму екологічного моніторингу фармацевтичної продукції на підставі логістичного підходу (екологістики) та оцінки життєвого циклу фармацевтичного препарату; розроблення комплексу екологічного комплаєнса ФП, формування його завдання, цілей, структури та системи показників для оцінки рівня екологічної безпеки з урахуванням фармацевтичної безпеки держави.

Гіпотезою досліджень є підвищення та забезпечення високого рівня екологічної безпеки під час виробництва та використання фармацевтичних препаратів через формування комплексу екологічного комплаєнса у поєднанні з системами екологічного моніторингу, екологістики та поводження з фармацевтичними відходами.

Об'єктом дослідження є формування системи забезпечення екологічної безпеки і впровадження комплексної системи екологічного комплаєнса ФП.

Предмет дослідження – теоретико-методологічні, методичні і практичні принципи формування комплексу екологічного комплаєнса та екологічної безпеки підприємств фармацевтичної галузі.

Особливої уваги необхідно приділити утилізації фармацевтичних препаратів.

Поводження з фармацевтичною продукцією є дуже актуальною соціальною проблемою, вирішення якої можливе за умови, насамперед, уваги на рівні держави до цієї групи відходів, створення системи управління ФВ та використання найбільш екологічно безпечних методів їх знешкодження і видалення, що нині практично відсутня в Україні. Ефективність фармацевтичних препаратів може бути визначена лише дослідженням фармацевтичних (хімічний та фізичний стан діючих речовин, оптимальне використання допоміжних речовин, вид лікарської форми та технологічних операцій і процесів) та біологічних

(фізіологічних, біохімічних) змінних чинників, кожен з яких зумовлює домінуючий вплив на окремих етапах життєвого циклу препарату, починаючи зі створення, випробовування до серійного виробництва та закінчуючи раціональним використанням і утилізацією. Усі вищезгадані фактори у сукупності уможливлюють вплив на термін придатності конкретної лікарської форми препарату.

Основними загрозами фармацевтичній безпеці в Україні є: високий рівень імпортозалежності внутрішнього ринку, низький рівень упровадження інноваційних розробок у вітчизняне фармацевтичне виробництво, недостатній рівень фізичної та економічної доступності фармацевтичної продукції, неефективність системи гарантування фармакологічної безпеки фармацевтичної продукції, загрози, пов'язані з самолікуванням та нецільовим використанням фармацевтичної продукції, недостатньо активна турбота про власне здоров'я значної частки населення України, недосконаліть системи контролю за обігом, використанням та зберіганням фармацевтичної продукції, насамперед наркотичних препаратів, непрозора конкуренція, монополізованість фармацевтичного ринку, неналежний рівень фармацевтичного забезпечення в контексті військової безпеки та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Очікувана новація наших досліджень полягає в розробленні теоретико-методологічних принципів формування комплексу екологічного комплаєнса як базису (платформи, фундаменту) для забезпечення високого рівня екологічної безпеки у процесах виробництва та використання фармацевтичних препаратів.

Відповідно розроблені в процесі наукової розвідки підходи, засоби й отримані результати, стануть концептуальною основою комплексу екологічного комплаєнса як базису для забезпечення високого рівня екологічної безпеки підприємств фармацевтичної промисловості в цілому.

ЗНЕПИЛЮВАННЯ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ У ДВОКОНТУРНІЙ КОМБІНОВАНІЙ СИСТЕМІ ОЧИЩЕННЯ

Бутенко А.Г., к.т.н., доцент; Арсірій В.А., д.т.н., проф.; Смик С. Ю., к.т.н., доцент
Одеський національний політехнічний університет

Очищення запилених газів в системах аспірації невеликих виробництв здійснюється, як правило, за допомогою недорогих і надійних інерційних уловлювачів (циклонів), основним, але дуже суттєвим, недоліком яких, є невисока ступінь уловлювання. Заміна циклонів високоефективними апаратами в таких системах не проводиться, головним чином, з економічних причин. Шляхи підвищення ефективності роботи циклонів, конструктивними методами, практично вичерпані. Разом з тим, їх ступінь уловлювання може бути істотно підвищена за рахунок зміни фракційного складу пилу, що надходить в циклон (чим більше частка в її масі великих фракцій, тим ефективніше очищення). Такий підхід реалізований у двоконтурній комбінованій системі очищення (ДКСО).

У ній захоплена зонтом маса M_3 ділиться за фракційним ознакою у роздільнику (2). З нього потік з тонкими фракціями направляється в уловлювач циркуляційного контуру (4), а потік з великими – в основний уловлювач (3) і далі в навколишнє середовище (рис. 1). Оскільки коефіцієнт уловлювання великих фракцій досить високий, то проскок пилу в основному апараті $M_o^{пр}$ є незначним. Це забезпечує екологічний ефект. Ясно, що підвищення ефективності основного уловлювача відбувається за рахунок зниження цього показника в апараті циркуляційного контуру. Однак, оскільки циркуляційний потік надходить не в навколишнє середовище, а в змішуючий апарат (1) (ежектор) і далі через роздільник знову на очистку, то величина проскоку циклону циркуляційного контуру $M_ц^{пр}$ принципового значення не має.

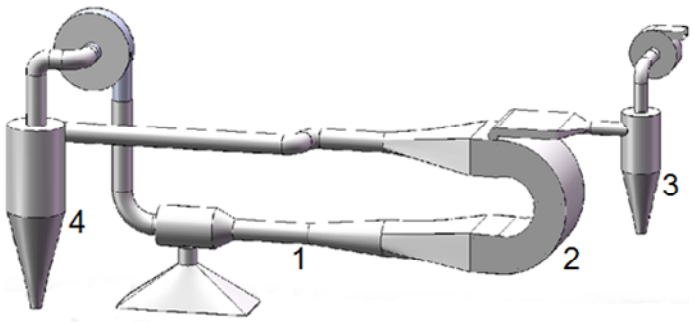


Рис. 1– Схема комбінованої системи очищення

Маса пилу, що виходить з ежектора в роздільник $M_{еж}$ є сумою захопленої маси $M_з$ і маси проскока уловлювача циркуляційного контуру $M_ц^{пр}$. Її диференційна крива розподілення (ДКР) $N_{еж,i} = f(\Delta)$ визначається сумою мас i – тої фракції, що надходить із захопленим повітрям і з потоком після уловлювача циркуляційного контуру

$$N_{еж,i} = (M_{з,i} + M_{ц,i}^{пр})100/[(M_з + M_ц^{пр})\delta\Delta].$$

Маси пилу в повітрі циркуляційного і основного каналів

$$M_ц = \eta_ц M_{еж} \text{ і } M_о = \eta_о M_{еж},$$

де $\eta_ц = \sum_{i=1}^{m} \eta_{ц,i} \frac{N_{еж,i}}{100} \delta\Delta$ і $\eta_о = \sum_{i=1}^{m} \eta_{о,i} \frac{N_{еж,i}}{100} \delta\Delta$ – коефіцієнти поділу (частки маси пилу, що надходять з роздільника в циркуляційний контур і в основний канал). ДКР цих мас

$$N_{ц,i} = \eta_{цi} N_{еж,i} \text{ і } N_{о,i} = \eta_{оi} N_{еж\,i}.$$

В циклоні циркуляційного контуру вловлюється секундна маса

$$M_ц^{ул} = \eta_ц^{ул} M_ц,$$

де $\eta_ц^{ул} = \sum_{i=1}^{m} \eta_{цi}^{ул} \frac{N_{ц,i}}{100} \delta\Delta$ – коефіцієнт уловлювання апарату.

Маса проскоку

$$M_ц^{пр} = M_ц - M_ц^{ул} = M_ц (1 - \eta_ц^{ул}).$$

Її ДКР $N_{ц,i}^{пр} = (1 - \eta_{ц,i}^{ул}) N_{ц,i}.$

В основному циклоні вловлюється маса

$$M_о^{ул} = \eta_о^{ул} M_о,$$

де $\eta_о^{ул} = \sum_{i=1}^{m} \eta_{о,i}^{ул} \frac{N_{о,i}}{100} \delta\Delta$ – коефіцієнт уловлювання апарату.

Проскок основного циклону

$$M_о^{пр} = M_о - M_о^{ул} = (1 - \eta_о^{ул}) M_о.$$

Динаміку зміни показників системи у часі у цілому та її окремих елементів можна показати на прикладі ДКСО, розрахованої для знепилювання аспіраційного повітря з приміщення подрібнення будівельних матеріалів ТОВ «Енергосервіс».

Були розраховані два режими роботи системи – режим аспірації та режим вибігу (вибіг потрібен для самоочищення системи від дрібнофракційного пилу циркуляційного контуру). Відрізок часу режиму аспірації, коли параметри змінюються, – розгінний період, а час, протягом якого параметри практично сталі, – період стабілізованої роботи.

Результати розрахунків показали, що головний показник системи – коефіцієнт уловлювання основного циклона протягом розгінного періоду (на рис. 2 перші двадцять циклів роботи системи, n = 1… 20) змінюється від 0,98 до 0,96 і далі ця величина практично є сталою. Циклом вважається час проходження газового потоку вздовж циркуляційного контуру.

При переході системи до режиму вибігу (n = 21… 35) припиняється живлення системи крупнофракційним пилом, що йде від джерела. Тому, по-перше, різко знижується маса, що виходить із ежектора на апарат розділення, а по-друге, відбувається перерозподіл маси між циклонами циркуляційного й основного очищення – приблизно 90 % надходить у циркуляційний контур і тільки 10 % – на циклон основного контуру.

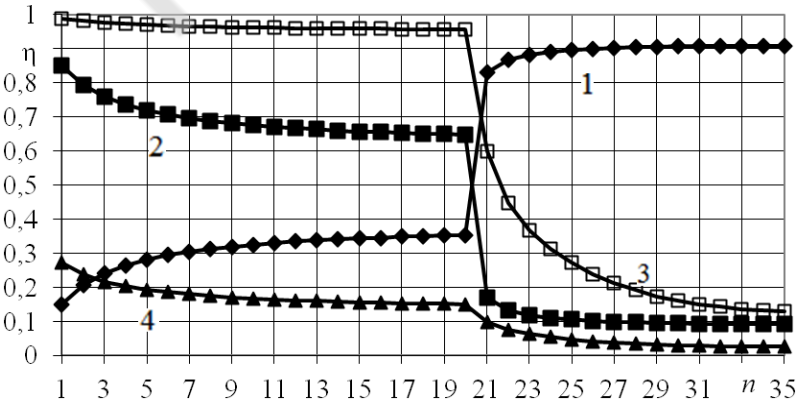


Рис. 2 – Зміна ефективності елементів системи очищення: 1 – коефіцієнт розподілу на вловлювач циркуляційного контуру ($\eta_ц$); 2 – коефіцієнт розподілу на вловлювач основного очищення ($\eta_о$); 3 – коефіцієнт уловлювання основного циклона ($\eta_о^{ул}$); 4 – коефіцієнт уловлювання циклона циркуляційного контура ($\eta_ц^{ул}$)

Досвід впровадження ДКСВ для очищення повітря, що відбирається з приміщення дроблення будматеріалів показав, що заміна звичайної прямоточною схеми, в якій використовувався циклон з розрахунковою ефективністю уловлювання 0,755, дозволило досягти $\eta_o^{ул} = 0,96$. Отже, викиди знизилися приблизно у 5 разів.

Висновки

Таким чином, заміна звичайної (прямоточної) схеми очищення повітря на двоконтурну комбіновану забезпечить багаторазове зниження маси пилу, що викидається в атмосферу. Модернізація звичайної схеми на комбіновану не вимагає значних витрат, а її експлуатація – спеціальної кваліфікації персоналу. ДКСО може використовуватися для підвищення ефективності очищення повітря невеликих об'єктів, установка дорогих уловлювачів на яких або економічно не обґрунтована, або неможлива з технологічних причин.

ВИЗНАЧЕННЯ РТУТНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА ЗАЛЕЖНО ВІД МІСЦЬ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Дмитруха Т.І., к.т.н., доцент, Петрусенко В.П., к.т.н.
Національний авіаційний університет, м. Київ

Через кризові явища у світовій енергетиці, що різко виявилися в останні десятиріччя, швидке зростання вартості енергоносіїв, людство змушене інтенсивно розробляти і застосовувати повсюдно нові енергозберігаючі технології. Більше того, енергозбереження у багатьох країнах, у тому числі і в Україні, на законодавчому рівні стало одним із самих пріоритетних напрямків державної політики.

Майже всі сучасні джерела світла – електричні. За середньостатистичними даними у розвинутих країнах освітлення виробничих підприємств, житлових і громадських будівель та відкритих зон в наш час від 50 до 80% світової енергії, яка генерується штучними джерелами світла забезпечують ртутні лампи. Для приведення їх у дію, потрібна витрата дуже великої кількості енергоносіїв. Отже, вже сама експлуатація будь-яких електричних джерел світла, як зі вмістом ртуті, так і без неї, навіть за умови збереження їх цілісності, супроводжується викидами ртуті, що зумовлено згорянням палива на теплових електростанціях. І якщо лише третина електроенергії виробляється за рахунок спалювання кам'яного вугілля, середній вміст ртуті в якому, як відомо, складає $5\cdot 10^{-7}\ldots10^{-6}$ частки маси вугілля, то частка маси ртуті, яка зумовлена експлуатацією джерел світла перебільшує щорічно 50 – 100 т. А це на цілий порядок більше її кількості, що витрачається на виготовлення всіх розрядних ламп, з застосуванням яких у наш час у світі вже створюються біля 80% світлової енергії.

Як відомо, незруйновані (нерозгерметизовані) розрядні джерела світла зі вмістом ртуті є абсолютно безпечними для людей, проте дуже часто певна частка розрядних джерел світла руйнується саме у приміщеннях поряд із працюючими: під час ремонту приміщень, заміни ламп на нові, під час стихійного складування ламп у підвалах та на складах. І хоча маса ртуті безпосередньо в розрядних джерелах світла є порівняно невеликою, небезпека від можливих руйнувань цих джерел світла, а особливо люмінесцентних ламп, яких нараховуються мільйони і які застосовуються переважно у виробничих приміщеннях, може у багато разів перебільшувати небезпеку від потрапляння ртуті за межі населених людьми місць в результаті спалювання твердого палива для забезпечення їх електричною енергією. Певна частка розрядних джерел світла руйнується також через необережність і просто недбалість поводження з ними, низьку ефективність системи утилізації і нерідко майже повну безвідповідальність за порушення правил поводження з джерелами світла зі вмістом ртуті. Все це також дуже збільшує рівень ртутної небезпеки розрядних джерел світла зі вмістом ртуті і він, як зрозуміло, буде дуже залежати від того, де і в яких конкретних умовах ці джерела світла будуть експлуатуватися, зберігатися, яким чином і коли утилізуватися.

Отже, з одного боку, розрядні джерела світла зі вмістом ртуті, що застосовуються на сьогоднішній день, завдяки енергозберігаючим властивостям, значно зменшують кількість викидів ртуті, пов'язаною з їх експлуатацією, а з іншого – є потенційними джерелами навіть значної локальної ртутної небезпеки для працівників, особливо у разі накопичення великої кількості джерел світла зі вмістом ртуті у виробничих та інших приміщеннях.

Для отримання співвідношень, які б об'єктивно характеризували негативний вплив різних джерел світла зі вмістом ртуті на людину, доцільно виходити з різних за наслідками ступенів небезпеки для людини частки ртуті, що виділяється зі зруйнованих джерел світла (θ_3), і частки енергетичної частки ртуті (θ_e). При цьому під ступенем небезпеки частки ртуті зі зруйнованих джерел світла θ_3 можна розуміти, наприклад, стосовно працюючих, кількість людей, здоров'ю яких нею за даних умов ймовірно буде нанесена певна

шкода. Величина θ_e відповідно визначає шкоду частки ртуті, яка розповсюджується в результаті згоряння палива.

Таким чином, за допомогою величин θ_3 і θ_e можна оцінювати вплив джерел світла на рівень небезпеки певної території щодо ртуті, який, зокрема, можна оцінювати як нульовий, перший, другий чи інший. Відповідно відношення θ_3/θ_e буде визначати у скільки разів ртуть, що виділяється у певних умовах безпосередньо з джерел світла, є небезпечнішою за енергетичну частку ртуті, що виділяється, зокрема, за межами населених територій в результаті енергозабезпечення джерел світла. Використання саме відносної величини θ_3/θ_e є набагато зручнішим і значно спрощує отримання необхідних практичних висновків.

Урахуємо також і ймовірність руйнування певної кількості джерел світла зі вмістом ртуті до початку і в процесі роботи (*s*). Кількість неутилізованої ртуті, що виділяється у повітря на виробництві під час виготовлення джерел світла і обладнання для них, будемо враховувати разом, оскільки їх небезпечні наслідки аналогічні. Енергетичні складові ртуті також будемо враховувати разом, оскільки і їх небезпечні наслідки аналогічні.

Таким чином,

$$\lambda_ш = \frac{k_ш}{k_{ш_б}} = \frac{\left\{m_0'\left[1-(\alpha-s)\right]+m_в\right\}\theta_з + \theta_e q\left(W_{ел}+W_в\right)}{\theta_e q\left(\frac{\eta}{\eta_б}W_{ел}+W_{в_б}\right)} = \frac{\left\{m_0'\left[1-(\alpha-s)\right]+m_в\right\}\frac{\theta_з}{\theta_e} + q\left(W_{ел}+W_в\right)}{q\left(\frac{\eta}{\eta_б}W_{ел}+W_{в_б}\right)}. \quad (1).$$

Величина, яка за змістом буде являти собою відношення величин, які характеризують ступінь шкідливості (небезпеки) джерел світла зі вмістом ртуті і загальну користь цих джерел світла за термін експлуатації, називається коефіцієнтом рівня ртутної небезпеки джерел світла зі вмістом ртуті.

Отже, коефіцієнт рівня ртутної небезпеки джерел світла зі вмістом ртуті визначається співвідношенням:

$$k_ш = \frac{\left\{m_0'\left[1-(\alpha-s)\right]+m_в\right\}\theta_з + \theta_e q\left(\int\limits_0^{\tau_{ек}} P(\tau)\,d\tau + W_в\right)}{\int\limits_0^{\tau_{ек}} \Phi(\tau)\,d\tau} = \frac{\left\{m_0'\left[1-(\alpha-s)\right]+m_в\right\}\theta_з + \theta_e q\left(W_{ел}+W_в\right)}{W_{св}} \quad (2).$$

Для більш точної оцінки ймовірного впливу джерел світла зі вмістом ртуті на людей аналогічним чином можна врахувати значно серйознішу небезпеку джерел світла зі ртуттю, що руйнуються безпосередньо в приміщеннях, порівняно з тими, які руйнуються за їх межами (на подвір'ях, смітниках і т. ін).

Висновки

Таким чином, отримані аналітичні залежності для оцінки рівнів ртутної небезпеки різних типів джерел світла, що містять ртуть, дозволяють оцінювати рівень ртутної небезпеки джерел світла зі вмістом ртуті залежно від умов, в яких вони працюють, транспортуються, зберігаються і яким чином утилізуються.

Отримані аналітичні залежності для оцінки рівнів ртутної небезпеки різних типів джерел світла, що містять ртуть, дають можливість за даних умов і рівня вимог до енергозбереження зменшити негативний вплив джерел світла зі вмістом ртуті на людину та довкілля.

ВИКОРИСТАННЯ ВОДОРОСТЕЙ ДЛЯ ДООЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Свіржевський Олег, студент факультету ПЕЕтаНТ, к.х.н., доц. Кіріяк А.В.
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Забруднення поверхневих джерел, не якісно очищеними стічними водами, є однією з найгостріших проблем в збережені екосистеми. Діючі очисні споруди, в результаті зміни життєдіяльності людини, потребують наступного доочищення стічних вод, або повної модернізації діючих очисних споруд, так як після очищення ряд забруднень перевищують допустимі концентрації для скидання в поверхневі джерела. Проте сучасна практика доочищення в Україні не є на високому рівні. Тільки в 9 адміністративних регіонах

держави перед скидом стоків у водойму проводиться їх додаткове очищення. Проте навіть в цих регіонах об'єм доочищуваних стоків не перевищує 1-6%.

Бактерії та водорості є найважливішим компонентом системи біологічного дооочищення стічних вод. Процеси бактеріального біосинтезу є основними біологічними процесами, що забезпечують доочищення побутових і промислових в біологічних ставках. Масовий розвиток водоростей у біологічних ставках забезпечує вилучення біогенних елементів, головним чином, азоту і фосфору, запобігаючи процесу евтрофікації водойм. Виділяючи кисень в процесі фотосинтезу, водорості забезпечують бактеріальне окиснення різноманітних органічних полютантів.

Культивування зелених водоростей на побутових стічних водах забезпечує зниження мінеральних форм азоту на 80-90% і фосфору на 50-90%. Вирощування хлорококових водоростей на стічних водах забезпечує збільшення швидкості очищення останніх від нафтопродуктів (на 40-90%), фенолу, роданідів, ціанідів, H_2S, а також збільшенню швидкості відмирання патогенних мікроорганізмів, осадження йонів Ca^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mg^{2+} (зменшення жорсткості води). Зелені водорості вилучають 50-96% PO_4^{3-} при їх концентрації 10-20 мг/л протягом 2-3 діб.

Існує метод знезараження стічних вод шляхом внесення в них суміші штамів водоростей: на кожні 25м^3 стічних вод – 300 мг біомаси водоростей. Протягом 5-11 діб концентрація бактерій знижується на 99%. Можливість використання водоростей спільно з активним мулом для очищення стічних вод вивчалась при їх вирощуванні у неперервно діючих аеротенках-змішувачах місткістю 3 л. Час аерації – 8-24 год. У дослідах використовувалась стічна вода виробництва аніоніта, яка містила метанол, етилендіамін. У якості біогенних елементів у виробничий стік вводили аміачну селітру (15 мг/л нітрогену) і калій фосфат (3 мг/л фосфора). Величина pH підтримувалась у межах 6,5-8,5. Джерелом забруднення слугував активний мул. У аеротенки вводили культуру водоростей Scenedesmus acuminatus (3 млн кл./мл). При такому навантаженні аеротенки працювали 3 місяці. У дослідах максимальна кількість клітин водоростей склала 13-16 млн кл./мл, після чого приріст біомаси не відмічено. Муловий індекс склав величину 60-180 см^3/г. Відбувалося інтенсивне окиснення органічних речовин і зниження вмісту біогенних елементів. У дослідних аеротенках відсоток очищення по ХСК склав 68,5-91,7, по метанолу – 64,8-98,3, в контролі – відповідно 64,0 – 82,7 та 64,0-85,6. Вміст амонійного нітрогену в аеротенках з водоростями знизився на 94,9-97,1 %, в аеротенках без водоростей – 80,6 – 89,1 %.

Отже, присутність водоростей в лабораторних аеротенках сприяє посиленню процесів очищення досліджуваних стічних вод.

Література

1. Використання біологічних ставків з вищими водяними рослинами в практиці очищення стічних вод // Інформаційний бюлетень Держбуду – Київ, 2002. № 4. – С. 38.
2. Dunbabin J.S., Bowner K.H. Potential use of constructen wetlands for treatment of industrial wasterwaters containing mettals // Sci. Total. Environ. – 1992. – 111, № 2/3. – P. 5660.
3. Тимофеева С.С. Биотехнология обезвреживания сточных вод // Химия и технология воды, 1995. – Т.17, № 5. С. 525532.
4. Биоплато – эффективная малозатратная экотехнология очистки сточных вод / Стольберг В.Ф., Ладыженский В.Н., Спирин А.И. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2003. №3. – С.3234.
5. Ладыженский В.Н., Саратов И.Е. Защита водных объектов от загрязнения поверхностным стоком с территории полигонов ТБО. – 1ая Конференция с международнім участием «Сотрудничество для решения проблемы отходов», 2004 г., Харьков, Украина.

СМІТТЯ АТАКУЄ ОДЕСУ? ВІДСОРТУЄМО ЙОГО!

Крусір Г.В., д.т.н., проф., Поліщук І.С., магістр факультету ПЕЕтаНГТ
Одеська національна академія харчових технологій м. Одеса

Одеса - велике місто на півдні України, з майже мільйонним населенням. Тут зосереджено безліч різних підприємств - хімічних, машинобудівних і обробних. Як результат - в місті постійно генерується величезна кількість сміття, рідких і твердих побутових відходів. У літній період року, коли до Чорного моря приїжджають тисячі туристів, проблема зі сміттям в Одесі загострюється ще більше. Зношеність і низький якісний рівень основних виробничих фондів обумовлює високу ресурсомісткість виробництва, а застаріла технологічна база приводить до утворення великої кількості відходів.

Гострою проблемою міста залишається утилізація твердих побутових відходів. В Одесі щодня утворюється 1300-1700 т сміття, однак сформована система знешкодження ТПВ не відповідає нормативним вимогам і створює умови для епідеміологічної нестабільності. Смітник у Дальницьких кар'єрах (5-6 км від міської межі) і смітник у колишньому кар'єрі цементного заводу (в міській межі) давно вийшли із терміну експлуатації і є перевантаженими. На обох полігонах відзначаються порушення технології складування й ізоляції сміття, тому обидва полігони є постійними джерелами забруднення навколишнього природного середовища.

Станом на початок 2015 року, несанкціоновані сміттєзвалища були виявлені у всіх районах міста. Найбільша з них - розташована в Київському районі, якраз на приморських схилах. Всього ж в Одесі сміттєвими відходами покрито майже 20 000 квадратних метрів території! Недосконалість міської системи каналізації може призвести до того, що шкідливі токсичні речовини з цих звалищ будуть потрапляти безпосередньо в море, провокуючи спалахи небезпечних інфекційних захворювань.

Як же вирішити «сміттєве» проблему в Одесі? На сьогоднішній день в світі існує три основні способи утилізації побутових відходів - поховання, спалювання, а також вторинна переробка сировини.

Перший спосіб, здавалося б, дуже підходящий: підземні звалища не помітні, і нікому не заважають. Однак захоронення під землю відходи сильно забруднюють грунти. Такий грунт вже ніколи не буде придатний ні для сільського господарства, ні для будівництва. Метод спалювання сміття, як попереджають екологи, може призвести до виділення в атмосферне повітря великої кількості токсичних речовин, тому застосовувати сміттєспалювальні установки у великому, та ще й курортному, місті - не можна. Тому, найоптимальнішим варіантом для великих міських поселень є сортування та подальша вторинна переробка відходів на спеціальних заводах.

Сьогодні технології дозволяють переробляти і макулатуру, і скло, і ПЕТ-пляшки, і будь-яку пластмасу (чи це каністри, чи баночки від миючого засобу). В Україні є підприємства, які усе це приймають, миють, гранулюють і пускають на повторну переробку. Що ж стосується харчових відходів, то їх можна використовати на біогаз.

Перевагами роздільного способу сортування сміття є:

— скорочення обсягів відходів, які потрапляють на захоронення;

— повторне використання матеріалів, сортування побутових відходів відповідає світовим підходам у поводженні зі сміттям, а саме, сприяє запобіганню їхнього надмірного утворення, повторному (багаторазовому) використанню вторинної сировини, утилізації та безпечному розміщення;

— заощадження коштів для суспільства;

— створення нових робочих місць в галузі збирання, сортування та переробки відходів та поліпшення стану довкілля, а також зниження ризику для здоров'я жителів міста.

Разом з тим, існує безліч факторів, які гальмують вирішення даної проблеми. Серед них можна виділити:

— економічно-фінансові (недостатність фінансування);

— технічні (відсутність відповідної техніки, євро контейнерів тощо);

— юридичні (відсутність нормативної бази для забезпечення сортування твердих побутових відходів);

— соціально-культурні (байдужість населення до навколишнього середовища, не усвідомлення глибини екологічної кризи).

Однак, з перелічених вище факторів, основним є саме соціально-культурний. Адже, залучивши фінансові, технічні, юридичні ресурси та важелі, але не подолавши байдужого, а інколи навіть негативного відношення громадян до навколишнього середовища, ситуацію корінним чином змінити не можливо. Тому основною ідеєю при розробці проекту роздільного збору твердих побутових відходів є активізація громадськості, органів місцевого самоврядування щодо докорінної зміни відношення громадян до впровадження нової системи збору твердих побутових відходів шляхом роздільного збору за допомогою євро контейнерів та формування екологічної свідомості серед учнівської молоді.

Впровадження заходів по підвищенню свідомості членів громади, в тому числі дітей та підлітків, у поводженні з твердими побутовими відходами, широке інформування населення міста про переваги роздільного збору твердих побутових відходів та перспективи його впровадження, визначення раціональних, максимально доступних місць для встановлення євро контейнерів для роздільного збору побутових відходів дадуть змогу грамотно організувати роздільне сортування твердих побутових відходів, 70% з яких можна зібрати і пустити на переробку.

Розробка проекту поводження з відходами та формулювання конкретних завдань забезпечить створення в Одесі екологобезпечної, ресурсозберігаючої системи поводження з усіма видами відходів. Ідеться про те, щоб запобігти або звести до мінімуму утворення відходів на підприємствах міста, технічно й економічно доцільно використовувати відходи виробництва та споживання на міських підприємствах. А

крім того удосконалити систему поводження з побутовими відходами, екологічно убезпечити поховання відходів, які не можуть бути перероблені іншим шляхом і як наслідок, знизити або не допустити негативного впливу відходів та місць їх розміщення на навколишнє природне середовище в межах міста.

УДК 504.05

МЕДИЦИНСКИЕ ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОГО СЕКТОРА АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ УКРАИНЫ

Панченко Т.И., аспирантка; Сафранов Т.А., д.г.-м.н, проф.
Одесская академия пищевых технологий, г. Одесса

Оптимизация системы обращения с медицинскими отходами в регионах Украины. Выделение опасных медицинских отходов в потоке комунально-бытового сектора.
Ключевые слова: *медицинские отходы, комунально-бытовой сектор, система обращения.*

Optimizing the management system of medical waste in the regions of Ukraine. Separation of hazardous medical waste in a stream of communal - household sector.
Keywords : *medical waste , communal - household sector , the treatment system .*

Общий поток твердых бытовых отходов (ТБО) складывается из легкоразлагающихся органических отходов, крупногабаритных отходов, потенциальных вторичных ресурсов (отходов контейнерного сбора) и опасных отходов [1]. Среди опасной составляющей ТБО особое место занимают медицинские отходы (МО). В России и Украине и многих странах постсоветского пространства нет законодательно закрепленного понятия «медицинские отходы». Согласно Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением (1989) к этой категории опасных отходов относятся: отходы, полученные в результате врачебного ухода за пациентами в больницах, поликлиниках и клиниках; отходы производства и переработки фармацевтической продукции; ненужные фармацевтические товары, лекарства и препараты.

Система обращения с МО в регионах Украины в настоящее время далека от совершенства. Для выбора наиболее приемлемых методов обращения с МО необходимо их классифицировать, что является важной предпосылкой для формирования системы управления и обращения с различными МО.

По разным оценкам в регионах Украине ежегодно образуется 350-400 тыс. тонн МО, которые генерируются не только в ЛПУ гуманитарного и ветеринарного профиля, но и в объектах коммунально-бытового сектора (КБС). Детальных исследований по оценке количества МО в потоке отходов КБС не проводились, поэтому говорить об их доле в составе ТБО, можно говорить только предположительно. Подходы к обращению с абсолютным большинством МО всех регионов Украины такие же, как и к ТБО, которые размещаются на 7 тыс. свалках и полигонах в разных регионах Украины, охватывая общую площадь более 10 тыс. гектаров. Если исходить из того, что в ЛПУ образуется лишь 1% от количества всех ТБО, то с учетом того, что ежегодно в Украине образуется около 13 млн. тонн ТБО, количество МО может составить 130 тыс. тонн в год. Поскольку около четверти населения не охвачены услугами по удалению ТБО, то существует множество несанкционированных свалок мусора. С учетом рассредоточенности МО в составе ТБО возникает угроза санитарно-эпидемиологическому состоянию во многих регионах Украины. В связи с этим классификация МО и разработка системы обращения с ними в регионах Украины является очень актуальной проблемой.

В настоящее существует несколько классификаций МО. Одна из классификаций рекомендована ООН и базируется на степени опасности (токсичности) веществ, входящих в состав МО: окисленные вещества; ядовитые вещества; инфекционные вещества. В СанПиН 2.1.7.728-99 [2] отходы лечебно-профилактических учреждениях (ЛПУ) по степени их эпидемиологической, токсикологической и радиационной опасности выделяют пять классов опасности: А – неопасные отходы; Б - опасные (рискованные) отходы; отходы ЛПУ; В - чрезвычайно опасные отходы; Г - отходы, по составу близкие к промышленным; Д - радиоактивные отходы ЛПУ. В СанПиН 2.1.7.2790-10 [3] МО в зависимости от степени их эпидемиологической, токсикологической и радиационной опасности, а также негативного воздействия на среду обитания человека выделяют также пять классов опасности: А - эпидемиологически безопасные отходы, приближенные по составу к ТБО; Б - эпидемиологически опасные отходы; В - чрезвычайно эпидемиологически опасные отходы; Г - токсикологически опасные отходы; Д -

радиоактивные отходы. М.Г. Проданчук и др. [4] также разделяют МО на пять классов (А - эпидемиологически безопасные отходы, приближенные по составу к ТБО; Б - эпидемиологически опасные отходы; В - чрезвычайно эпидемиологически опасные отходы; Г - токсикологически опасные отходы; Д – радиоактивные отходы), но их морфологический состав несколько отличается от данных, приведенных в [3]. Нами предлагается выделять медицинские отходы ЛПУ гуманитарной и ветеринарной медицины, отходы КБС [5], и в зависимости их эпидемиологической опасности и состава обосновывать принципы обращения. Отходы ветеринарных клиник выделены в отдельную категорию потому, что они могут быть инфицированы специфическими штаммами микроорганизмов, содержать токсины и яды. Кроме того, они, как и отходы ЛПУ содержат 5 классов отходов: А - эпидемиологически безопасные отходы; В - эпидемиологически опасные отходы; С - чрезвычайно эпидемиологически опасные отходы; D - токсикологически опасные отходы; Е - радиоактивные отходы. Отходы КБС содержат такие же классы (за исключением радиоактивных отходов), но с некоторыми отличиями в составе классов А, В, С, D.

Большая часть отходов ЛПУ (по данным различных авторов от 60 до 85%) не представляют опасности и вполне могут быть отнесены к ТБО. В тоже время, существенная часть этих отходов (15% и более) представляет серьезную реальную опасность, как для медицинского персонала, населения и окружающей среды, что и требует выделения понятия «медицинские отходы». Однако последние не могут быть отнесены к бытовым отходам, так как инфицированность их превышает в 1000 и более раз инфицированность ТБО. Кроме того, они содержат большое количество токсичных соединений (прежде всего цитостатики, антибиотики и другие лекарственные препараты) и радиоактивные вещества [6].

В большинстве странах предполагается использование самых современных технологий, благодаря которым можно добиться уничтожения около 90% от общего количества МО и дезинфекцию оставшихся 10% с последующей полной утилизацией. Однако, многие страны, в число которых входит Россия и Украина, по-прежнему применяют метод захоронения МО на специальных полигонах, которому предшествует предварительная дезинфекцией**.**

Ключевыми вопросами стратегии управления отходами в мире являются: минимизация, уменьшение объемов образования отходов; разделение отходов в местах образования; рециркуляция, повторное использование отходов; переработка-обезвреживание и утилизация отходов; удаление и захоронение конечных отходов. Стремление к минимизации образования МО в ЛПУ не должно создавать препятствий для внедрения новых технологий и обеспечения высокого уровня медицинского обслуживания пациентов [7].

Если количество и структура отходов ЛПУ фиксируются центрами медицинской статистики, то о доле и морфологическом составе МО коммунально-бытового сектора нет достоверной информации. Поскольку значительная часть населения лечится в домашних условиях, то количество МО может составлять существенную долю в общем потоке ТБО. Во многих регионах Украины МО смешиваются с бытовым мусором и удаляются на свалки (полигоны). В составе МО могут присутствовать: пластик (использованные шприцы, капельниц, упаковка и пр.); металл (иглы, лезвии и другие острые предметы); бумага и картон (упаковка); стекло (ампулы, флаконы и пр.); инфицированный перевязочный материал (бинты, тампоны, памперсы и пр.); химические вещества (просроченные лекарства, ртутьсодержащие термометры и пр.); пищевые отходы и другие компоненты.

В регионах Украины система обращения с МО должна вписываться в общую схему дифференциации потоков ТБО. Опасные МО должны быть отделены из потока ТБО и связанные с звеньями системы обращения с отходами ЛПУ. К примеру, просроченные лекарственные препараты, использованные разовые шприцы, капельницы и другие составляющие МО целесообразно депонировать в специальных контейнерах, расположенных у входа в аптеки, которые в регионах Украины имеют весьма разветвлённую сеть. В противном случае, из-за отсутствия сортировки ТБО у источников образования, вряд ли удастся обезвредить или уничтожать опасные МО, попадающие в контейнеры ТБО.

Литература

1. Сафранов Т.А. Класифікація твердих муніципальних відходів передумова формування ефективної системи поводження з їх потоками/ Т.А. Сафранов, Т.П. Шаніна, О.Р. Губанова, В.Ю. Приходько //Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2014. - №18. – С. 32-37.
2. СанПиН 2.1.7.728-99. Правила сбора, хранения и удаления отходов лечебно-профилактических учреждений. – М., 2010. – 12 с.
3. СанПИН 2.1.7.2790-10. Санитарно-эпидемиологические требования к обращению с медицинскими отходами. – М., 2011. – 18 с.
4. Проданчук М.Г. Класифікація медичних відходів з урахуванням факторів небезпеки в проекті ДСанПіН «Правила поводження з медичними відходами»/ М.Г. Проданчук, Л.І. Повякель, О.О. Бобильова, С.П. Бережнов // Сучасні проблеми токсикології. — 2012. - № 1. - С. 57–68.

5. Сафранов Т.А. Проблема класифікації медичних відходів і поводження з ними в Україні/ Т.А. Сафранов, Т.П. Шаніна, Т.І. Панченко //Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2015. - №19. – С. 3-8.
6. Онищенко Г.Г. Современное состояние и проблемы обращения с медицинскими отходами в Российской Федерации: [Электронный ресурс] – Режим доступа http://www.waste.ru/modules/section/print.php?itemid=22
7. Отходы учреждений здравоохранения: современное состояние проблемы, пути решения / Под ред. Л.П. Зуевой. – СПб., 2003. – 43 с.

КІНЕТИКА АБСОРБЦІЇ ОКСИДІВ СІРКИ З ТОПКОВИХ ГАЗІВ ЛУЖНИМИ ВИРОБНИЧИМИ СТОКАМИ

д.т.н., проф. Цейтлін М.А., к.т.н., проф. Райко В.Ф.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Одним з найбільш поширених способів вилучення оксидів сірки зі скидних топкових газів промислових підприємств та енергетичних котлів є абсорбційне очищення, де у якості абсорбенту застосовується вапняна чи вапнякова суспензія. З точки зору зниження витрат на абсорбент становить інтерес використання промислових відходів (стічних рідин та суспензій), що містять кальцій та мають лужні властивості. В описаному нижче дослідженні вивчалася кінетика процесу абсорбції діоксиду сірки відходом содового виробництва (так званою «дистилерною рідиною», далі ДЖ) на дірчастій протитечійній (провальній) тарілці.

У дослідах, в основному, використовувалася ДЖ наступного складу (масова частка у світлій частині ДЖ, %) $CaCl_2$ – 9,2; NaCl – 5,4; $Ca(OH)_2$ – 0,16; $CaSO_4$ – 0,07; H_2O – 85,1; шлам – 2,6. Масова частка в шламі ДЖ: $CaCO_3$ – 59,6; $Ca(OH)_2$ – 17,4; $CaSO_4$ – 10,3; $MgCO_3$ –5,5; нерозчинний у кислоті залишок – 7,22. Досліди виконувалися на лабораторній установці, що включала лабораторний абсорбер діаметром 30 мм, із встановленою у ньому тарілкою, що мала 4 отвори діаметром 10 мм.

Вплив парціального тиску діоксиду сірки на швидкість абсорбції досліджували за швидкості газу у повному перетині абсорберу $w = 1$ м/с та щільності зрошення $L = 0{,}002$ м/с. Було знайдено, що пряма пропорційність між швидкістю абсорбції і середньологарифмічним парціальним тиском, тобто рушійною силою абсорбції SO_2 (далі для стислості – парціальним тиском) у газовій суміші, існує лише за умови, що парціальний тиск SO_2 не перевищує 100 Па. При подальшому зростанні парціального тиску характер залежності дещо змінюється. За умов парціального тиску більш ніж 130 Па вона також може бути представлена прямою лінією, але такою, що не проходить крізь початок координат. Це свідчить про те, що в результаті збільшенні парціального тиску SO_2 у газі контроль над швидкістю абсорбції переходить від однієї стадії процесу до іншої.

Для того, щоб розібратися в тім, які саме ці стадії, варто звернути увагу на те, що, як показують прості розрахунки, саме при парціальному тиску в газі більш 100 – 120 Па швидкість абсорбції виявляється вище витрати розчиненого гідроксиду кальцію, що надходить зі зрошувальною рідиною. При більш високих парціальних тисках нестача активного компоненту – гідроксиду кальцію – поповнюється за рахунок розчинення цієї речовини зі шламу. Можна припустити, що взаємодія абсорбованого діоксиду сірки зі вже розчиненим $Ca(OH)_2$ протікає набагато швидше, ніж процес розчинення останнього.

Для того, щоб переконатися в цьому були виконані досліди з ДЖ, збагаченою шламом. З'ясувалося, що в міру збільшення концентрації шламу швидкість абсорбції SO_2 спочатку росте практично пропорційно концентрації шламу, однак при масовій частці більш 5 % ріст сповільнюється. Зростання швидкості абсорбції в інтервалі концентрацій шламу 2 – 5 % легко пояснити збільшенням площі поверхні часток вапна і збільшенням швидкості їхнього розчинення, а зниження цього росту при концентраціях більш 5 % тим, що швидкість розчинення стає порівняною зі швидкістю транспорту діоксиду сірки з газу у рідину крізь поверхню масопередачі.

Таким чином, досліди з підвищеною концентрацією шламу в ДЖ підтверджують, що стадією процесу, яка лімітує, абсорбцію діоксиду сірки при високих концентраціях SO_2 є швидкість розчинення вапна.

Для того, щоб з'ясувати, яка саме стадія контролює опір масопередачі до тих пір поки не вичерпаний розчинений гідроксид кальцію, були виконані досліди по вивченню впливу щільності зрошення і швидкості газу на коефіцієнт масопередачі у інтервалі парціальних тисків SO_2 $90 < p_{SO_2} < 102$. Як з'ясувалося,

інтенсивність масопередачі визначається лише швидкістю газу, а вплив на неї щільності зрошення не є значимим. Результати цих дослідів були узагальнені у вигляді наступного рівняння:

$$K_{\text{г SO}_2} = 3{,}89 \cdot 10^{-4} \left(\frac{w}{w_0} \right)^{1{,}62}, \quad (1)$$

де $K_{\text{г SO}_2}$ – коефіцієнт масопередачі по діоксиду сірки, моль/м^2·с·Па; w_o= 1 м/с.

Точність рівняння (1) характеризується середньоквадратичним відхиленням, що дорівнює 11 %.

З одержаних результатів, а саме: не виявленого впливу на швидкість абсорбції SO_2 щільності зрошення і значного впливу швидкості газу, – випливає, що кінетику масопередачі за відносно низького парціального тиску SO_2 визначає опір у газовій плівці.

Для того, щоб переконатися в тім, що стадіями, які лімітують абсорбцію SO_2, є дифузійні процеси, а не хімічна кінетика, було виконано досліди при різних температурах. Вони не виявили вираженої, у всякому разі в межах помилки досліду, тенденції зміни коефіцієнта масопередачі з температурою. Таким чином, можна стверджувати, що кінетика процесу визначається дифузійними стадіями.

Найчастіше газові викиди, що містять діоксид сірки, утворюються в результаті спалювання сірчастих палив. Але такі топкові гази, поряд з діоксидом сірки завжди містять діоксид вуглецю – кислий компонент, що так саме, як і SO_2, абсорбується лужними поглиначами. Абсорбція CO_2, може впливати на кінетику абсорбції SO_2 і, у всякому разі, знижує абсорбційну ємність поглинача. У процесі дослідження з'ясовувалося, чи має місце взаємна залежність між кінетичними характеристиками паралельних процесів абсорбції CO_2 і SO_2 і виконувалася кількісна оцінка кінетики абсорбції діоксиду вуглецю ДЖ. Досліди проводилися за умов швидкості газу – 1 м/с, щільності зрошення – 0,002 м^3/м^2·с та температури – 60 ^{o}C.

Досліди показали, що абсорбція CO_2 не впливає на абсорбцію SO_2. Це не дивно, тому що вугільна кислота значно слабкіша за сірчасту і, отже, CO_2 не може конкурувати з діоксидом сірки в реакції з активним компонентом – гідроксид іоном.

У процесі дослідження було також з'ясовано вплив швидкості газу, щільності зрошення, парціального тиску SO_2 у газі і температури на коефіцієнт масопередачі ($K_{\text{г CO}_2}$) по CO_2. Для зменшення витрат часу застосовувався метод планування експерименту, за результатами якого було розраховано коефіцієнти лінійної регресії, що відбиває залежність $K_{\text{г CO}_2}$ від вказаних вище факторів. Виявилося, що значимий вплив на $K_{\text{г CO}_2}$ здійснює тільки швидкість газу і парціальний тиск діоксиду сірки. Експериментальні дані по впливу цих факторів на $K_{\text{г CO}_2}$ було додатково оброблено методами нелінійного оцінювання. У результаті отримано наступне рівняння:

$$K_{\text{г CO}_2} = 1{,}21 \cdot 10^{-6} \left(\frac{w}{w_0} \right)^{0{,}686} \left(\frac{P_1}{P_{1,0}} \right)^{0{,}379} \quad (2)$$

де $K_{\text{г CO}_2}$ – коефіцієнт масопередачі, моль/с·Па·м^2; w – швидкість газу у повному перетині апарату, м/с; P_1 – парціальний тиск діоксида сірки, Па; w_0 = 1,0 м/с; $P_{1,0}$ = 260 Па.

Залишкова средньоквадратична помилка рівняння (2) – 13 %, коефіцієнт кореляції між розрахунком і фактичним значенням $K_{\text{г CO}_2}$ дорівнює 0,98.

Результати дослідження були використані при розробці математичної моделі абсорберу для очищення топкових газів від діоксиду сірки. За результатами розрахунків з використанням цієї моделі було спроектовано дослідний апарат. Його випробування показали досить гарний збіг розрахунку та фактичних значень ступеню очищення газу.

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД В УКРАЇНІ

Шаманський С. Й., к. т. н., Бойченко С. В., д. т. н., професор
Національний авіаційний університет, м. Київ

Щорічно у водні об'єкти України скидається близько 7,7 мільярдів кубічних метрів стічних вод. Близко 80% з них проходять очищення на очисних спорудах різного типу. Сумарний об'єм осадів, що при цьому утворюється, складає до 1% від об'єму стічних вод [1]. Проблема утилізації цих осадів виходить сьогодні на друге місце після проблеми утилізації твердих побутових відходів, оскільки на мулових полях України їх уже накопичилась надзвичайно велика кількість і вона постійно збільшується.

Існує багато методів утилізації осадів стічних вод. Серед них найпоширенішими можна назвати тикі:

- захоронення на спеціальних полігонах;
- спалювання в печах різної конструкції;
- висушування та використання як будівельного матеріалу;
- використання як техногенного ґрунту в будівництві;
- використання як харчової добавки для тварин (активний мул);
- використання як добрива на сільськогосподарських полях.

Сьогодні поширення набуває спалювання. На території Бортницької станції аерації ПАТ «АК «Київводоканал» будується лінія для спалювання осадів цих очисних споруд. Проте ефективність такого методу утилізації викликає сумніви, а ступінь його екологічності викликає тривогу.

Енергетичний баланс при спалюванні осадів, а відповідно і економічний ефект від цього способу утилізації суттєво залежить від вмісту та складу беззольної речовини та вологості осаду. Нижча теплота згоряння осадів побутових стічних вод коливається в межах від 16,8 до 27,4 МДж/кг беззольної речовини. Вологість осадів, ущільнених на мулоущільнювачах складає від 96 до 98 %. Питома витрата енергії, що затрачується на випаровування вологи складає 4,2 МДж/кг води. Це означає, що при спалюванні свіжих ущільнених осадів, для випаровування вологи може бути потрібно навіть більше теплоти, ніж її виділиться під час згоряння їх беззольної частини. При цьому необхідно застосовувати додаткову кількість стороннього палива для підтримання стабільного процесу горіння в печі.

Досвід свідчить, що у значній кількості випадків при спалюванні вдається досягати нульового енергетичного балансу, тобто підтримувати стабільний процес горіння без подавання додаткового палива, і не отримуючи при цьому ніякого енергетичного виграшу. Таким чином метод дозволяє досягати лише фізичного знищення осадів, викидаючи при цьому продукти згоряння в атмосферу.

Великою екологічною проблемою при цьому є те, що осади багатьох очисних споруд містять солі важких металів. Їх вміст залежить від виду об'єктів каналізування і відповідно складу стічних вод, що надходять. Аналіз свідчить, що практично усі осади стічних вод комунальних очисних споруд містять ті, чи інші концентрації цих солей. Зокрема є вони і в осадах Бортницької станції аерації. При їх спалюванні важкі метали викидатимуться в атмосферу разом з продуктами згорання, що суттєво погіршує якість атмосферного повітря і відповідно збільшує екологічні ризики з цим пов'язані. Для їх зниження необхідним є впровадження процесів очищення продуктів згоряння від важких металів, що вимагає значних додаткових фінансових витрат.

Серед основних напрямків реалізації водної стратегії України [2] названо визначення екологічної безпеки різних видів діяльності, які можуть сьогодні або в майбутньому прямо чи опосередковано негативно вплинути на стан навколишнього природного середовища. При цьому серед завдань першого етапу реалізації стратегії (до 2020 року) визначено будівництво високоефективних та енергозберігаючих очисних споруд на нових технологічних засадах, а також модернізація водопровідно-каналізаційних систем, запобігання виникненню аварійних ситуацій на водопровідно-каналізаційних об'єктах.

В умовах сучасних вимог до екологічної безпечності сучасних технологічних процесів, а також в умовах сучасних до використання альтернативних джерел енергії для зменшення викидів парникових газів, перспективними можна вважати саме ті методи утилізації осадів стічних вод, які відповідають цим вимогам. Утилізація шляхом використання як сільськогосподарських добрив з попередньою стабілізацією осадів анаеробним зброджуванням є саме таким методом. Анаеробна стабілізація дозволяє усунути патогенні мікроорганізми, які можуть у значних кількостях міститися в сирих осадах. Так їх мікробна забрудненість може складати $10^7 \dots 10^8$ мл$^{-1}$, вміст сальмонел може досягати 10^3 л$^{-1}$, а вміст яєць гельмінтів може досягати 100 кг$^{-1}$. Така стабілізація також дозволяє отримувати альтернативне паливо – біогаз. Причиною недостатньо широкого розповсюдження такого методу є недоліки сучасних технологій анаеробного бродіння.

Головними недоліками є те, що процеси бродіння в існуючих технологіях тривають довгий час, метантенки конструюються великої ємності, а вихід біогазу при цьому є незначним. Досвід свідчить, в реальних умовах спалювання отримуваного біогазу часто не покриває енергозатрат на температурну стабілізацію осадів протягом бродіння. Організація процесу відбувається переважно у вигляді одноступеневого зброджування, де усе бродіння відбувається у одній ємності, а також двоступеневого зброджування, де перша ємність призначена для інтенсивного бродіння з інтенсивним виділенням біогазу, друга – для затухання бродіння і відділення від осаду мулової води. Інколи додаються ще додаткові ємності для кращого ущільнення збродженого осаду (додаткового відділення води і відповідно зменшення вологості осаду). За такої організації процесу його основна частина все одно проходить у першій ємності.

Сьогодні відомо, що процес анаеробного бродіння є стадійний і проходить у чотири послідовні стадії: гідроліз, кислотогенез, ацетогенез і метаногенез. На кожній стадії працюють свої групи мікроорганізмів і оптимальні параметри середовища для функціонування цих груп є різними. Досягнути ефективного проходження кожної з чотирьох стадій у одній ємності неможливо. Параметри середовища, що є сприятливими для кислотогенів, пригнічують діяльність метаногенів і навпаки.

Авторами пропонується екологічно безпечна та енергоефективна технологія анаеробної стабілізації осадів з організацією процесу постадійно у чотирьох окремих послідовних ємностях. У кожній ємності запропоновано створення оптимальних параметрів середовища, як то необхідний тиск, рівень pH, присутність певних рівнів фізичних полів, додавання необхідних домішок, забезпечення необхідного температурного режиму тощо, які інтенсифікують процес і є сприятливими для працюючих на цій стадії груп бактерій [3].

Реалізація запропонованої технології дозволяє зробити процес більш економічним та більш екологічним. Вона дозволяє скоротити тривалість анаеробного бродіння до 3-х діб, при цьому дозволяє збільшити вихід біогазу на одиницю об’єму осадів. Технологія дозволяє забезпечити роздільне виділення з осадів вуглекислого газу та метану. При цьому як продукт бродіння дозволяє отримувати окремо вуглекислий газ, а у вихідному біогазі дозволяє збільшити вміст метану до 95 %. Авторами запропоновано також конструкцію метантенка, який дозволяє реалізувати запропоновану технологію.

Література

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2012 році – К.: 2013. – 450 с.
2. Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи) – К.: 2015. – 46 с.
3. Шаманський С. Й. Енергоефективна та екологічно безпечна технологія стабілізації осадів стічних вод авіапідприємств / С. Й. Шаманський, С. В, Бойченко / Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №5/8 (77). – С. 39–45.

ШЛЯХИ ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЗНЕВОДНЕННЯ ТОНКОДИСПЕРСНИХ ШЛАМІВ

Шкоп А. А., Шестопалов О. В., к.т.н., доцент
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Внаслідок інтенсивної промислової діяльності на багатьох підприємствах хімічної галузі Україні утворилася величезна кількість рідких відходів, які протягом тривалого часу складуються у відкритих шламонакопичувачах. Особливе місце займають накопичувачі рідких відходів видобування та збагачення корисних копалин, коксохімічної галузі, шлами газоочищення металургійних заводів, стічні води машинобудівних підприємств та інші. Питання їх утилізації перетворилися на серйозні економічні і екологічні проблеми. Тверда частка шламів зазначених підприємств часто є цінною мінеральною сировиною, а рідку фазу доцільно використовувати у замкнутій системі оборотного водопостачання, заощаджуючи чисту воду.

Загалом шламові води більшості підприємств хімічної галузі є гетерогенними системами з полідисперсним складом твердої фази різної природи, які є неоднорідними багатокомпонентними механічними сумішами з різними фізико-механічними властивостями. Гранулометричний склад шламів в більшості випадків дещо змінюється за часом і залежить від його походження і технологічного процесу.

Сучасні виробничі процеси утилізації шламів передбачають їх згущення і зневоднення. Існуючі водно-шламові схеми на виробництвах, описані у вітчизняних і зарубіжних літературних джерелах, передбачають первинне освітлення (згущення) шламу у зовнішніх шламонакопичувачах або відстійниках і зневоднення осаду за допомогою центрифуг або фільтруючого устаткування, що дозволяє замкнути водооборотний цикл

підприємства. Застосування того або іншого процесу зневоднювання залежить в основному від гідравлічної крупності і гранулометричного складу шламу, та доцільності використання твердої фази в якості товарного продукту.

Здатність багатьох речовин у водному середовищі змінювати свій фазово-дисперсний стан під впливом фізико-хімічних чинників, таких як концентрація, pH середовища, сольовий склад, температура та інших відкриває можливість широко варіювати технологічні рішення, оптимізувати процеси, що протікають в апаратах і результати технологічного ланцюжка в цілому. Процес очищення і освітлення може бути прискорений, якщо буде знайдений зручний метод, що інтенсифікує агломерацію (злипання і укрупнення) частинок та порушує стійкість дисперсної системи. Тому на всіх етапах згущення шламу та зневоднення осаду як правило проводиться хімічне посилення процесів за рахунок використання значної кількості флокулянтів загальною витратою 350-500 г/т і більше. Сьогодні явище агрегації твердої фази високодисперсних суспензій стало широко використовуватися в техніці центрифугування.

Важливим параметром є правильний підбір концентрації флокулянта і точок його подачі в технологічний процес. Часто цьому не приділяють належної уваги, а в результаті значно збільшуються витрати флокулянта та знижується ефективність його роботи.

Практика зневоднення ультратонких (глинистих та мулових) шламів різного походження (бурові шлами, мули вуглезбагачувальних фабрик, стічні води газоочищення металургійних підприємств) на осаджувальних центрифугах виробництва ТОВ «НТЦ Екомаш» з використанням флокулянтів показала, що на ефективність очищення (на розміри і міцність флокул та стабільність дисперсної системи) впливає низка чинників, серед яких можна виділити наступні:

– гідравлічна крупність (ситовий склад) твердої фази, що впливає на щільність і розмір флокул, їх седиментаційні властивості;

– концентрація дисперсної фази в шламі, що впливає на процеси адсорбції полімеру на поверхні твердої фази і агломерацію частинок, а також седиментаційну стійкість системи;

– умови проведення адсорбції флокулянта і власне флокуляції.

За результатами промислових досліджень модуля очищення стічних вод, що включає обробку шламу флокулянтом, відділення згущеного продукту від освітленої рідини у тонкошаровому відстійнику та зневоднення згущеного продукту на осаджувальній центрифузі було виявлено наступне.

Зі зростанням вмісту часток твердої фази в шламі з гідравлічною крупністю більше $1{,}7\cdot10^{-3}$ м/с (з частинками твердої фази понад 40-60 мкм) підвищується ефективність очищення від тонких та ультратонких фракцій. Це пояснюється тим, що більш важкі частинки активніше поєднуються з тонкими фракціями у стабільні флокули (ніж тонкі між собою) та захоплюють їх під час седиментації.

Флокулоутворення і швидкість осідання твердої фази, як в полі гравітаційних, так і в полі центробіжних сил, залежить від концентрації твердої фази в початковій суміші, зростання якої ускладнює адсорбцію полімеру (ускладнює рівномірну дифузію флокулянта до поверхні твердої фази), призводить до раннього утворення і руйнування агрегатів-флокул, а також уповільнює розділення на фази (внаслідок зростання седиментаційної стійкості дисперсної системи). Тому шляхом інтенсифікації може бути розбавлення концентрованих суспензій перед введенням флокулянта до концентрації за твердою фазою не вище приблизно 30 г/л (зростання концентрації з 30 г/л і вище дає гірші результати).

Також експериментально встановлено, що ефективність очищення зростає при введенні флокулянта двома рівними порціями з певним інтервалом у порівнянні з введенням регламентованої кількості флокулянта одразу в змішувач перед очисним устаткуванням.

Таким чином, практика використання очисного обладнання з використанням флокулянтів показала можливості інтенсифікації процесу освітлення рідини у відстійнику та згущення осаду у центрифузі при корегуванні концентрації та розміру твердої фази в шламі (шляхом розбавлення шламу та введення додаткової твердої фази з гідравлічною крупністю понад $1{,}7\cdot10^{-3}$ м/с), а також введенням флокулянта двома приблизно рівними порціями.

ВРАХУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ВПЛИВУ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ: ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД

Безвербна О.В., аспірант, Білик Т.І., доц., к.б.н.
Національний авіаційний університет,
Науково-навчальний інститут екологічної безпеки, кафедра екології, Київ

Значний антропогенний прес урбанізованого середовища на водні об'єкти призвів до корінних змін екологічного стану, якості і хімічного складу води. Відбувається забруднення водойм новими токсичними речовинами, контроль вмісту яких не передбачений діючими нормативними документами.

При оцінці еколого-токсикологічного стану водойм користуються зазвичай нормативами екологічної безпеки, які ґрунтуються на відповідності фактичних концентрацій речовин гранично допустимим [1]. Проте дані щодо перевищення чи неперевищення допустимої концентрації токсиканту можуть стати підґрунтям лише для грубої оцінки якості води і не дають реального визначення екологічної ситуації, а також не враховують сумісну дію речовин.

В Європі існує декілька систем оцінки комбінованого впливу сумішей токсичних речовин: in vitro методи, підхід AOP (adverse outcome pathway), методи QSARs (quantitative structure activity relationships), TTC підхід (Threshold of Toxicological Concern) та ін. Оскільки поверхневі води є прикладом складної суміші, для багатьох компонентів якої не встановлено гігієнічних нормативів, то серед існуючих методів оцінки комбінованого впливу сумішей для поверхневих вод найбільш доцільне застосування TTC підходу, що ґрунтується на виявленні порогу токсикологічної значимості.

Оцінка впливу, спричиненого дією токсичних речовин, як правило, включає в себе порівняння даних дози та ефекту і спирається на дослідження, проведені на тваринах. TTC підхід може бути використаний при відсутності даних про токсичність конкретних хімічних речовин. В основі даного підходу лежить концепція, яка спрямована на встановлення такого рівня впливу хімічних речовин, нижче якого прояв ризику для здоров'я людини вважається малоймовірним.

Даний метод заснований на аналізі структурних особливостей оцінюваних хімічних речовин і їх порівнянні з даними про токсичність раніше вивчених подібних за структурою речовин в базі даних. Міжнародна база даних була створена І. Мурно [2] і заснована на класифікації Крамера [3]. Вона розподіляє неканцерогенні хімічні речовини на три класи з подальшим визначенням їх рівня TTC. На основі даного підходу була розроблена комп'ютерна програма Toxtree для оцінки токсикологічних загроз.

Проте застосування даного підходу в оцінці впливу хімічних сумішей на здоров'я людини має свої переваги й недоліки. Поріг токсикологічної значимості (TTC) являє собою методологію, яка може застосовуватись для оцінки потенційних загроз для здоров'я людини від впливу токсичних речовин на основі їх хімічної структури і передбачуваної експозиції. При цьому дані про токсичність конкретних хімічних речовин можуть бути відсутніми або недостатніми. Проте така концепція не може бути застосована до речовин та їх сумішей, хімічна структура яких невідома, а також до речовин, які зустрічаються у значних концентраціях. На сьогоднішній день TTC підхід ґрунтується на впливі токсичних речовин, що потрапляють в організм пероральним шляхом. Але найближчим часом дану концепцію планують розширити й включити такі шляхи впливу, як дихальний та через шкіру.

Вивченням застосування TTC підходу для оцінки ризику, спричиненого хімічними сумішами в поверхневих водах, займався П. Прайс [4]. Він прийшов до висновку, що в даному випадку TTC підхід може бути використаний на рівні скринінгу для попередньої оцінки комбінованого впливу, а також для забезпечення граничними даними компонентів суміші, інформація щодо токсичності яких відсутня. Дослідження Бубіса [5, 6], що спирались на дані моніторингу поверхневих вод, довели доцільність застосування підходу TTC для оцінки ризику на нульовому рівні, що дозволяє визначити необхідність подальшої оцінки хімічної суміші.

Проте слід зазначити, що в рамках даної методичної схеми використовується припущення адитивності доз, яке полягає в тому, що всі компоненти сприяють збільшенню токсикологічних властивостей суміші. Використання дозової адитивності вважається консервативним на основі аналізу емпіричних результатів для ефектів комбінованого впливу. Однак такий підхід може призводити до занижених оцінок в разі наявності синергічних ефектів. Аналіз наявних даних свідчать про те, що величина такого ефекту нижче істинного менш ніж на порядок [7, 8].

Отже, TTC підхід - це достатньо економічний метод оцінки токсикологічного ризику. Його доцільно застосовувати для попередньої оцінки комбінованого впливу забруднюючих речовин, що наявні в незначних концентраціях, а також для аналізу компонентів суміші, інформація щодо токсичності яких

відсутня. Хоча на сьогоднішній день застосування даної методології обмежується сферою здоров'я людини, міжнародними зусиллями розробляється ТТС підхід для оцінки екологічної небезпеки, в основу якої передусім ляжуть дані щодо водної токсичності.

Література

Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения: СанПиН 4630-88, - М. : Минздрав СССР, 1988.

Munro I.C., Ford RA, Kennepohl E and Sprenger JG, 1996. Correlation of a structural class with No-Observed-Effect-Levels: a proposal for establishing a threshold of concern. Food Chem. Toxicol. 34, 829–867.

Cramer G.M., Ford R.A. and Hall R.L., 1978. Estimation of toxic hazard - a decision tree approach. Food and Cosmetic Toxicology 16, 255-276.

Price PS, Hollnagel HM, Zabik JM, 2009. Characterizing the noncancer toxicity of mixtures using concepts from the TTC and quantitative models of uncertainty in mixture toxicity. Risk Analysis, 29 (11), 1534-1548.

Boobis A, Budinsky R, Collie S, Crofton K, Embry M, Felter, S, Hertzberg R, Kopp D, et al., 2011. Critical analysis of literature on low-dose synergy for use in screening chemical mixtures for risk assessment. Critical Reviews in Toxicology, 41 (5), 369–383.

Boobis A, Budinsky R, Crofton K, Embry M, Felter S, Mihlan G, Mumtaz M, Price P, Solomon K, Zaleski R, 2011. Annex B - Example case study B: Tier 0 – Substances potentially detectable in surface water. In: Meek ME, Boobis AR, Crofton KM, Heinemeyer G, Van Raaij M, Vickers C, 2011. Risk assessment of combined exposure to multiple chemicals: A WHO/IPCS framework. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 60, S1–S14.

Kortenkamp, A., Hass, U., 2009. Expert workshop on combination effects of chemicals, 28–30 January 2009, Hornbaek, Denmark: Workshop Report.

European Commission, 2010. State of the art report on mixture toxicity—final report (Study Contract No. 070307/2007/485103/ETU/D.1). Directorate General Environment, European Commission, Brussels.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ҐРУНТІВ ПРИ ЗАХОРОНЕННІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Березюк О. В.[1], к.т.н., доцент; Березюк Л. Л.[2]
[1]Вінницький національний технічний університет
[2]Коледж економіки і права Вінницького кооперативного інституту

Напружена екологічна ситуація, що склалася в міській та сільській населеній місцевості, у числі інших причин визначається незадовільним станом ґрунту, що виконує функцію універсального екологічного адсорбенту, нейтралізатора забруднень органічної і мінеральної природи. Пригнічення або припинення зазначених властивостей ґрунтів може впливати на здоров'я населення [1]. Тому проблема твердих побутових відходів (ТПВ) як джерела антропогенного забруднення ґрунту набула сьогодні надзвичайної актуальності.

За даними Міністерства житлово-комунального господарства України кожний її мешканець виробляє щорічно приблизно 250 кг ТПВ, а у великих містах ця кількість досягає 330-380 кг. Основна маса ТПВ (майже 98 %) захоронюється на полігонах та сміттєзвалищах. Кількість перевантажених сміттєзвалищ складає біля 5 %, а тих, що не відповідають нормам екологічної безпеки – близько 25 %.

Великі полігони ТПВ за рівнем шкідливого впливу на навколишнє середовища вважаються об'єктами екологічного ризику і є потенційними джерелами забруднення довкілля у випадку порушення норм і правил їх експлуатації.

Разом із ТПВ в ґрунт потрапляє велика кількість органічних речовин, мікроорганізмів, яєць геогельмінтів. З ґрунту компоненти ТПВ можуть потрапляти у підземні (в першу чергу ґрунтові) води, змиватися атмосферними опадами у відкриті водойми і приводити до забруднення води джерел водопостачання. У результаті розщеплення органічних речовин відходів, утворюються гази з неприємним запахом, які забруднюють атмосферне повітря.

Усе більш небезпечний характер набуває забруднення ґрунту твердими побутовими та промисловими відходами [2-4], що містять токсичні речовини, патогенні мікроорганізми, організми, що викликають паразитарні захворювання людини таких, як гепатит, туберкульоз, дизентерія, аскаридоз, респіраторні, алергічні, шкірні та інші хвороби. Патогенні мікроорганізми досить тривалий час зберігають у ТПВ вірулентність та патогенність.

В статті [5] наведено дані щодо зміни санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час компостування. В роботах [6-8] детально досліджено динаміку санітарно-бактеріологічного складу ТПВ під час їхнього компостування в різні пори року. Встановлено, що на відміну від літнього компостування [6], тривалість весняного [7] є на порядок довшою (242 дня проти 21 дня) за рахунок відмінності природних показників даних пір року. Виявлено ширшу номенклатуру санітарно-бактеріологічного складу ТПВ навесні (бактерії кишкової палички, стрептококи, стафілококи та аскариди) завдяки наявності стафілококів та аскарид, відсутніх у ТПВ під час літнього компостування [8].

У випадках порушення технології збору, очищення і знешкодження фільтрату на полігонах ТПВ можливе надходження патогенної мікрофлори з недостатньо очищеним і знезараженим фільтратом у джерела водопостачання, що може привести до виникнення ризиків ураження населення, що проживає в зоні потенційно можливого впливу полігонів.

Тривогу також викликає нагромадження на відвалах і звалищах відходів, що містять важкі метали. Це приводить до забруднення ґрунту і сприяє вторинному забрудненню атмосферного повітря і підземних вод. Встановлено несприятливий вплив хімічного забруднення ґрунту на здоров'я населення, що може проявитися у виді неінфекційних захворювань [1]. Забруднення рухомими формами важких металів викликають негативні екологічні тенденції в мікробіологічному стані ґрунтів, пригнічують целюлозну активність ґрунту, що призводить до уповільнення процесів розкладу органічної речовини [9].

Ґрунт відноситься до трифазних систем, проте фізико-хімічні процеси, що протікають у ґрунті, надзвичайно уповільнені, і розчинені в ґрунті повітря і вода не роблять істотного прискорює впливу на перебіг процесів самоочищення ґрунту. Тому самоочищення ґрунту, в порівнянні з самоочищенням атмосфери та гідросфери, відбувається дуже повільно. Самоочищення ґрунту в основному може відбутися тільки при забрудненні органічними відходами, які піддаються біохімічному окисленню мікроорганізмами. Для зменшення концентрацій таких важких металів в ґрунті, як кадмій, свинець та цинк ефективним є метод електрохімічної ремедіації [10]. Цей метод оснований на використанні електричного струму для виділення відповідних забруднюючих речовин і дозволяє відновлювати ґрунти безпосередньо на поверхні землі без їх відбору у спеціальні ємності. В статті [11] наведена математична модель питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів ТПВ від забруднення важкими металами.

Отже, одним із напрямів підвищення санітарно-бактеріологічної безпеки ґрунтів є знезаражування твердих побутових відходів шляхом компостування. Для підвищення хімічної безпеки ґрунтів перспективним є зменшення концентрацій важких металів в ґрунті методом електрохімічної ремедіації.

Література

1. Хотько Н. И. К региональным проблемам экологического мониторинга почв и зон захоронения твёрдых бытовых отходов / Н. И. Хотько, А. П. Дмитриев, В. Н. Чупис // GISAP. Biology, veterinary medicine and agricultural sciences. – 2014. – № 3. – С. 16-18.
2. Лемешев М. С. Комплексна переробка техногенних відходів хімічної промисловості та металообробних виробництв / М. С. Лемешев, О. В. Христич, О. В. Березюк // Materiály XI Mezinárodní vědecko-praktická konference «Aktuální vymoženosti vědy – 2015». – Praha (Chech): Publishing House «Education and Science» s.r.o, 2015. – Díl 7. Fyzika. Matematika. Moderní informační technologie. Výstavba a architektura. Technické vědy. – S. 60-62.
3. Лемешев М. С. Теоретичні передумови підвищення довговічності електропровідних бетонів / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Тези доповідей ІІ-ої міжнародної інтернет-конференції «Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій», 12 листопада 2014 року : збірник наукових праць. Ч. 1. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – С. 21.
4. Ковальський В. П. Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах / В. П. Ковальський, О. С. Сідлак // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві : Науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – 1 (16) – С. 35-40.
5. Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting / I. Deportes, J.-L. Benoit-Guyod, D. Zmirou, M.-C. Bouvier // Journal of Applied Microbiology. – 1998. – No 85. – P. 238–246.
6. Березюк О. В. Моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час літнього компостування / О. В. Березюк, С. М. Горбатюк, Л. Л. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 4. – С. 17-20.
7. Моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час весняного компостування / О. В. Березюк, М. С. Лемешев, Л. Л. Березюк, І. В. Віштак // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 1. – С. 29-33.
8. Березюк О. В. Порівняння динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час компостування / О. В. Березюк, Л. Л. Березюк // Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку : V всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. студ., аспір. та молод. вчених, 10-20 лист. 2015 р. : матеріали конф. – Ірпінь : НУДПСУ, 2015. – С. 218-220.
9. Гринчишин Н. М. Вплив процесів горіння твердих побутових відходів на екологічний стан ґрунту / Н. М. Гринчишин // Збірник наукових праць ЛДУ БЖД. – 2012. – № 20. – С. 131-136.

10. Лысенко Л. Перспективы решения проблемы загрязнения почв тяжелыми металлами / Л. Лысенко, М. Пономарев, Б. Корнилович // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – №4. – С. 59-63.
11. Березюк О. В. Моделювання питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами / О. В. Березюк // Комунальне господарство міст. – 2015. – № 1 (120). – С. 240-242.

ЗАБРУДНЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ СПОЛУКАМИ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Бойко В.В., студент факультету ПЕЕтаНГТ, доцент, к.х.н., Кіріяк А.В.
Одеська національна академія харчових технологій

Харчові продукти забруднюються токсичними важкими металами через газоподібні, рідкі, тверді викиди та відходи промисловості підприємств, ТЕС, транспорт, комунальні побутові відходи, стічні води, засоби захисту рослин. Ситуація ускладнюється тим, що для важких металів не існує механізмів природного самоочищення, а очисні споруди практично повністю пропускають мінеральні солі.З продуктами харчування в організм людини надходить близько 70 важких металів (майже всі - мікроелементи). Найтоксичнішими вважають свинець, олово, мідь, нікель, берилій, селен, кадмій, вісмут тощо. Токсичні елементи є найбільш поширеними забруднювачами харчових продуктів. Більшість з них відноситься до розсіяних елементів (мікроелементів), які присутні в малій кількості повсюдно: у підземних і поверхневих водах, гірських породах, ґрунтах, атмосферному повітрі, рослинах і тваринах.У всіх видах продовольчої сировини і харчових продуктів нормуються токсичні елементи: свинець, миш'як, кадмій, ртуть.

Свинець - один з найбільш поширених і небезпечних токсикантів. Він знаходиться в малих кількостях майже повсюдно. Джерело природного свинцю в біосфері - гірські породи, які містять його від 0,8 до 2 000 мкг / кг. Середній рівень свинцю в поверхневому шарі грунту - 1,6 мг / кг. Його традиційно використовують в хімічному машинобудуванні, атомній та військової промисловості, для виготовлення електричних кабелів, телевізійних трубок і флуоресцентних ламп, при виробництві емалей, лаків, кришталю,піротехнічних виробів, сірників, пластмас, для пайки швів жерстяних банок, в поліграфії. Основним джерелом забруднення атмосфери свинцем є:

- вихлопні гази автотранспорту (260 тис. т);
- спалювання кам'яного вугілля (близько 30 тис. т) та інших видів палива;
- відходи багатьох промислових підприємств.

Ртуть - один з найнебезпечніших і високотоксичних елементів, що має здатність накопичуватися в рослинах і в організмі тварин і людини, тобто є отрутою кумулятивної дії. Ртуть - єдиний метал, що представляє собою при кімнатній температурі рідину, проте вона може існувати в різних фізичних станах і хімічних формах. Крім елементного стану (Hg), ртуть утворює неорганічні та органічні сполуки, в яких виявляє ступінь окислення +1 і +2.

У природі кадмій не зустрічається у вільному вигляді і не утворює специфічних руд. Його отримують як супутній продукт при рафінуванні цинку і міді. У земній корі міститься близько 0,05мг/кг кадмію, в морській воді - 0,3мкг/л. За своєю електронною конфігурацією кадмій нагадує цинк. Він володіє більшою спорідненістю до тіолових груп і замінює цинк в деяких метал ферментних комплексах.

Миш'як належить до тих мікроелементів, необхідність яких для життєдіяльності організму не доведена. Миш'як широко поширений в навколишньому середовищі. Він зустрічається в природі в елементному стані, а також у великих кількостях у вигляді арсеніти, арсеносульфідів і органічних сполук. У морській воді міститься близько 5 мкг / л миш'яку, в земній корі - 2 мг / кг.

Мідь є біомікроелементом, необхідним для нормального протікання багатьох фізіологічних процесів - остеогенеза, функції відтворення та ін. Вона присутня в багатьох метало ферментів та інших білках, обумовлюючи їх стабільність і збереження конформації. Мідь існує в одно- і двовалентних станах.

Мідь малотоксична. При підвищеному надходженні з їжею резорбція її знижується, що зменшує ризик розвитку інтоксикації. Мідь володіє властивостями: симптоми дефіциту селену виявляють у тварин при введенні міді у великих кількостях. При надходженні в їжу високих концентрацій солей міді у людей і тварин спостерігаються токсичні ефекти, які, як правило, оборотні.

Олово є домішковим мікроелементом. У земній корі його вміст невеликий. В організмі дорослої людини міститься близько 17 г олова. У двовалентному стані олово утворює галогеніди: SnF2 і SnC12, а

також солі органічних кислот. Неорганічні сполуки олова малотоксичні, органічні - більш токсичні. Для людини при одноразовому надходженні токсична доза олова - 5...7 мг / кг маси тіла.

У природі хром зустрічається в основному у вигляді руди хромового заліза (FeOxCr2O3). Хром присутній у всіх ґрунтах і рослинах. Щорічно він викидається в навколишнє середовище в кількості 6,7 тис. т. Хром може існувати в тривалентній (Cr3 +) і шестивалентній (Cr6 +) формах.

Тривалентний хром бере участь у багатьох метаболічних процесах. Його недолік в організмі призводить до морфологічних змін роговиці, знижує м'язову масу і стійкість до фізичного навантаження. Він грає важливу роль в метаболізмі нуклеїнових кислот і нуклеотидів. Утворює комплекс з інсуліном, впливає на вуглеводний і енергетичний обміни.

.

ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ЗДІЙСНЕННЯ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Бойченко С.В., д.т.н., проф., Зеленська О.С., викладач
Національний авіаційний університет, м. Київ

Внаслідок роботи гірничодобувних підприємств на території області накопичено більше як 1,1 млрд. м^3 хвостів збагачення. Чотири найбільші хвостосховища залізорудних комбінатів створили зону екологічної небезпеки для міста Кривий Ріг, а один з них – для більшої частини сільської території Широківського району. Техногенне навантаження утворюють гігантські хвостосховища та шламонакопичувачі міста Жовті Води та Західного Донбасу, десятки відстойників і накопичувачів токсичних відходів. Відвали шахтних порід, скиди та викиди (рідкі, газоподібні) підприємств переробки уранових руд міст Дніпродзержинська та Жовтих Вод стали джерелами радіаційного забруднення навколишнього природного середовища. У них містяться природний уран, торій-232, продукти розпаду уранового та торієвого рядів.

Обсяги утворення золошламів, основних відходів Криворізької та Придніпровської ТЕС, складають більше 1,0 млн. тонн на рік. Зараз кількість шламів у відвалах перевищує 70 млн. тонн, а площа, яку вони займають, становить біля 850 га.У накопичувачах хімічної промисловості у змішаному стані накопичено понад 9,8 млн. тонн відходів..

Отже, слід констатувати, що сучасний стан та динаміка розвитку екологічної ситуації на території Дніпропетровської області визнаються критичними. Це обумовлено особливістю регіону, де кризові ситуації не локалізовані у просторі, а охоплюють цілі промислові агломерації, басейни видобутку корисних копалин (Дніпропетровсько-Дніпродзержинсько-Новомосковська агломерація, Криворізький залізорудний, Нікопольський марганцеворудний басейни тощо).

Підтримка технологічного устаткування й агрегатів у належному стані дуже важлива для ПАТ «Арселорміттал Кривий Ріг». Від цього залежать безпека роботи людей, екологія і в цілому процес виробництва чавуну. Проведений ремонт ДП №9 дозволив відновити її виробничу потужність і працездатність для виконання планів виробництва чавуну підприємства (рис. 1).

Рис. 1 – Доменна піч № 9

Обсяг використання та реалізації відходів у 2015 році склав 19 526,576 тис. тонн, що на 3270,476 тис.т менше, ніж у 2014 році, зменшення склало 14,3%. Таке зменшення стало можливим у зв'язку зменшенням обсягів утворення пустих порід шахтоуправління на 2456,472 тис. т. і як наслідок зменшення їх використання для рекультивації; використання хвостів збагачення на 371,4 тис.т, при будівництві дамб; реалізації шлаків доменного виробництва 187,6 тис.т. Основні показники відходів відображено у таб.1.

Таблиця 1 .

Показники об'єму Відходів підприємства (м. Кривий Ріг)	2013 тис.т	2014 тис.т	2015 тис.т
Використано та реалізовано відходів	17 729,817 тис.т	22 797,052 тис.т	19 526,576 тис.т

Тому надалі слід вдосконалення системи моніторингу довкілля Дніпропетровської області за такими напрямками :

- удосконалення мереж спостережень за станом складових довкілля та розвиток незалежних від природокористувачів автоматизованих систем спостережень за джерелами забруднення довкілля;
- модернізація та переоснащення засобів аналітичного контролю служб спостережень за станом довкілля;
- створення локальних систем моніторингу міст Дніпропетровськ, Кам'янське, Кривий Ріг, Жовті Води, Нікопольського регіону;
- створення локальних систем моніторингу підтоплених та зсувонебезпечних територій тощо;
- упровадження єдиної регіональної інформаційної мережі збирання, обміну, обробки, збереження даних щодо стану довкілля та природоохоронної діяльності суб'єктів моніторингу (до оснащення регіонального інформаційно-аналітичного центру моніторингу довкілля обчислювальною, комунікаційною та оргтехнікою, системним програмним забезпеченням).

СУЧАСНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАВКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТОРУ, ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Борщова О.В., студентка 6 курсу
Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара

У даній роботі розглянуто два екологічних аспекти використання глобальних супутникових систем з технікою комутації пакетів, побудованих на різновисотних орбітальних угрупованнях космічних апаратів. Запропоновано комплекс моделей для дослідження таких систем.

Перший екологічний аспект застосування глобальних супутникових мереж - це зменшення кількості комічних апаратів у навколоземному космосі за рахунок об'єднання в одній системі можливостей декількох різновисотних систем. Кількість орбітальних об'єктів в навколоземному космосі все більше зростає. Зараз вже слід говорити про проблему заповнення космічного простору рухомими об'єктами, виділяючи в множині орбітальних тіл дві складові - об'єкти космічного сміття з не коректованими орбітами і множину орбітальної техніки, орбітами якої в тій чи іншій мірі керують. При позитивному сценарії контрольованого людством розвитку множини навколоземних орбітальних об'єктів на перший план виступить проблема зростання числа функціонуючої орбітальної техніки. Для вирішення цієї проблеми необхідно колективне планування розвитку множини керованих орбітальних тіл, розробка та порівняльний аналіз базових стратегій створення супутникових систем. Один із стратегічних напрямків - забезпечити вирішення цільових задач супутникових систем, використовуючи в кожній зоні висот над поверхнею Землі по можливості менше число космічних апаратів. Відзначимо тільки два підходи до зменшення зростання числа космічних апаратів на навколоземних орбітах: 1) заміна декількох систем, що використовуються для вирішення схожих задач, однією багато супутниковою системою глобального користування; 2) реалізація міжсупутникових зв'язків в орбітальних сегментах, що дозволить зменшити число космічних апаратів в орбітальному сегменті майже вдвічі в порівнянні з системами, які перебувають на таких же висотах, але в яких немає зв'язків між космічними апаратами. Таким чином, використання глобальних систем зв'язку з міжсупутниковими комунікаційними лініями є раціональним з точки зору зменшення числа орбітальної техніки в навколоземному просторі.

Другий екологічний аспект - спільне використання систем зв'язку і дистанційного зондування Землі для вирішення екологічних задач. Об'єднання в єдине ціле систем дистанційного зондування Землі (переважно глобального безперервного огляду) і глобальних систем зв'язку (переважно мереж супутникового зв'язку, в яких реалізована техніка комутації пакетів) має велику перспективу. При цьому система дистанційного зондування Землі використовується для отримання інформації, інформація передається по лініях зв'язку між космічним апаратам супутникової системи зв'язку, яка здійснює подальше її транспортування наземним станціям або іншим космічним апаратам дистанційного зондування Землі. При цьому час, що витрачається на отримання інформації наземною станцією від супутникової системи дистанційного зонування Землі, істотно скорочується.

Таким чином, проекти супутникових систем з міжсупутниковими лініями зв'язку, побудованих на різновисотних орбітальних угрупованнях, мають перспективи реалізації в майбутньому. Проробка різних концепцій таких систем вимагає аналізу різних сторін їх функціонування. Для цього необхідні «інструменти» аналізу: математичні та імітаційні моделі таких систем. У даній роботі представлена імітаційна модель супутникової мережі комутації пакетів, в складі якої декілька різновисотних сегментів, і математичні моделі різної точності, призначені для аналізу складових ліній зв'язку в супутниковій мережі з різновисотними орбітальними угрупованнями.

СОПУТНИКОВЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ЯК СУЧАСНИЙ МЕТОД ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Кіріяк Г.В., к.х.н., Носенко К.В., студентка IV курсу
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

В епоху урбанізації і перенаселення планети, яке призводить до забруднення навколишнього середовища (НС), гостро постає проблема моніторингу і контролю стану навколишнього середовища. Причиною тому є зміна рівноваги екосистем та їх забруднення, екстенсивне використання природних ресурсів, збіднення біорізноманіття.

Моніторинг НС здійснюється за допомогою різних методів і засобів. Найбільш технологічним є метод дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Дистанційне зондування Землі – спостереження поверхні Землі авіаційними і космічними засобами, оснащеними різними видами знімальної апаратури, наприклад за допомогою супутників. Актуальність дистанційного зондування постійно збільшується в сучасному інформаційному суспільстві. ДЗЗ є однією з ключових технологій аерокосмічної промисловості і представляє велике економічне, екологічне та геологічне значення [1]. ДЗЗ дає змогу отримати інформацію про поверхність Землі, об'єкти на ній або в її надрах, зазвичай у вигляді зображення земної поверхні в певних ділянках електромагнітного спектра. Також аерокосмічні методи дистанційного вимірювання представляють широкі можливості для вивчення природної та сільськогосподарської рослинності, визначення запасів біомаси та її продуктивності, спостереження за димовими викидами, які дозволяють встановити, за ступенем прозорості факелів, щільність частинок в них [2]. Використання даних супутникового дистанційного зондування відкриває можливість виявлення фактів порушення природоохоронного законодавства, локалізації та встановлення джерел забруднення. Тому не виключено, що супутникова інформація стане домінуючою при контролі за аварійними і нелегальними розливами нафтопродуктів в умовах транспортних операцій. Методи дистанційного зондування є єдиним засобом отримання екологічної інформації на великих площах з високим просторовим дозволом в реальному масштабі часу. Задоволення вимог оперативності, оглядовості та об'єктивності оптимізується шляхом поєднання багатоспектральної космічної зйомки і мережі фіксованих станцій наземного базування.

Обробка супутникових знімків здатна виявляти різні характеристики земної поверхні, такі як: визначення переважаючого мінерального складу відкритих гірських порід, виявлення щільності і ступеня порушення рослинного покриву, переважаючого видового складу і щільності насаджень лісів, створення карт температури повітря, земної поверхні та поверхні водних об'єктів, визначення вологості і мінерального складу ґрунту, виявлення плям антропогенних забруднень на суші і морі, визначення територій з лісовими пожежами, нелегальними вирубками і багато іншого. На рис.1 зображений супутниковий знімок який відображає кількість світла яке відбивається від землі, це показує стан рослин та ґрунту, необхідність застосування добрив так поливу.

За допомогою комп’ютерних програмних засобів знімки аналізуються експертними системами по заданим критеріям та видають результати по яким спеціаліст, або ж сама експертна система, може зробити

висновки і запропонувати рішення тих чи інших проблем, наприклад необхідність внесення добрив чи поливу для ґрунту.

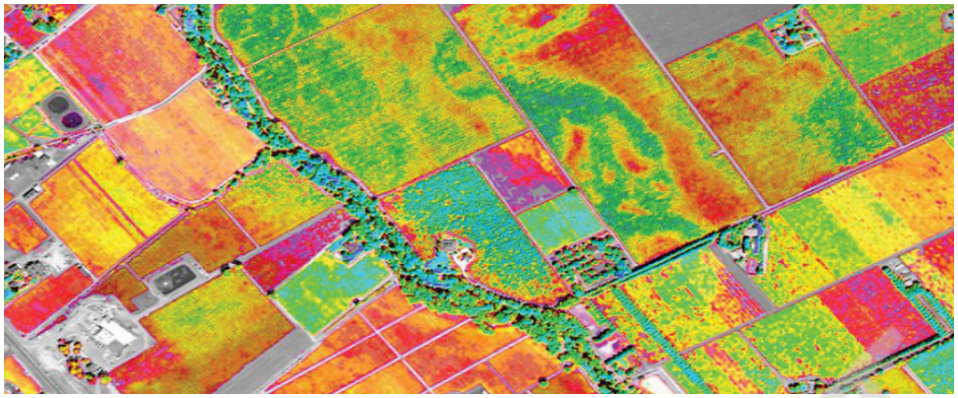


Рис. 1– «Супутникове зображення земель в різних спектрах»

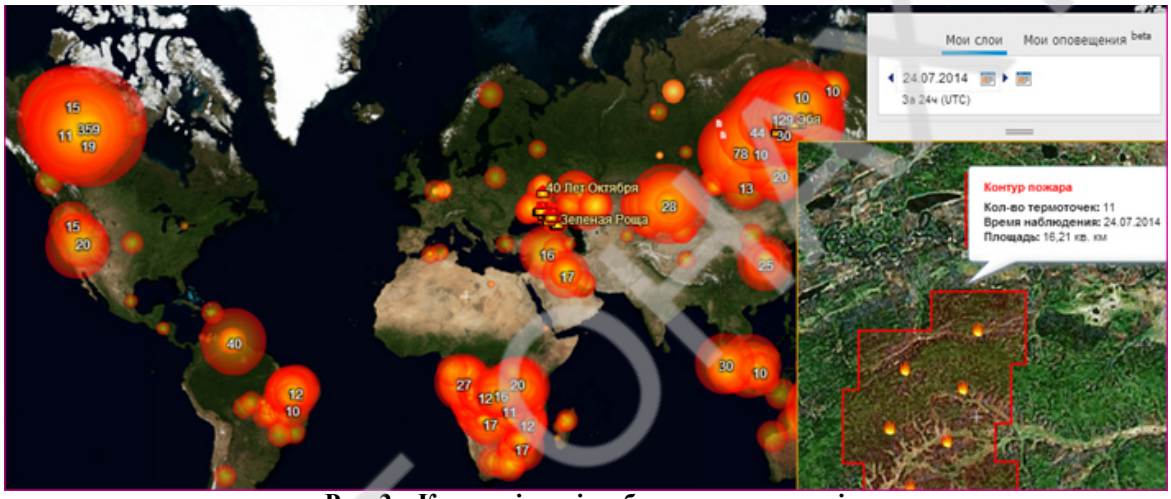


Рис. 2 – Космознімки із зображенням пожежі

На даний момент супутниковий метод являється одним із найтехнологічніших засобів дистанційного зондування, який успішно застосовують для моніторингу навколишнього середовища, які виконують наступні задачі:

- пошук потрібних космічних знімків, зроблених в певному спектральному діапазоні;
- прив'язки космічних знімків до топографічних карт розглянутої місцевості;
- картографування динаміки зміни природного середовища;
- систематичне картографічне стеження за станом природного середовища і його змінами [3].

Нажаль на даний момент існує проблема доступності цієї технології для вищих навчальних закладів, і як результат цього випускники не мають достатньо глибоких знань як в аналізі так і практичному використанні результатів ДЗЗ. Як наслідок метод ДЗЗ має проблему пошуку спеціалістів, що гальмує його подальший розвиток.

Література

1. ДЗЗ 2.0: спутник SkySat-1 открывает новый этап глобального космического мониторинга [Электронный ресурс] // Сайт журнала «ГЕОматика». – Режим доступа: http://geomatica.ru/17E873EA-34A7-487F-97DB-F05BD04E0A1B/pdf/2013_04/2013_4_18-21.pdf
2. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р. А.Шовенгердт; − Москва: Из-во «ТЕХНОСФЕРА», 2013.−592с.: с. 17-26.
3. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли [Электронный ресурс] // Сайт журнала «ГЕОматика». – Режим доступа: http://geomatica.ru/pdf/2013_02/2013_02_16-36.pdf .

УДК 664:613.2

ПРОБЛЕМИ СВІТОВОГО ОКЕАНУ

Артюхова А., Лиходід Н., студенти ф-ту ПЕЕтаНТ, доцент, к.х.н. Кіріяк Г.В.
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Світовий океан — неперервна водна оболонка Землі, що оточує материки й острови. Площа Світового океану становить 361 млн км^3, або 71 % земної поверхні. У Світовому океані виділяють його складові частини — океани, моря, затоки, протоки. На Землі умовно виділяють 4 океани: Тихий, Атлантичний, Індійським Північний Льодовитий.

Основні шляхи забруднення гідросфери: забруднення нафтою і нафтопродуктами, забруднення стічними водами, забруднення важкими металами, забруднення кислотними дощами, радіоактивне забруднення, теплове забруднення, механічне забруднення, бактеріальне і біологічне забруднення. Щорічно у Світовий океан потрапляє понад 10 млн т нафти і до 20% Світового океану вже покриті нафтовою плівкою. У першу чергу це пов'язано з тим, що видобуток нафти і газу в океанах і морях стала найважливішим компонентом нафтогазового комплексу.

Забруднення Світового океану водним транспортом відбувається по двох каналах: по-перше, морські та річкові судна забруднюють її відходами, одержуваними в результаті експлуатаційної діяльності, і, по-друге, викидами у разі аварій, токсичних вантажів, здебільшого нафти і нафтопродуктів.

На танкерах, що перевозять нафту та її похідні, перед кожним черговим завантаженням, як правило, промиваються ємності для видалення залишків раніше перевезеного вантажу. Промивна вода, а з нею і залишки вантажу зазвичай скидаються за борт.

Крім того, після доставки нафтовантажів в порти призначені танкери найчастіше направляються до пункту нового навантаження без вантажу. В цьому випадку для забезпечення належної безпеки плавання танки судна наповнюються баластною водою. Ця вода забруднюється нафтовими залишками, а перед завантаженням нафти і нафтопродуктів виливається в море.

Із загального вантажообігу світового морського флоту в даний час 49% впаде на нафту та її похідні. Щорічно близько 6000 танкерів міжнародних флотилій транспортують 3,5 млрд тон нафти. У міру зростання перевезень нафтовантажів і аваріях все більшу кількість нафти стало потрапляти в океан.

Забруднення нафтою і нафтопродуктами. Призводить до появи нафтових плям, що ускладнює процеси фотосинтезу у воді через припинення доступу сонячних променів, а також викликає загибель рослин і тварин. Кожна тонна нафти створює нафтову плівку на площі до 12 км^2. Відновлення уражених екосистем займає 10 - 15 років.

За даними 1988 в усі моря світу було скинуто приблизно 20 млрд тон сміття. В одне тільки Північне море було скинуто 98000 т сміття.

До 2 млн морських птахів і 100 тис морських тварин, у тому числі до 30 тис тюленів, щорічно гинуть, проковтнувши будь - які пластмасові вироби чи заплутавшись в обривках мереж і тросів.

Терміни розкладання сміття в морській воді: недопалок - 5 років, пінопласт - 18, жестянная банка - 50, пластикова пляшка - 450, скляна пляшка - 1000000.

Серйозну екологічну загрозу для життя в Світовому океані і для людини представляє поховання на морському дні радіоактивних відходів і скидання в море рідких радіоактивних відходів. Західні країни (США, Великобританія, Франція, Німеччина, Італія тощо) і СРСР з 1946р. почали активно використовувати океанські глибини для того, щоб позбутися від РАВ.

Рідкі радіоактивні відходи СРСР зливав в далекосхідних морях з 1966 по 1991 р. (в основному поблизу півдня - східної частини Камчатки і в Японському морі). Північний флот щорічно скидав в воду 10 000 м^3 таких відходів.

Забруднення стічними водами в результаті промислового виробництва, мінеральними і органічними добривами в результаті сільськогосподарського виробництва, а також комунально-побутовими стоками. Веде до евтрофікації водойм - збагачення їх поживними речовинами, що призводить до надмірного розвитку водоростей і загибелі інших екосистем водойм, а іноді до заболочування місцевості.

Забруднення важкими металами. Порушує життєдіяльність водних організмів і людини. Забруднення кислотними дощами. Приводить до закиснення водойм і загибелі екосистем.

Теплове забруднення. Викликається скиданням у водойми підігрітих вод ТЕС і АЕС. Приводить до масового розвитку синьо-зелених водоростей, так званого цвітіння води, зменшенню кількості кисню і негативно впливає на флору і фауну водоймищ. Механічне забруднення. Підвищує вміст механічних домішок.

Людство повинно радикально переглянути стратегію використання Світового океану, в іншому випадку йому загрожує глобальна катастрофа.

Література

1. Субтельний Р. О. Кополімеризація продуктів нафтопереробки / Р. О. Субтельний, Ю. А. Курташ, Б. О. Дзіняк // І Міжнародна (ІІІ Всеукраїнська) конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології (23–25 квітня 2008 р., Київ) : зб. тез доп. – Київ, 2008. – С. 196.
2. Бородіна А. І. Сучасні проблеми світового океану та методи їх вирішення / Бородіна А. І., Бугай А. С. ; за ред. І. І. Гіхман. – Київ : Рад. шк., 1979. – 606 с
3. Геодезія, картографія і аерофотознімання : укр. міжвід. наук.-техн. зб. / Нац. ун-т «Львів. політехніка» ; [відп. ред. К. Р. Третяк]. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2008. – Вип. 70. – 88 с.: іл.

УДК: 628.35:[504.06:005.336.1]

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИСНИХ СПОРУД

Короткевич М.І. магістр ІІ курсу, Шевченко Р.І., канд. техн. наук, доцент
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Анотація. Проведено аналіз сучасних методів очистки стічних вод, розраховано екологічну ефективність роботи станцій біологічної очистки у м. Одеса. На основі проведеного аналізу, встановлено, що найбільш екологічно безпечною за величиною емісії парникових газів є технологія анаеробно-аеробної очистки. Встановлено, що оптимальна з екологічної точки зору технологія призводить також до утворення додаткових ресурсів – біодобрив та енергії у вигляді біогазу, що підвищує економічний ефект використання технології. Виявлено, що найбільш значимим етапом досліджуваної технології, який здійснює вирішальний позитивний вплив на екологічний ефект всього процесу очистки, є метанове зброджування стічних вод.

Ключові слова: *стічні води, станція біологічної оцінки, емісія парникових газів, когенераційна установка.*

Annotation. The analysis of modern methods of sewage treatment is carried out, ecological overall performance of stations biological treatment plant in Odessa is calculated. On the basis of the spent analysis, established that most ecologically safe issue behind size of hotbed gases there is a technology combining anaerobic and aerobic methods of clearing. Established that the optimum technology from the ecological point of view leads also to formation of additional resources - biological fertilizer and energy in the form of biogas which raises economic benefit of use of technology. Revealed that the most significant stage of investigated technology which carries out solving positive influence on ecological effect of all process of clearing, is methane fermentation sewage.

Keywords: *sewage, station of a biological assessment, greenhouse gas emissions, cogeneration installation.*

Очищення стічних вод в м. Одесі проводиться на станціях біологічного очищення «Південна» і «Північна» за традиційними схемами (Рис.1-2).

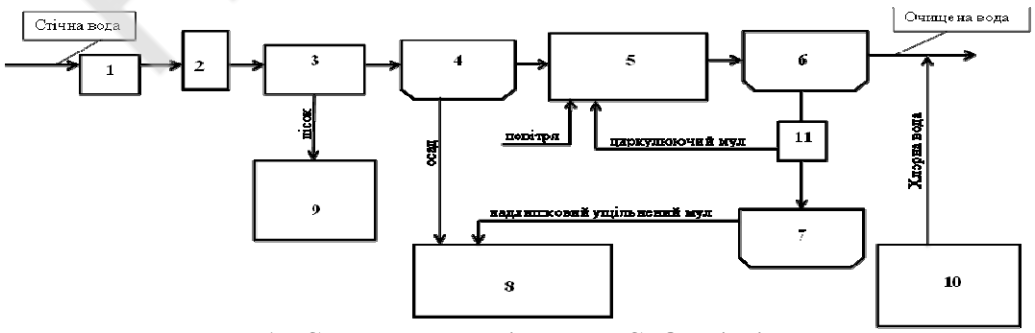


Рис. 1 – Схема очистки стічних вод СБО «Північна»
1 – камера прийому, 2 – споруда решіток, 3-пісколовки, 4 – первинний радіальний відстійник, 5 – аеротенк, 6 – вторинний радіальний відстійник, 7 – мулоущільнювач, 8 – мулові поля, 9 – пісочні поля, 10 – хлораторна, 11– мулова насосна станція

На станцію біологічної очистки «Північна» надходять дощові та господарсько-побутові стічні води об'ємом 170-190 тис. м³/добу. Станція приймає стічні води в основному з центральної частини міста, а також районів Пересипу, Молдаванки, Слобідки, ж/м Котовського, 7-го км, Овідіопольської дороги і, частково, Малиновського району, що відносяться територіально до цієї зони. Збір і подача стічних вод здійснюється 8-ма основними насосними станціями, які подаються на насосну станцію КНС-1 , яка перекачує стоки в приймальню чашу очисних споруд.

На станцію біологічної очистки «Південна» надходять господарсько-побутові стічні води південної частини міста, Чорноморки та лівого берега Сухого Лиману. Збір і подача стічних вод на СБО здійснюється 8-ма основними насосними станціями. Фактично на станцію біологічної очистки надходить 70-90 тис. м³ стічних вод на добу.

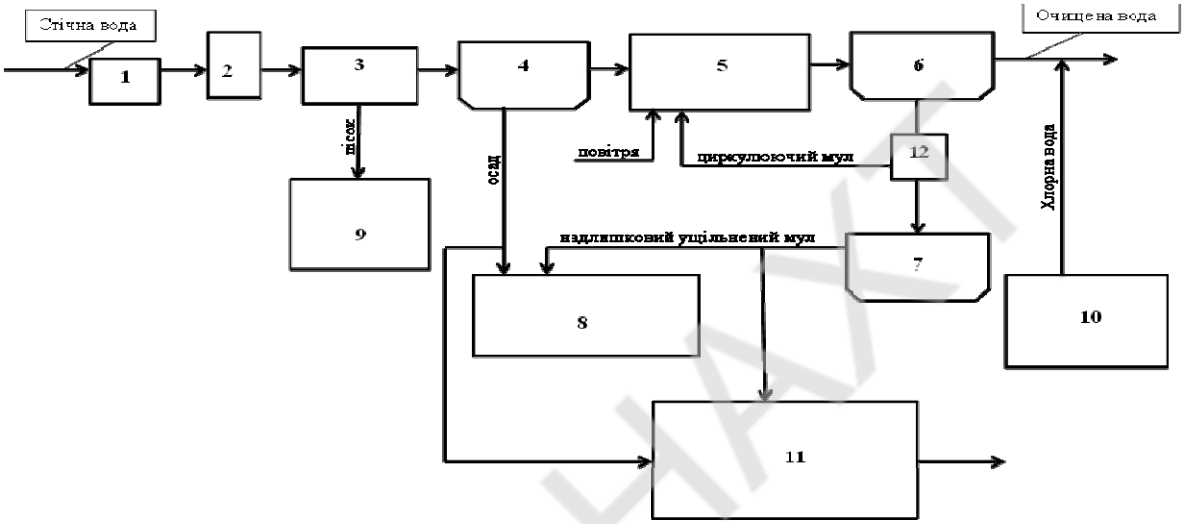


Рис. 2 – Схема очистки стічних вод СБО «Південна»
1 – камера прийому, 2 – споруда решіток, 3 – пісколовки, 4 – первинний радіальний відстійник, 5 – аеротенк, 6 – вторинний радіальний відстійник, 7– мулоущільнювач,8 – мулові поля, 9 – пісочні поля, 10 – хлораторна, 11– цех механічного зневоднення осаду, 12 – камера ерліфтів

В ході очищення стічних вод на довкілля здійснюється суттєвий негативний вплив. Перш за все це пов'язано з викидами парникових газів (ПГ), забрудненням ґрунту, ґрунтових та поверхневих вод. На даний момент проблема викиду ПГ виступає на перший план через глобальне потепління. В той же час величина викиду ПГ на одиницю об'єму очищеної води може бути достатньо адекватною характеристикою екологічної ефективності використовуваної технології та роботи СБО взагалі. Під час розрахунків емісії парникових газів можливо чітко простежити основні точки викиду парникових газів. Розрахунок викидів ПГ при роботі СБО здійснюється за методикою Міжурядової групи експертів зі змін клімату (МГЕЗК) [1]. Дана методика пропонує покроковий розрахунок з використанням методології другого та третього рівня розрахунку. Методики МГЕЗК пропонують розрахункові схеми для викидів метану, як для анаеробних реакторів, так і для принципово аеробних зон, але працюючих у нерозрахункових режимах або під підвищеним навантаженням. У цьому випадку також може утворюватися метан, хоча й у незначній кількості.

Основні фактори, що визначають викиди парникових газів на СБО є:

1. Викиди ПГ, що відбуваються в результаті споживання електроенергії, яка використовується системами водопостачання та водовідведення.
2. Викиди ПГ, що відбуваються в результаті споживання електроенергії насосним та очисним обладнанням.
3. Викиди ПГ, що відбуваються в результаті споживання електроенергії, яка використовується системою очистки стоків (повітродувки аеротенків).
4. Викиди ПГ, що відбуваються в результаті використання викопного палива котельним обладнанням.
5. Викиди ПГ (метану, оксидів Нітрогену та Карбону) при очищенні стічних вод, в ході обробки мулу.

Аналізуючи основні фактори, ми можемо зробити висновок, що викиди ПГ відбуваються майже на всіх етапах очистки стічних вод і, в основному, пов'язані з використанням електроенергії та процесами, що відбуваються при обробці мулу . У випадку обробки осаду в метантенку й наступного спалювання біогазу для одержання теплової або електричної енергії можливими джерелами метану є витоки останнього з метантенка й трубопроводів і неповне згоряння метану. Останнім фактором звичайно нехтують.

Найбільш енергоємним етапом є біологічна очистка – витрачається 85% електроенергії, що використовують всі очисні споруди. Суттєвою складовою енерговитрат на аерацію можуть бути втрати на тертя. Це може відбуватися при кольматації (забиванні) диспергаторів повітря аераційних систем, коли вони працюють більше строку експлуатації, або в них подається невідфільтроване запилене повітря.

Для зменшення викидів ПГ та покращення роботи СБО необхідно розглянути можливість встановлення метантенків та когераційних установок. В метантенках може зброджуватися суміш первинного і залишкового активного мулу. Кількість біогазу, який може вироблятись в метантенках двох станцій («Північна» та «Південна»), буде становити, приблизно, 7 мільйонів м^3 на рік. Отриманий біогаз може спалюватись в когенераційних установках на базі газопоршневих двигунів з утворенням значної кількості енергії і тепла. Спалювання отриманого із мулу біогазу в газових двигунах є добре випробуваною технологією, яка успішно використовується в багатьох країнах світу, таких як Канада, Китай, Японія і багато інших.

Висновок

Станції очистки стічних вод значною мірою можуть забезпечувати себе електроенергією і теплом, зменшити площу, або навіть позбутися потреби у мулових площадках і все це при суттєвому підвищенні екологічної ефективності.

Література

1 Methodology For Assessing Carbon Footprint Of Wastewater Treatment Plants [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://14000.ru/projects/carbon-footprint/methodology – Назва з екрану.

БІОТЕХНОЛОГІЧНА УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ – ЕКОЛОГІЧНИЙ МЕТОД ТА ВИРІШЕННЯ ГЛОБАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ ЛЮДСТВА

Крусір Г.В., д.т.н., проф., Вітюніна Ю.І., магістр ІІ курсу
факультету ПЕЕта НТ
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

У результаті діяльності людини на всіх етапах виробництва і в побуті з’являється величезна кількість різноманітних (твердих, рідких і газоподібних) відходів, які забруднюють біосферу і створюють загрозу для здоров’я населення. У наш час кількість продукованих людиною відходів досягла геологічних масштабів. Виникнення локальних екологічних проблем, пов’язаних із забрудненням атмосферного повітря і ґрунтів, засміченням і забрудненням природних вод, переносом трансграничних забруднювачів, призводить до накопичення в навколишньому природному середовищі шкідливих речовин.

Усвідомлення наслідків забруднення навколишнього природного середовища і виснаження запасів природних ресурсів сприяло тому, що глобальним напрямком стала розробка підходів до знешкодження і повторного використання відходів у ролі вторинних матеріальних ресурсів. Переробка створюваних суспільством відходів є одним з показників його стійкості. Тому, в більшості розвинених країн світу утилізація і знешкодження відходів стали пріоритетними в складі галузей економіки. Переробка відходів досягає 80 %, а їх знешкодження відбувається з дотриманням усіх екологічних вимог.

Однак в Україні на сучасному етапі не подолано розрив між прогресуючим накопиченням відходів та заходами з їх утилізації і знешкодження. Спостерігається поглиблення екологічної кризи.

Сьогодні в більшості розвинених країн у сфері поводження з відходами спостерігається перехід від стратегії складування на полігонах та сміттєспалювання до альтернативних рішень цієї проблеми, які максимально знижують негативний вплив відходів на довкілля. Практичний досвід поводження з відходами у різних країнах свідчить, що не існує універсального методу, який би задовольняв сучасні вимоги екології, економіки та ресурсозбереження. Цим вимогам, тенденціям розвитку світової практики найбільшою мірою відповідає впровадження методів біотехнологічної утилізації.

Ще недавно термін «біотехнологія» був відсутнім у науковій практиці, замість нього вживалися терміни «промислова мікробіологія», «технічна біохімія», «біотехніка» тощо. Нове поняття, що зосередило в собі всі попередні трактування, з’явилося недавно (близько 35–40 років тому). Це було пов’язано з тим, що біологія як наукова основа біотехнологічних процесів і систем протягом останніх десятиріч зробила упевнений крок уперед на шляху пізнання різних форм життя.

Біотехнологія (від грец. bios – життя, techne – мистецтво, майстерність та logos – слово, учення) являє собою наукову галузь, що досліджує можливості використання живих організмів та біологічних процесів у промисловому виробництві.

Вермикультивування являє собою штучне розведення технологічних дощових черв'яків для переробки органічних відходів в біологічно активне високоефективне добриво - вермикомпост. Вермикомпост містить не тільки всі необхідні для росту рослин поживні речовини в збалансованому вигляді, але також і велику кількість стимуляторів росту, ферментів, антибіотиків, що виділяються черв'яками і комплексом асоціативної мікрофлори. Одним з найважливіших агротехнічних переваг вермикомпоста перед традиційним підстилковим гноєм є відсутність в ньому яєць гельмінтів, патогенної мікрофлори і високі удобрювальні і технологічні властивості.

Вермикультивування – це переробка органомістких відходів за допомогою дощових черв'яків, зокрема, гібрида червоного каліфорнійського черв'яка. Органічна сировина, заселена черв'яками, протягом 1 - 2 днів втрачає неприємний запах, а через 4 - 5 тижнів за їх допомогою перетворюється на високоякісне органічне добриво - вермикомпост.

Природа створила масу унікальних істот. І одне з них дощові (червоні каліфорнійські) черв'яки, які в результаті своєї життєдіяльності проводять лише цінності, значення яких неможливо переоцінити. На жаль, величезна кількість схожих назв продукту, отриманого різними біологічними способами, вносить плутанину і ускладнює усвідомлення шляхів найбільш ефективного його отримання. Так, біогумус, утворений за допомогою черв'яків, природно відрізняється від біогумусу мікробіологічного, має інші технологічні параметри переробки, іншу циклічність, собівартість при відтворенні в штучних умовах. З іншої сторони, цей процес також природний для природи і сповна успішно реалізується без участі людини.

Кінцева продукція вермикультивування – біокомпост, являє собою джерело стабільного органічного й неорганічного комплексу продуктів розпаду високомолекулярних сполук, біомаси відмерлих мікроорганізмів, продуктів взаємодії названих компонентів і певної кількості живих організмів.

Вивчення, аналіз і усвідомлення цього процесу на конкретних видах відходів з конкретними технологічними можливостями і умовами є важливим для пропозиції найбільш економічних способів переробки органічних відходів. Не дивлячись на важливість ролі дощових черв'яків у забезпеченні родючості ґрунту, до 60 - х років нашого століття проблема штучного їх розведення, отримання біогумусу та використання біомаси не ставилась перед сільськогосподарською практикою. На території України набирають розповсюдження ферми, які займаються розведенням дощових черв’яків для виготовлення біогумусу.

Крім того, на фоні зниження забезпеченості рослин основними елементами мінерального живлення і збільшення темпів деградації сільськогосподарських угідь, використання вермикомпосту сприяє відтворенню ґрунтової родючості та оздоровлення ґрунтів, зв'язування важких металів і радіонуклідів. Таким чином, вермикультивування відноситься до перспективних технологій, що дозволяє одночасно вирішити проблему утилізації органічних відходів, підвищення врожайності культур і якості сільськогосподарської продукції, а також захисту рослин від хвороб і шкідників

Безпосередня біотехнологічна переробка органічних відходів за допомогою вермикультури є важливим етапом їх утилізації, яка базується на використанні природного ланцюга кругообігу речовин.

КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ПОТОЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОЧИСНИХ СПОРУД ПІДПРИЄМСТВ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ

Маджд С.М., к.т.н., доцент
Національний авіаційний університет, Київ,Україна

На сьогодні проведення екологічних досліджень хімічного рівня забруднення водних об’єктів в зоні функціонування підприємств цивільної авіації є надзвичайно актуальним, оскільки методики оцінки техногенного впливу на їх стан в науковій літературі не достатньо розкриті.

В середньому при скиданні 1 м^3 виробничих стічних вод авіапідприємств забруднюється близько 60 м^3 природних вод [1, 2]. Тому оцінка роботи очисних споруд авіапідприємств, які скидають свої стічні води у поверхневі водойми, є досить актуальною проблемою, оскільки якість поверхневих вод прямо залежить від ефективності їх роботи. І тому метою роботи є аналіз сучасного стану проблем експлуатації очисних споруд підприємств цивільної авіації.

Основним джерелом забруднення поверхневих та ґрунтових вод на територіях прилеглих до авіапідприємств виступають недостатньо очищені стічні вод та забруднюючі речовин які надходять з атмосфери та ґрунту [3, 4].

В ході роботи встановлено, що до водних об'єктів, які підлягають впливу авіатранспортних процесів, разом із стічними водами надходять: мінеральні суміші, феноли, важкі метали, хімічні суміші для миття літаків, мінеральні масла, розчинені органічні домішки та азотовмісні речовини. Але до числа основних важкоокиснюваних органічних речовин-забруднювачів водойм поблизу підприємств цивільної авіації відноситься нафта і нафтопродукти [2,5].

Бактеріальне окиснювання нафтопродуктів на дні водойм відбувається в 10 разів повільніше, ніж на поверхні. У водних об'єктах приблизно 40% нафти осідає на дно, 40% залишається у воді у вигляді емульсії і 20% є присутнім на поверхні у вигляді плівки, що (навіть товщиною 0,5 мм) ускладнює аерацію води. Самоочищення водойм від нафти відбувається дуже повільно. За 2–7 діб вміст емульгованих нафтопродуктів у воді може знизитися при 20°С на 40%, а при 5°С лише на 15% [1,3].

Для очистки стічних вод підприємств з експлуатації та ремонту авіаційної техніки перед скидом до поверхневих вод використовується механічний метод очистки із застосуванням чотирьох залізобетонних відстійників і восьми нафтовловлювачів. Цей метод зводиться до відстоювання стічної води та видалення компонентів вуглеводневих сполук за допомогою реагентів, шляхом створення водно-нафтових емульсій і коагуляції завислих речовин.

Попередня очистка стічних вод авіапідприємств проводиться на станції нейтралізації. Принцип роботи станції нейтралізації полягає в наступному. Хромміст кі і кисло-лужні стоки потрапляють до накопичувачів об'ємом 30 та 60 м^3. Хромміст кі стоки з накопичувача перекачуються в реактор-відстійник об'ємом 56,3 м^3, в який подається 5%-й розчин сірчаної кислоти для доведення кислотності стоків до величини pH 2,5. Після чого подається 5%-й розчин бісульфіту натрію до відновлення Cr^{6+} до Cr^{3+}. Для утворення гідроксиду хрому в реактор добавляється 5%-й розчин лугу з метою доведення кислотності стічних вод до величини pH 8,5. Кислотно-лужні стоки з накопичувача перекачуються в реактор-відстійник, куди подається 5%-й розчин лугу. Процес подачі лугу супроводжується інтенсивним перемішуванням стислим повітрям до величини pH 8,5.Стічні води перебувають у реакторі-відстійникі 3 години до утворення осаду. Після цього відстояну воду направляють для подальшої очистки на механічних фільтрах, а осад, що утворився, збирається в ущільнювачі шламу і зневоднюється у випарювальній установці. Далі сухий залишок збирають і відправляють на утилізацію.

Висновки

Досліджений технологічний процес очистки стічних вод очисних споруд підприємств цивільної авіації. Проведений критичний аналіз проблем поточної експлуатації очисних споруд авіапідприємств в ході якого встановлено, що для забезпечення екологічної безпеки підприємствах цивільної авіації, знешкодження поверхневого стоку повинно бути диференційованим через нерівномірний його розподіл. У першу чергу необхідно очищати поверхневий стік з ділянок технічного обслуговування (у тому числі із площадок: миття й обробки проти зледеніння літальних апаратів спецрідинами; дегазації повітряних суден і устаткування, яке застосовується на авіахімроботах; змиву лакофарбових покриттів і фарбування літаків; миття автотранспортної техніки й спецмашин). Необхідно очищати стоки з ділянок авіапідприємств з інтенсивним рухом авіатранспорту й аеродромної техніки, площа яких становить близько 25% площі штучних покриттів аеродрому.

Література

1. Загальна екологія: навч. посіб. / Г.М. Франчук, С.М. Маджд, М.М. Радомська, Є.О. Бовсуновський. – К.: НАУ, 2015. – 232 с.
2. Маджд С.М. Оцінка техногенного впливу авіапідприємств на стан водойм / С.М. Маджд // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2014.– Вип.14. – С.101–106.
3. Кендзіор З. Автоматизована система моніторингу рівня забруднення рік та керування процесами очищення : дис. канд. техн. наук : 05.13.06 / Здзіслав Кендзіор. – Л., 2004. – 151 с.
4. Франчук Г.М. Комплексна оцінка якості водних екосистем, забруднених скидами стічних вод аеропорту / Г.М. Франчук, С.М. Маджд, А.В. Бондарук // Наукоємні технології. – 2014. – №2. – С. 246–249.
5. Маджд С.М. Токсикологічна оцінка якості ґрунтових вод на територіях прилеглих до об'єктів цивільної авіації / С.М. Маджд // Проблеми водовідведення та гідравліки : наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2014.– Вип.23. – С.60–65.

ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД НАФТОПРОДУКТАМИ ТА ШЛЯХИ ЙОГО ЗНИЖЕННЯ

Січевий О. В., д.т.н., проф., Левицька О. Г., к.т.н.
Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара

Світовий океан є одним із найцінніших джерел життєдіяльності людини. Однак його забруднення досягає на сьогоднішній день критичних рівнів. Так, у світовий океан вже скинуто мільярди тон сміття та стічних вод, з середини минулого сторіччя розвиненими країнами світу було почато активне захоронення радіоактивних відходів в океанських глибинах.

Постійно збільшуються масштаби нафтовидобування із шельфу Світового океану. При перевезенні вантажів, зокрема нафти і нафтопродуктів, водним транспортом мають місце випадки аварій, що спричиняють вивільнення у навколишнє середовище десятки тон токсичних продуктів. Відомо, що кожна тонна нафти утворює нафтову плівку площею до дванадцяти квадратних кілометрів. Такі плівки перешкоджають доступу кисню, сонячних променів, що ускладнює процеси фотосинтезу та разом із токсичною дією забрудників призводять до загибелі рослин чи тварин та порушення функціональної роботи природних екосистем.

Саме тому актуальними стають задачі збирання плаваючих нафтових плівок, сміття та доочищення поверхневих вод, котрі із-за великих об'ємів води виконати складно як з технологічної, так і з економічної точки зору. Отже, для покращення екологічного стану Світового океану за можливості необхідно запобігати забрудненням.

Знизити рівень забрудненості поверхневих вод нафтопродуктами можливо при встановленні фільтруючого обладнання на суднах та баржах для очищення промивних стічних вод та баластних вод, котрі часто без попереднього очищення скидаються до поверхневих водойм. З цією метою авторами проводяться дослідження щодо розроблення сорбуючого матеріалу для оснащення фільтрів очищення стічних вод від нафтопродуктів.

При розробці сорбуючих матеріалів були оцінені властивості гранульованих активованих вугіль із різним розміром переважаючих пор та виділено вищу сорбуючу ємність за рядом нафтопродуктів для активованих вугіль, виконаних із берези та кокосової шкаралупи. На основі вказаних вугіль та зв'язуючих матеріалів виконані сорбенти, котрі мають монолітну структуру, що підвищує ефективність процесів очищення води завдяки відсутності канального ефекту, котрий має місце при використанні гранульованих вугіль.

Авторами були визначені співвідношення складових компонентів, необхідні температури та особливості технологічного процесу виготовлення сорбуючих матеріалів, виконані експериментальні зразки сорбентів на основі кокосових та березових активованих вугіль та визначена їх сорбційна ємність у статичних та динамічних умовах для нафтопродуктів легкої та середньої фракцій.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕКОЛОГІЇ

Солошенко С. Ю., Студент групи ЕК-436, Кіріяк А. В. к.х.н., доцент
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Екологія - наука, що вивчає взаємини живої і неживої природи.

Тема «Проблеми екології» на даний час дуже актуальна. У цій роботі складено перелік деяких основних екологічних проблем, а також розкрито причини їх появи і наслідки, що виникають в результаті варварського використання природних ресурсів.

Забруднення атмосфери, забруднення грунту, забруднення світового океану, забруднення атмосфери.

Транспорт і промисловість, використовувані людиною, споживають велику кількість кисню з атмосфери, при цьому суспільство не поповнює втрати і не виконує встановлених норм по очищенню відходів до викиду їх в атмосферу.

Щорічно в атмосферу надходить не менше 1250 млн.т. оксиду вуглецю, до 170 млн.т. сірчистого ангідриду, 20 млн.т. оксидів азоту, а також сірководень, сірковуглець, сполуки хлору, сполуки фтору і багато інші шкідливі хімічні елементи.

Теплоенергетика. Крім освіти маси шлаків при спалюванні кам'яного вугілля, з теплоенергетикою пов'язано виділення в атмосферу сажі, незгорілих частинок, оксидів сірки, врешті-решт опиняються в грунті.

Транспорт. При роботі двигунів внутрішнього згоряння інтенсивно виділяються оксиди азоту, свинець, вуглеводні та інші речовини, які осідають на поверхні грунту або поглинаються рослинами. Все це веде до зменшення родючості і здатності життєзабезпечення землі.

Забруднення світового океану.

Щорічно в світовий океан надходить нафти і нафтопродуктів 26,563 млн.т., хімічних речовин приблизно 200 млн.т., фенолів 0,460 млн.т, відходів виробництв синтетичних волокон 5,500 млн.т, а також безліч інших шкідливих речовин.

На жаль, в даний час людство мало що здійснює задля очищення і поліпшення стану природи. Будівництво очисних заводів, на яких відбувалася б переробка відходів, зменшення викиду в атмосферу газових речовин набагато покращили б екологічний стан природи.

Література

1. http://www.wildanimals.ru/
2. http://ecology-94.narod.ru/

ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН МЕГАПОЛІСІВ СВІТУ ТА НАЙВАЖЛИВІШІ ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЦЕЙ СТАН

Фундамент А.В., студентка ф-ту ПЕЕтаНГТ, Цикало А.Л., д.т.н., професор
Одеська національна академія харчових технологій

Проаналізовано екологічний стан основних мегаполісів сучасного світу, включаючи загальний рівень екологічної культури, ефективність використання життєво необхідних ресурсів (питна вода, технічні води, сировина, харчові ресурси, енергоресурси тощо), ефективність та безпеку поводження з побутовими та промисловими відходами (переробка, утилізація, знезараження, дезактивація, захована тощо), загальна екологічна та промислова безпека, готовність до передбачення, запобігання, протидії надзвичайним ситуаціям природного, техногенного та змішаного характеру, захист природних і штучних водойм та прибережних смуг, оборотне водокористування тощо.

На основі широкого кола існуючих даних зроблено висновок, що місця розташування мегаполісів світу та найбільших агломерацій відповідають двом важливим критеріям: 1. Ці місця переважно зосереджені на узбережжі великих водойм (океанів, морів, великих озер та річок, водосховищ, річкових дельт тощо); 2. Місця розташування мегаполісів переважно відповідають зоні помірно-теплого або помірно-спекотного клімату. Одночасно на цих самих місцях існує найбільша щільність населення; саме тут зосереджені порти, морські та річкові термінали, джерела життєзабезпечення, сховища речовин і матеріалів (у тому числі – хлору, аміаку, метану, зрідженого природного газу, нафтопродуктів тощо). Все це загострює загальну екологічну ситуацію. Цілком зрозуміло, що безпосередньо на території мегаполісу спостерігається найбільша щільність життєвих та промислових споруд (у тому числі – багатоповерхових), мостів, інженерних мереж тощо. Все це сприяє підвищенню ризиків надзвичайних ситуацій, аварій та катастроф (у тому числі – змішаного та комплексного характеру). З іншого боку, мегаполіси, де зосереджені наукові та науково-технічні заклади, проектні та дослідні інститути, величезний інженерно-технічний потенціал, спроможні вирішувати актуальні складні задачі, що дозволяє зменшити екологічну напруженість та відповідні ризики.

Дуже характерна динаміка зростання кількості мегаполісів у світі: у 1970 р. було 8 міст з населенням більше 10 млн., в 2010 – було 27 таких міст, до 2020 р. їх очікується 37. Такому зростанню сприяє розширення міст-мільйонників, приєднання до них сусідніх територій та населених пунктів, а також злиття до того самостійних великих міст (наприклад, Токіо та Йокогама, великі райони Лондона тощо).

На основі аналізу літературних даних та результатів спеціальних досліджень були визначені кількості води, електричної і теплової енергії та інших ресурсів, що використовують міста-мегаполіси з населенням більше 10млн. При цьому були виявлені такі особливості та факти: Нью-Йоркський мегаполіс витрачає більше електроенергії, ніж Токіо (хоча населення американського мегаполісу на 12 млн менше, ніж мегаполісу Токіо). В Токіо спостерігається суттєвий прогрес у створенні ефективної системи водозабезпечення. Зокрема, тут втрачається лише 3% води. Це значно менше втрат води у Ріо-де-Жанейро

та у Сан-Паулу (там втрачається до 50% води). Лондонський мегаполіс поступово знижує втрати електроенергії, хоча його внутрішній валовий продукт зростає. Особлива спеціалізована система вторинного використання води створена в мегаполісі Сеулу (Південна Корея).

На основі результатів виконаного аналізу запропоновано введення і використання модельного (типового) мегаполісу з населенням 10 млн для забезпечення можливості порівняння екологічних показників різних мегаполісів світу.

ПРО ЗАЛЕЖНІСТЬ ІМОВІРНОСТІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, АВАРІЙ ТА КАТАСТРОФ ВІД ВАЖКОСТІ ЇХНІХ НАСЛІДКІВ ТА ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, СИСТЕМ ТА ОБЛАДНАННЯ

Цикало А. Л., д. х. н. проф., Клошка Н. В. , студентка
Одеська національна академія харчових технологій

Залежність імовірності надзвичайних ситуацій (W) від важкості їхніх наслідків (Q) та терміну експлуатації відповідних технічних засобів, систем та обладнання (t) має велике значення, оскільки ця залежність дозволяє вирішити низку важливих практичних проблем. Серед них – розробка імовірних сценаріїв розвитку подій у випадках надзвичайних ситуацій (НС), аварій (А) та катастроф (К), підготовка планів і програм дій щодо запобігання, протидії та зменшення негативних наслідків НС, А та К, планування необхідних рятівних, лікувальних і транспортних підрозділів та засобів. Крім того, значення цієї залежності дозволяє визначити рівні ризиків відповідних негативних подій та масштаби їхніх наслідків.

У найбільш спрощеному варіанті (t=idem) цю залежність було якісно визначено на основі даних натурних спостережень (тобто залежність W(Q) мала суто емпіричне підґрунтя). Іноді цю емпіричну залежність називають «правилом Фармера». Однак пізніше було знайдено теоретичне обґрунтування цього емпіричного правила на базі уявлення про «систему захисних бар'єрів» технічних об'єктів, яке може бути розповсюджено також на «систему захисних реакцій» біологічних об'єктів (А. Л. Цикало).

Але, слід підкреслити, що у той же час має місце залежність W від терміну експлуатації технічних систем, технологічних засобів та обладнання t. Так, підвищений рівень W на початковому етапі експлуатації технічних об'єктів (I) обумовлено можливими помилками конструкторів, технологів (ці помилки переважно виявляються на цьому початковому етапі експлуатації), приробкою деталей, недостатнім досвідом операторів, тощо); порівняно незначний рівень W спостерігається на найбільшому періоді II (основний робочий термін експлуатації технічних об'єктів); на завершальному етапі експлуатації обладнання III спостерігається природне збільшення W, що обумовлене зношеністю деталей, старінням конструкційних, теплоізоляційних та інших використаних матеріалів.

Отож, виникає уявлення про доцільність введення трьохмірної залежності W(Q, t) для технічних об'єктів, систем та обладнання, якісний характер якої є на цей час досить зрозумілий.

Слід зауважити, що якісно аналогічний вид цієї залежності є характерним також для біологічних об'єктів.

Розглянуто можливість узагальнення запропонованої залежності з метою її використання для запобігання, протидії та управління розвитком НС, А та К різних масштабів та різної природи (техногенні, природні, змішані), у тому числі – пожежі, вибухи, транспортні пригоди, руйнування мостів та інших технічних споруд, розливи, викиди екологічно небезпечних, токсичних, вибухо- та пожеженебезпечних речовин і матеріалів тощо.

ПРО УРАХУВАННЯ ФАКТОРІВ РИЗИКУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ,АВАРІЙ ТА КАТАСТРОФ ПРИ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОМУ АНАЛІЗІ ПОВНОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Цикало А. Л., д. х. н, професор, Погольша К. В., студентка
Одеська національна академія харчових технологій

Використання методу повного життєвого циклу (МПЖЦ) з метою детального аналізу еколого-економічних показників технологій виробництва різних видів продукції - матеріалів,технічних об'єктів,виробів, приладів та іншого обладнання з метою об'єктивного порівняння і відбору оптимальних варіантів є найбільш обгрунтованим сучасним підходом вирішення складних еколого-економічних проблем. Привабливою особливістю цього методу є можливість визначення наслідків технологічних процесів вироблення речовин та матеріалів,подальшого використання матеріалів та іншої продукції, експлуатації обладнання та інших технічних об'єктів аж до кінця використання або експлуатації виробів та обладнання, включаючи знезараження, дезактивацію, захована або утилізацію відповідних відходів .При цьому враховуються витрати сировини,інших природних ресурсів та різних видів енергії на усіх етапах виробництва і експлуатації продукції (обладнання).

Проте важливим принциповим недоліком МПЖЦ є те,що згідно з існуючою методикою при його реалізаціївраховують лише реальні небезпеки (зокрема,викиди ,витоки речовин, небезпечних для оточуючого середовища та людей,на їхній вплив на озоновий шар тощо. Але зовсім не враховуються потенційні небезпеки (можливі та імовірні надзвичайні ситуації,аварії та катастрофи – пожежі, вибухи, землетруси, зсуви тощо). Як свідчать існуючі об'єктивні дані, саме негативні наслідки надзвичайних ситуацій,аварій та катастроф завдають великої шкоди для оточуючого середовища,призводять до загибелі людей,негативно впливають на життєзабезпечуючі та інші вразливі об'єкти. Яскравими прикладами є найбільші техногенні катастрофи останніх десятиліть –Чорнобильська катастрофа (Україна) та аварія на АЕС «Фукусіма» (Японія), негативні наслідки і збитки від яких внаслідок недоурахування імовірних лих та неприйняття відповідних мір і заходів значно перевищують реальний ефект використання найбільш розвинутих та обгрунтованих методів еколого-економічної оптимізаці, ї у тому числі, ПЖЦ.

У зв'язку з викладеним вище запропоновано нову версію МПЖЦ, в якій враховується внесок наслідків імовірних надзвичайних ситуацій, аварій та катастроф при реалізації МПЖЦ щодо відповідного життєвого циклу матеріалів, виробів, технічного обладнання – від їх виробництва до утилізації (знезараження, дезактивація або захована) відходів. При цьому має бути використаний підхід, заснований на залежності W(Q,t), запропонованій в іншій роботі цього Збірника.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ УТИЛІЗАЦІЇ ХАРЧОВОЇ УПАКОВКИ

Пашняк А.В., Михайлова Н.Г., студенти ф-ту ПЕЕтаНГТ,
Кіріяк Г.В. канд. техн. наук, доцент
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Пакувальні матеріали відіграють важливу роль у формуванні асортименту товарів, їх іміджу, забезпеченні, зберігаємості в процесі товаропросування. За останні роки спостерігається інтенсивний розвиток ринку пакувальних матеріалів, пакувальних технологій, а також тари. З розвитком техніки та технології отримання пакувальних матеріалів розширюються функції упаковки. Крім створення інертного бар'єра між продуктами та оточуючим середовищем, упаковка все активніше перетворюється у виробничу операцію. За її допомоги можна регулювати температуру нагрівання харчових продуктів в мікрохвильових печах, формувати оптимальне газове середовище всередині упаковки, направлено змінювати склад продукту (біологічно активні матеріали з іммобілізованими ферментами, їстівні плівки тощо).

Пакувальний матеріал – це матеріал, з якого виробляють тару і який забезпечує можливість повторного використання тари чи екологічно чистого її зниження. Вони повинні захищати товари від шкідливого впливу, втрат, пошкоджень, поліпшувати ефективну доставку, транспортування, реалізацію та споживання товару, захищати навколишнє середовище від забруднення.

Пакувальні матеріали класифікують за такими ознаками: призначенням, походженням, станом та конфігурацією матеріалу, технологією виробництва, декором матеріалу.У сучасному світі існує велика

кількість видів харчової упаковки : матеріали з паперу, металеві матеріали і тара, скло і скляна тара, полімерні матеріали, упаковка Тетра-Пак, дерев'яна тара, транспортна тара.

В нашій країні використана харчова упаковка потрапляє на звалища сміття, тим самим забруднюючи довкілля, займаючи великі площі земних ділянок, і відповідно руйнують екосистему. Спалювати харчову упаковку просто разом із іншим сміттям не правильно, так як кожен вид сміття потребує окремої утилізації, а при спалюванні в атмосферу , в грунт (а далі і у підземні води) потрапляє велика кількість отруйних речовин .

У країнах Заходу існує сформована чітка ієрархія пріоритетів поводження з відходами харчової упаковки та іншим сміттям відповідно.

Найперше – це запобігання утворенню відходів. Намагатися зменшити їх, хоча у випадку з упаковкою це мало можливо, проте можна зменшити шкідливість упаковки.

Далі необхідно підготувати матеріал до повторного використання.

Сенс підготовки до повторного ви користування полягає в заходах ,які подовжують життя тих чи інших речей і дозволяють використовувати таку річ більше ніж один раз після її виготовлення. Наприклад скляна упаковка, металева, дерев'яна .

Рис.1 – Ієрархія пріоритетів поводження з відходами

Наступний етап поведінки з відходами – це переробка. Суспільство вже давно навчилося використовувати багато видів відходів як вторинну сировину. Це, зокрема, стосується переробки металу, пластику, скла та паперу. Переробка таких відходів дозволяє економити сировину, зменшувати негативний вплив на навколишнє середовище як шляхом економії сировини, так і зменшення кількості відходів, що захоронюються на сміттєзвалищах. Для переробки кожного виду відходів існує своя технологія, кожен вид переробляється окремо.

Спалювання і утилізація - для отримання тепла та енергії. Якщо переробка і компостування відходів недоцільні з технічних і економічних причин, в такому випадку варто утилізувати сміття. Мається на увазі спалювання у спеціальних печах, а не просто підпалювання сміття на звалищах.

Ліквідація сміття на звалища – останній спосіб поводження з відходами, і застосовуватися повинен тоді, коли всі інші вже вичерпані. Це пов'язано з тим, що відходи, які знаходяться на звалищах, як відомо, негативно впливають на навколишнє середовище.

Відповідно кожен вид упаковки, в залежності від своїх фізичних,хімічних властивостей, має свій порядок утилізації, для того, що б найменше нашкодити довкіллю.

В Україні екологічна ситуація з кожним роком тільки погіршується. Так як сміття в нашій країні не переробляється, не спалюється, а просто утилізується, його стає все більше і більше. А частка харчової упаковки від загальної кількості відходів складає 30 відсотків. Необхідно приділити цьому питанню більше уваги, поки ситуація не погіршилась.

Література

1. http://eco.com.ua
2. http://article.unipack.ru
3. http://www.ukrpryroda.org

УДК 699.86

ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ВІКОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Басок Б.І., д.т.н., проф., чл-кор. НАН України, Гончарук С.М., к.т.н., с.н.с., Кужель Л.М., н.с. Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, м. Київ

Аннотація*На основі проведених експериментальних досліджень теплопередачі через віконні конструкції, отримано оригінальні дані, які дають можливість визначити тепловтрати будівлі при реальних умовах її експлуатації. Методом чисельного моделювання досліджені закономірності теплопередачі через двокамерний та однокамерний склопакети.*

Ключові слова *– віконні конструкції, теплопередача, тепловтрати, двокамерний склопакет, однокамерний склопакет, профіль віконний, енергоефективність, енергозбереження.*

Найважливішими стратегічними задачами кожної країни є питання ефективного використання енергоресурсів та їх економії. Одним з варіантів вирішення проблеми енергозбереження є підвищення енергоефективності будівель та споруд, а саме: застосування комплексу заходів для покращення теплоізоляційних властивостей теплоізоляційної оболонки будівель, а також модернізація існуючих систем, що забезпечують тепловий комфорт.

Найбільші тепловтрати зовнішньої оболонки будівлі відбуваються через віконні конструкції в зв'язку з низьким значенням їх термічного опору теплопередачі, тому важливим завданням при підвищенні енергозбереження будівель різного призначення є оптимальний вибір саме віконних конструкцій [1]. Ефективним способом зниження втрат теплоти через огороджувальні конструкції будівель є заміна старих віконних конструкцій з низьким термічним опором на сучасні вікна з енергозберігаючими склопакетами. Так як поверхня звичайного віконного скла характеризуються високим ступенем чорноти (~ 0,84 ... 0,89), для зменшення променевої складової теплового потоку через вікно на внутрішні поверхні скла наносяться так звані низькоемісійні покриття («і»-скла, «k»-скла). Основними механізмами теплопереносу через такі конструкції є: теплопровідність через скло, конвекція в газовому середовищі, що заповнює простір між склом, а також променеве теплоперенесення між внутрішніми поверхнями скла. Зменшення теплопередачі через світлопрозорі огороджувальні конструкції досягається шляхом підвищення термічного опору скла і газового прошарку між склом, а також шляхом зниження рівня променевого теплопереносу [2]. Одним із способів підвищення опору теплопередачі світлопрозорих огороджувальних конструкцій, які впливають на променеву складову теплопередачі, є застосування селективного покриття [3]. При виробництві скла з низькоемісійним м'ягким покриттям як первинний матеріал використовують високоякісне листове скло, виготовлене з листового скла марки не нижче $М_1$. Виробляється скло згідно з ДСТУ БВ. 2.7 – 228:2009 (ГОСТ 31364 – 2007, MOD) "Скло з низькоемісійним м'ягким покриттям. Технічні умови" [4].

Таке покриття нанесено шляхом напилення, що містить вільні електрони, покриття з напівпровідникових оксидів металів. За рахунок явищ інтерференції і електропровідності скло з таким покриттям відображає теплові хвилі в інфрачервоному діапазоні, що дозволяє істотно скоротити тепловтрати приміщення. Відомо, що електропровідність пов'язана з випромінювальною здатністю, або поверхневою емісією. Параметром, що характеризує енергозберігаючі властивості скла, є його випромінювальна здатність, під якою розуміють властивість поверхні відбивати довгохвильове теплове випромінювання. Для порівняння, такий параметр як емісситент поверхні (Е) у звичайного скла має числове значення Е = 0,835, а у селективного - 0,04, що говорить про те, що емісія селективного скла на порядок нижче емісії скла звичайного, звідки й інша назва енергозберігаючого скла - низькоемісійне скло (часто застосовується англійська назва Low-E). У холодну погоду низькоемісійне скло відбиває, наприклад, всередину приміщення теплоту від опалювальних приладів, а в літній час, навпаки - енергозберігаюче покриття відбиває теплову енергію в довгохвильовому діапазоні назовні, створюючи тим самим відчуття прохолоди і комфорту. [5]

Отриманий банк експериментальних даних був використаний для розробки алгоритму визначення тепловтрат через віконні конструкції. А методом чисельного моделювання проведені дослідження закономірності теплопередачі через склопакети. Встановлені особливості які впливають на збільшення термічного опору двокамерного склопакету в порівнянні з однокамерним, знайдені залежності термічного опору двокамерного склопакету від товщини газового прошарку і температури на його зовнішній поверхні. Було встановлено, що сумарний тепловий потік через двокамерний склопакет складає Q = 73,6 Вт; при

цьому на радіаційну складову припадає 59% сумарного теплового потоку в камері, яка знаходиться біля зовнішнього скла (Q_r=43,6 Вт) і 62% - у внутрішній камері (Q_r=45,6 Вт). Також встановлено, що сумарний тепловий потік через однокамерний склопакет при аналогічних температурних умовах значно перевищує величину теплового потоку через двокамерний склопакет і складає Q =127,5 Вт; хоча конвективний теплообмін в однокамерному склопакеті виявляється більш інтенсивним, ніж в двокамерному, його частка в сумарному тепловому потоці становить лише 34% від загального теплового потоку, в той час, коли радіаційний тепловий потік складає Qr = 84,7 Вт (тобто 66% від сумарного теплового потоку). Опір теплопередачі однокамерного склопакета R=0,34 м^2·К/Вт, що в 1,7 рази нижче, ніж двокамерного склопакету. Також було проаналізовано вплив газового прошарку на термічний опір склопакету та встановлено, що у випадку наповнення камер двокамерного склопакета аргоном, радіаційні складові теплового потоку практично не змінюються, а конвективні і кондуктивні потоки зменшуються в 1,48 рази. Це призводить до збільшення загального термічного опору склопакета в 1,14 рази.

Також досліджено віконні профілі – трикамерні, п’яти- та шестикамерні. Отримано підтвердження того факту, що наявність більшої кількості повітряних камер в констукції сприяє зменшенню теплопередачі через профіль.

Висновки

Експериментально та методом теплофізичного моделювання було встановлено, що заміна повітряного прошарку в склопакеті на аргонове заповнення в камерах двокамерного склопакету сприяє зниженню лише кондуктивної складової загального теплового потоку. Радіаційна складова при цьому практично не змінюється. Для більш значного підвищення термічного опору склопакета необхідно зменшувати радіаційну складову теплового потоку шляхом нанесення низькоемісійних покриттів на внутрішні поверхні скла.

Література

1. *Басок Б.І., Давиденко Б.В., Гончарук С.М., Кужель Л.М.* Експериментальні дослідження теплопереносу через сучасні віконні конструкції в реальних умовах експлуатації [Електронний ресурс] / Басок Б.І., Давиденко Б.В., Гончарук С.М., Кужель Л.М. / Режим доступу: http://wt.com.ua/wt_60_2015_online/flippingbook.swf
2. *Басок Б.И., Давиденко Б.В., Новицкая М.П., Гончарук С.М., Недбайло А.Н.* Влияние толщины газовой прослойки на термическое сопротивление однокамерного стеклопакета // Пром. теплотехника, 2012, т.34, №1, с. 100 – 107.
3. Сучасні українські будівельні матеріали, вироби та конструкції. Науково-практичний довідник / К: Асоціація “Всеукраїнський союз виробників будівельних матеріалів та виробів”, 2012.
4. *Петров Е.В., Качаева С.Г., Алексеев А.А.* Исследование влияния различных факторов на тепловые характеристики светопрозрачных ограждений // Научный вестник № 1 (1) 2014, ст 99 – 105.
5. *Посильский О.* Современные виды энергосберегающих стекол. [Електронний ресурс] / О. Посильский / Режим доступу: http://www.ivit.ua/article/sovremennye_vidy_energosberegayushih_stekol

УДК: 504.062-043.82:005.52

SEVEN STEPS THE MIPS

Butenko D., master, Shevchenko R., Ph.D.
Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa

Annotation. Discussed step by step instructions for carrying out the analysis according to the MIPS concept. Examples of calculations for the production of wine.

Keywords: *MIPS, environmental protection, calculations, optimization, natural resources.*

Анотація. Розглянуто покрокову інструкцію для здійснення аналізу відповідно до концепції MIPS. Наведено приклад розрахунку для виробництва вина.

Ключові слова: *MIPS, захист навколишнього середовища, природні ресурси.*

The MIPS concept

MIPS – as a targeted and practicable indicator – helps to show up the positive as well as the financial potential of a resource-conserving entrepreneurship.

By using the MIPS concept this sustainable entrepreneurship can be realised on the company level, as well as outside of it branch wide, in all areas of business economy, on a regional, national and global level. By interlocking

the processes on all these levels, optimisation of all material inputs contributes to an increase in resource productivity *life-cycle-wide* or in terms of the overall economy.

MIPS calculates the use of resources from the point of their extraction from nature: all data corresponds to the amount of moved tons in nature, thus to the categories of biotic or renewable raw material, abiotic or non renewable raw material, water, air and *earth movement* in agriculture and silviculture (incl. erosion). This simplifies the projection and still remains targeted. MIPS thus becomes practicable and comprehensible and harmonised.

By means of MIPS, enterprises can undertake up-to-date life-cycle-wide environmental observations of their products and services.

MIPS Calculation in seven steps

The calculation of MIPS proceeds in seven steps. These steps are basically independent of whether the calculations are made manually or with the help of an appropriate computer programme.

Step 1: Definition of the aims, objects and the Service unit. At the beginning of the MIPS calculation, it must be clear what the objectives are. The aim of the analysis and evaluation must be clearly defined, as well as the objects under scrutiny. The aim of the analysis and objects under analysis influence to a greater extent the system boundaries open to choice, but also the financial budget and human resources available for the implementation.

Step 2: Representation of the process chain. In order to give structure to the evaluation, a diagram is made of the life cycle of the product or service under scrutiny. Ideally, all processes are represented in this diagram, which are necessary for the manufacture, use and disposal of the product in question. In this way, it is easier to retain an overall impression of the whole process and simultaneously observe individual processes in detail.

Step 3: Compiling of data. In the third stage, the necessary data is gathered about each identified process. All data should be fully documented with source, year of reference, explanatory notes, exact amounts, units, etc. If none of the aforementioned software is used, it is advisable to use uniform data sheets. The gathering of data (and verifying thereof) is the most important and frequently the most time-consuming step of the MIPS analysis.

Step 4: Calculation of the Material Input "From the cradle to the product". Material Input = input amount x material intensity

In this step, the Material Input is calculated right through to the finished product. If "only" MI calculations are being made of a material, module or a semi- finished product, etc., then the following implementation is almost analogous.

The data and results compiled in Step 3 are used for these calculations. Then the respective Material Inputs (in kg) or Material Intensities (e.g. in kg/kg or kg/MJ) are determined for the respective intermediary products, depending upon the processes necessary for the direct extraction of resources.

Step 5: Calculation of the Material Inputs "From the cradle to the grave". All processes of a production line are drawn up on a data sheet and a calculation sheet in order to calculate the system-wide Material Input of services or products. The use of resources can be summed up in life-cycle phases, and displayed separately. The majority of products cause expenditure of resources, not only during manufacture, but also during use and disposal. These expenditures often depend upon the user, or are determined by the specific usefunction of a product.

Step 6: From Material Input to MIPS. The relation to the Service unit is achieved in this final step of the actual calculation. MIPS has the unit [weight of moved nature / service] or [weight of moved nature / product (weight of product)]. MIPS is recorded in five different categories (abiotic raw material, biotic raw material, earth movement, water and air).

Step 7: Interpretation of the results. Subsequent to the compiling of data and the calculation of the Material Inputs, the Material Intensity or the MIPS values, the evaluation and interpretation of the results follows.

When interpreting the results, it is permissible and often makes sense to compile the following categories *equally*: "abiotic raw materials", "biotic raw materials", as well as "earth movement", (but here, only "erosion").

The category "water" should likewise be examined separately, as interference with water can have very different effects and consequences regionally.

When considering the category "air", the various uses of particles are to be comprehensively summed up (combustion, chemical transformation and physical transformation). CO2 emissions are dealt with in the section "combustion.

Calculation Examples

Example: Measuring the amount of resources for a bottle of wine with the help of a criterion MIPS.

Step 1: Definition of the aim, the objects and of the Service unit. The aim of the analysis at this point is the calculation of the MI to measure the amount of resources are in one bottle of wine.

Step 2: The representation of a process chain. The process chain for the production bottle of wine can be taken from the following illustration. Production chain entry of raw materials into a bottle of wine (Fig. 1).

Step 3: Compiling of data. The collection of data encompasses:

1. the gathering of data about location and grape varieties;

2. yeast selection;

3. the required amount of use SO_2;

4. drinking water data collection.

Steps 4 and 5: Calculation of the material input "from the cradle to the substance". The following intermediary steps must be taken to calculate a MI value for all common resources of the compiled data. In addition, MI values need to be determined or find out for transport, electric power and different fuels. The calculation of MI values for the main products of the relevant processes necessary parameters for one bottle of wine is given in Table 1.

5.

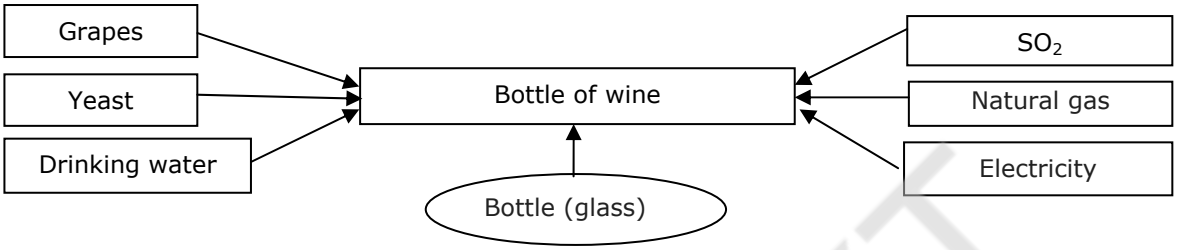


Fig. 1 – Production chain entry of raw materials into a bottle of wine

Table 1 – Calculation of MI for one bottle of wine

Name material Raw materials / semi-finished products	Unit per year (kg)	Amount/ one bottle	Abiotic resources	Biotic resources	Earth movement	Water	Air
			Amount/one bottle				
Grapes, kg	80 тис.	1,14	2,74	2,40	0,72	25,26	1,37
Yeast ,kg	480	0,01	0,01	0,01	0,00	0,12	0,01
SO_2	250,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Drinking water	1 500	0,02	0,03	-	0,01	0,03	0,00
Natural gas	52 698	0,75	0,98	-	0,40	0,38	0,00
Electricity	11850,6	0,17	0,53	0,01	0,06	9,76	0,09
Bottle (glass)	70000,0	0,67	1,15	-	-	8,95	0,52
Total			5,44	2,41	1,19	44,50	1,99
Together							55,53

Through calculating the amount of resources measured by the concept of calculation necessary for one bottle of wine.

Step 6: From Material Input to MIPS. The MI values added up for each piece of equipment, in relation to the whole life span.

Step 7: Interpretation of the results. In the case of the selected objective, an interpretation of the results can only occur on the basis of the Material Input within a single process. Such factors were taken into account such as: electricity, natural gas and container into which poured a drink. The process has been adequately optimized technically.

Optimization

Optimising possibilities can be determined on the level of choice of power generation or of specific deposits. You can also choose to store the container of the finished product.

Conclusion

It has been considered system MIPS by an example of necessary quantity of resources for one bottle of wine. The scheme most процеса is compounded. All have been calculated necessary both resources and leading of their results.

Literature

1. Schmidt-Bleek, F.:"Das MIPS Konzept: weniger Naturverbrauch - mehr Lebensqualität durch Faktor 10", München: Knaur, 2000

УДК: 504:681.518.2

ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Дзвоник М.О., магістр
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Анотація. Одна з основних проблем проведення реальної екологічної оцінки різних виробництв на повному життєвому циклі полягає в невизначеності результатів такої оцінки. Сучасні автоматизовані засоби екологічної оцінки (калькулятори) можуть давати деяке уявлення про зв'язок між факторами антропогенного впливу і продуктивністю системи, хоча жоден з калькуляторів не здатний охопити всі види продукції і робіт, вироблених в сільському і лісовому господарстві. Це дослідження фокусується на ландшафтно-масштабному рівні оцінки викидів парникових газів, а також обліку всіх викидів сільського господарства, лісового господарства та землекористування певної галузі. Однак там, де неможливо розробити калькулятори спеціально для ландшафтно-масштабних підходів, то великі площі можна розглядати як фермерські господарства, що охоплюють весь регіон або навіть країну. Це дослідження включає в себе калькулятори, за умови, що вони враховують землеробство, тваринництво і лісове господарство.

Ключові слова: *екологічна оцінка, повний життєвий цикл, засоби автоматизації, , калькулятор парникових газів.*

Annotation. One of the main problems of the real environmental assessment of various industries on the full life cycle is the uncertainty of the results of this assessment. Modern automated means environmental assessment (calculators) can give some idea of the relationship between the factors of human impact and performance, although none of the calculators are not able to cover all products and activities generated in agriculture and forestry. This study focuses on large-scale landscape-level estimates of greenhouse gas emissions, and emissions accounting of agriculture, forestry and land use particular industry. However, where it is impossible to develop calculators specifically for landscape-scale approaches, the large areas can be regarded as farmers, covering the entire region or even country. This study includes calculators, provided that they include agriculture, livestock and forestry.

Keywords: *environmental assessment, full life cycle, automation, calculator greenhouse gases.*

Багато з існуючих калькуляторів охоплюють оцінку конкретного продукту (молоко, м'ясо, крупи, дерево і т.д.). Лише деякі охоплюють широке коло діяльності: орні роботи, лісове господарство, вирубка лісів, сільськогосподарські тварини і т.д., і придатні для оцінки на ландшафтно-масштабному рівні, що відповідає принципам оцінки повного життєвого циклу.

Сфера відповідає межам процесів, які включені в кожен калькулятор, вона визначена для оцінки життєвого циклу (LCA) в ISO 14040:2008. Сфера може бути розділена на два рівня: діяльність і джерела фінансування в кожній галузі. Діяльність тут відноситься до основної системи виробництва. Ці калькулятори придатні для с/г культур, лугів, молочної худоби та інших домашніх тварин.

Одними з кращих є наступні калькулятори: The Cool Farm Tool [1] і Uncertainty Calculation Tool [2].

The Cool Farm Tool – калькулятор для розрахунку викидів парникових газів від сільського господарства. The Cool Farm Tool знаходиться між калькулятором з використанням простих підходів розрахунку коефіцієнта викидів (IPCC Tier 1) і моделі на основі процесу, яка вимагає більш високого рівня вхідних даних (IPCC Tier 3). Інструмент The Cool Farm Tool оцінює не сам процес виробництва продукту, а його неповний життєвий цикл: обробка земель, отримання сировини, транспортування.The Cool Farm Tool призначений для оцінки викидів CO_2 на ландшафтно-масштабному рівні. Тобто він дозволяє провести комплексну оцінку викидів CO_2 в процесі отримання і виробництва сировини, виявити побічні потоки викидів і оптимізувати отримані дані за допомогою прийомів екологічного менеджменту, що дозволить скоротити витрати і викиди парникових газів.

Калькулятор має сім вхідних секцій (рис. 1), кожна на окремому аркуші Excel: додаткова інформація (розташування, рік, продукт, виробництво, площа, клімат); рослинництво (сільськогосподарські роботи, захист врожаю, використання добрив, управління с/г); секвестр (землекористування та управління біомасою); тваринництво (вибір корму, кишкова ферментація, N виділення гною); поле використання енергії (зрошення, сільськогосподарська техніка тощо); первинна обробка (завод, зберігання і т.д.); транспорт (автомобільний, залізничний, повітряний, морський).

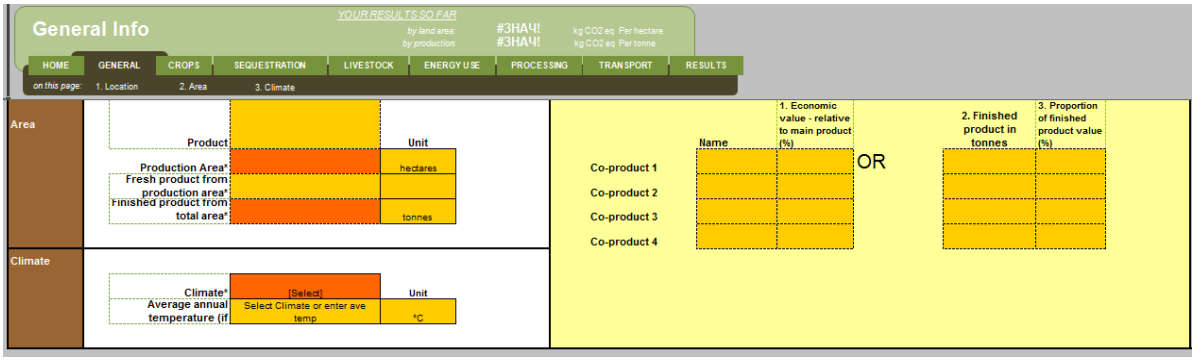


Рис. 1 – Вхідні секції The Cool Farm Tool

Калькулятор дозволяє оцінити всі екологічні аспекти, які пов'язані з отриманням сировини рослинництва або тваринництва (обробка грунтів, застосування добрив і пестицидів, орні роботи, особливості грунтів, кліматичні умови, отримання корму, утилізація компосту і гною і т.д.), транспортування сировини (розрахунок витрати енергії на транспортування), виробництво (утворення побічних продуктів і відходів виробництва).

Інструмент *Uncertainty Calculation Tool* дозволяє провести комплексну оцінку викидів CO_2 в процесі виробництва сировини, виявити негативні потоки викидів і сформулювати отримані дані за допомогою прийомів екологічного менеджменту, що дозволить скоротити витрати і викиди парникових газів в навколишнє середовище. Джерелом вихідних даних є дані з самого підприємства, наприклад, електроенергія, час, місцевість, кількість відходів (твердих, рідких (стічні води), різних газів і т.д.), матеріал інвентарю, який йде на виготовлення того чи іншого продукту, а також процеси, що відбуваються при його виробництві. До вихідних даних можна віднести також і основні чинники невизначеності при цих розрахунках, тобто ті фактори, що впливають на розрахунок: процес згоряння; теплова енергія; електрика; промислові вироби; сільськогосподарські продукти; транспортні послуги; інфраструктура; пряма емісія, CO_2; пряма емісія, інші GHGs.

Uncertainty Calculation Tool дозволяє провести комплексну оцінку викидів CO_2 в процесі виробництва сировини, виявити негативні потоки викидів і сформулювати отримані дані за допомогою прийомів екологічного менеджменту, що дозволить скоротити витрати і викиди парникових газів в навколишнє середовище, але він не враховує такі стадії, як обробка земель, вирощування, транспортування і т.д.

Для розрахунку впливу на навколишнє середовище життєвого циклу харчових продуктів необхідно вибирати калькулятор, який буде оцінювати повний життєвий цикл. У нашому випадку калькулятор «The Cool Farm Tool» оцінює тільки процеси вирощування, обробки і транспортування сировини, а калькулятор «Uncertainty Calculation Tool» оцінює сам процес виробництва. Тому для оцінки ЖЦ треба використовувати ці два калькулятора в комплексі, для того, щоб оцінити викиди CO_2 від отримання сировини і виробництва конкретного харчового продукту. Але ці два калькулятора не враховують такі процеси як: транспортування готового продукту, споживання і утилізація відходів. Тому за допомогою цих калькулятор не можна оцінити повний життєвий цикл харчового продукту.

Висновки

Для оцінки повного життєвого циклу харчових продуктів калькулятори «The Cool Farm Tool» і «Uncertainty Calculation Tool» не підходять, так як вони оцінюють лише неповний життєвий цикл. Повний життєвий цикл харчової продукції можна оцінити, якщо їх застосовувати в комплексі: спочатку оцінити вплив на навколишнє середовище в процесі обробки земель, вирощування продукції і транспортування за допомогою калькулятора «The Cool Farm Tool», а потім оцінити вплив в процесі виробництва за допомогою калькулятора «Uncertainty Calculation Tool».

Література

1. The Cool Farm Tool [Електронний ресурс] – Режим доступу : http://www.coolfarmtool.org/ - Назва з екрану.
2. Vincent Colomb Selection of appropriate calculators for landscape-scale greenhouse gas assessment for agriculture and forestry [Text] // Vincent Colomb, Ophe´lie Touchemoulin, Louis Bockel, Jean-Luc Chotte, Sarah Martin, Marianne Tinlot, Martial Bernoux. – 2013. – P. 3-8.

УДК: 637.52-043.82:338.4

LIFE CYCLE ASSESSMENT PHOTOVOLTAIC PANELS

Krestinkov I., Sc.D., Borsh K., master
Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa

Annotation: Life Cycle Assessment (LCA) is a structured, comprehensive method of quantifying material- and energy-flows and their associated emissions in the life cycles of products (i.e., goods and services). The ISO 14040 and 14044 standards provide a framework for an LCA. This paper explains how to ensure consistency, balance and quality to enhance the credibility and reliability of the results of photovoltaic (PV) LCAs.
Keywords: *life cycle assessment, photovoltaic panels.*

Life Cycle Assessment (LCA) is a structured, comprehensive method of quantifying material- and energy-flows and their associated emissions in the life cycles of products (i.e., goods and services). The ISO 14040- and 14044-standards provide a framework for LCA. However, this framework leaves the individual practitioner with a range of choices that can affect the validity of the results of an LCA study.

The IEA guidelines [1] were developed to offer guidance for consistency, balance, and quality to enhance the credibility of the findings from photovoltaics (PV) LCAs. The guidelines represent a consensus among the authors, PV LCA experts for assumptions on PV performance, process input and emissions allocation, methods of analysis, and reporting of the results. The latter is of the utmost importance as parameters varying with geographical zones and system boundary conditions can significantly affect the results; accordingly, transparency is essential in comparing product life cycles.

Guidelines are structured into four main areas:

- has recommendations on technical characteristics related to photovoltaic systems;
- covers aspects of modeling approaches in life-cycle-inventory analysis, and life-cycle-impact assessment;
- discusses interpretation;
- covers reporting and communication.

The content of these subsections is determined by *Motivation and Objectives*. National and regional energy policies require environmentally friendly electricity generating technologies. The PV industry is experiencing a rapid evolution. The key prerequisites for an adequate environmental assessment are the availability of the most up-to-date information on PV performance and LCI data.

Let us consider the proposed field of LCA.

1 Photovoltaics-specific aspects

1.1 Life expectancy. The recommended life expectancy used in life-cycle assessments of photovoltaic components and systems differentiates between the components:

- Modules: 30 years for mature module technologies (e.g., glass-glass or glass-Tedlar encapsulation), life expectancy may be lower for foil-only encapsulation; this life expectancy is based on typical PV module warranties (i.e., 25 years -80% degradation or less after 25 years) and the expectation that modules last beyond their warrantees;
- Inverters: 15 years for small plants (residential PV); 30 years with 10% part replacement every 10 yrs (parts need to be specified) for large size plants utility PV;
- Structure: 30 years for roof-top and façades, and between 30- to 60-years for ground mount installations on metal supports. Sensitivity analyses should be carried out by varying the service life of the ground-mount supporting structures within the same time span, transformers: 30 years, cabling: 30 years;
- Manufacturing plants (capital equipment): The lifetime may be shorter than 30 years, due to the rapid development of technology. Assumptions need to be listed.

1.2 Irradiation. The irradiation col lected by modules depends on their location and orientation.

1.3 Performance ratio. The performance ratio (PR) (also called derate factor) describes the difference between the modules' (DC) rated performance (the product of irradiation and module efficiency) and the actual (AC) electricity generation.1 It mainly depends upon the kind of installation.

1.4 Degradation. The degradation of the modules reduces efficiency over the life time.

1.5 Back-up systems. Back-up systems are considered to be outside the system boundary of PV LCA; if a backup system is included, it should be explicitly mentioned.

2 LCI/LCA modeling aspects.

2.1 System modeling: static / prospective (attributional / consequential) electricity mix in background data, small- versus large-scale. are considered:

a) Reporting environmental impacts of PV currently installed in a utility's network (retrospective LCA);

b) Choice of a PV electricity-supplier, comparisons of PV systems, or of electricitygenerating technologies (short-term prospective LCA);

c) Long-term energy policy: comparison of future PV systems or of future electricitygenerating technologies (long-term prospective LCA).

2.2 Functional unit and reference flow. The functional unit specifies the function based upon which comparisons can be made of various PV systems and other electricity-generating systems.

2.3 System boundaries. This section defines the scope of the analysis for the product's system. It offers guidance on what to include or exclude from the life-cycle inventory analysis.

2.4 Modeling allocation and recycling. Consistent allocation rules are demanded for all multifunction processes, recycling of materials, and employing waste heat.

2.5 Databases. The IEA PVPS Task 12 does not recommend any particular LCI database. However, of the utmost importance is the transparency of the documentation and availability of the unit process information and data.

2.6 Life-cycle impact assessment. Use life-cycle inventory indicators, such as radionuclide emissions, nuclear-waste generation, and air-pollutant emissions (NOx, SO_2, $PM_{2.5}$, PM_{10}).

- Employ mid-point indicators, greenhouse-gas emissions, cumulative energy demand, acidification potential (AP), ozone depletion potential (ODP), human toxicity, ecotoxicity, and ionizing radiation.

3 Interpretation

3.1 Energy Payback Time (EPBT) and Non-Renewable Energy Payback Times (NREPBT). Energy payback time is defined as the period required for a renewable energy system to generate the same amount of energy (in terms of primary energy equivalent) that was used to produce the system itself.

Energy Payback Time = (Emat+Emanuf+Etrans+Einst+EEOL) / ((Eagen / nG)– EO&M)

where,
Emat – Primary energy demand to produce materials comprising PV system;
Emanuf – Primary energy demand to manufacture PV system;
Etrans – Primary energy demand to transport materials used during the life cycle;
Einst – Primary energy demand to install the system;
EEOL – Primary energy demand for end-of-life management;
Eagen – Annual electricity generation;
EO&M – Annual primary energy demand for operation and maintenance;
nG – Grid efficiency, the average primary energy to electricity conversion efficiency at the demand side.

3.2 Energy Return on Investment (EROI). The traditional way of calculating the EROI of PV is as follows:

EROI = lifetime / EPBT = T · ((Eagen/nG)– EO&Mr) / (Emat+Emanuf+Etrans+Einst+EEOL)

We noted that sometimes the EROI is computed without the prior conversion of the generated electricity into its primary energy-equivalent, resulting to an EROI lower by a factor of 1/nG than the EROI calculated by the recommended equation above.

3.3 Impact Mitigation Potentials (IMP). This may comprise the mitigation potentials for climate change and high-level nuclear waste. Clearly reference the impact assessment method applied, and specify the reference system, e.g., today's European electricity mix, or the national electricity supply mix.

4 Reporting and communication: Key parameters to be reported. Reporting of key parameters 1 to 9 below is mandatory and they should be listed in the captions of figures showing the results of the LCA.

1. On-plane irradiation level and location;
2. Module-rated efficiency;
3. System's performance ratio;
4. Time-frame of data;
5. Type of system (e.g., roof-top, ground mount fixed tilt or tracker);
6. Expected lifetime for PV and BOS;
7. System's boundary (whether raw material extraction and supply, manufacture, installation, maintenance, disposal, the transportation- and recycling-stages are included for both PV modules and balance-of-system (frame, mounting, cabling, inverter; for utility applications the transformer, site preparation, and maintenance));
8. The place/country/region of production modeled (e.g., average grid medium voltage European grid (UCTE), site specific power use (e.g., hydro, coal)).

Conclusion

The presented method allows to ensure consistency, balance and quality to enhance the credibility and reliability of the results of the evaluation of the life cycle of photovoltaic panels. It can be used for a variety of manufacturers of photovoltaic panels, as well as used for the analysis LCA of solar thermal collectors.

Literature

1. Vasilis Fthenakis, Rolf Frischknecht, Marco Raugei, Hyung Chul Kim, Erik Alsema. Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity. Report IEA-PVPS T12-03 – 2011 – P. 1 – 12.

УДК: 528.3:004.4:[504.064.3:005.22]

ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОЛОГІЧНІЙ СКЛАДОВІЙ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ

Муріна О.В., магістр, Соколов Є.В., канд. біол. наук
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Анотація: проаналізовано використання ГІС-технологій для територіального управління з урахуванням екологічної складової, наведено приклади побудови просторових моделей, що виражають різні аспекти екологічної ситуації. Зроблено висновок про високу наочність таких моделей.

Ключові слова: *ГІС-технології, геоекологічний менеджмент.*

Abstract: analyzed using GIS-technology for spatial management based on ecological component, are examples of building spatial models that express different aspects of the environmental situation. It is concluded that the high visibility of these models.

Keywords: *GIS-technology, geoecological management.*

Складна екологічна ситуація потребує детального аналізу причинно-наслідкових зв’язків в межах природно-територіальних комплексів (ПТК) з оцінкою існуючого стану та обґрунтуванням ефективних заходів з досягнення збалансованості господарської територіальної структури. Геоінформаційні системи технології (ГІС-технології) пропонують широкий спектр методів структуризації та аналізу даних, в тому числі супутникових та статистичних, які не лише дозволяють створювати електронні карти на основі високовмісних баз даних, але з допомогою різнопланового аналізу наявної просторової інформації вирішувати проблеми різної складності в галузях:

- охорони навколишнього природного середовища;
- управління використанням природних ресурсів;
- екологічного менеджменту.

Як образно-знакові геоінформаційні моделі дійсності ГІС основуються на автоматизації інформаційних процесів, базах картографічних і аерокосмічних даних. ГІС дають змогу обробляти значний обсяг фактичних і картографічних даних, аналізувати їх узгоджено з конкретними об'єктами й територіями. Головна цінність такої інформаційної системи з позиції управління полягає в можливості прив'язки всіх даних до об'єкта з певними координатами, автоматичного збільшення чи зменшення масштабу карт. При геоекологічному менеджменті ГІС істотно полегшують процес прийняття рішень.

В Україні перші спроби створення ГІС здійснено наприкінці 70-х років XX ст. [1]. Одна з них – це розробка містобудівної інформаційної системи для Києва, в якій планувалося звести інформацію про природні умови системи місто-передмістя, представити узагальнені дані про об'єкт, скласти мікрокліматичну карту, виконати розрахунки температури, швидкості вітру, поширення зон викидів промислових підприємств на певній площі за різних метеорологічних умов.

Нині в Україні ГІС-технології набули широкого розвитку. Державними установами розроблено векторні тематичні карти масштабу 1 : 200 000 для всієї країни та 1 : 50 000 для окремих територій.

В Україні є практика застосування ГІС в управлінні заповідними територіями – Карпатського національного природного парку, заповіднику Розточчя; розроблено менеджмент-план водно-болотних угідь Сиваша.

В якості прикладу розглянемо оцінку сучасної антропогенної трансформації водозбірного басейну Тилігульського лиману [2], що виконана в рамках науково-дослідної роботи Інститутом морської біології НАН України. Так, порушення гідрологічного режиму водозбірної площі Тилігульського лиману в

результаті господарської діяльності оцінено на основі просторового розподілу штучних ставків (Рис. 1). Виявлено, що більшість ставків створені стихійно і нелегалізовано, без документів, які регламентують режим експлуатації.

Оцінку ландшафтно-господарської структури водозбірної площі Тилігульського лиману проводили на основі дешифрування супутникових знімків Landsat і QuickBird з використанням відповідних інструментів набору Spatial Analist в програмному пакеті ArcGis v10, а також топографічних карт генштабу, які прив'язувалися географічно (Рис. 2). Аналіз господарського (антропогенного) порушення ландшафтної структури водозбірної площі виявив значні перетворення природних умов.

Вивчення ступеня антропогенного навантаження на екосистему лиману проводилося на основі оцінки просторового розподілу людності (населення) з використанням автоматичної інтерполяції по методу IDW (назад зважених відстаней) в програмному пакеті ArcGis v10 (Рис. 3). Зроблено висновок про достатньо невисоку щільність населення.

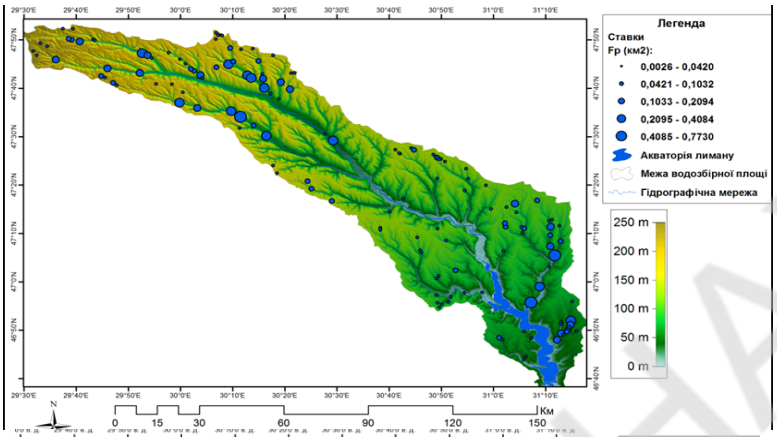


Рис. 1 – Просторовий розподіл штучних ставків на водозбірній площі Тилігульського лиману

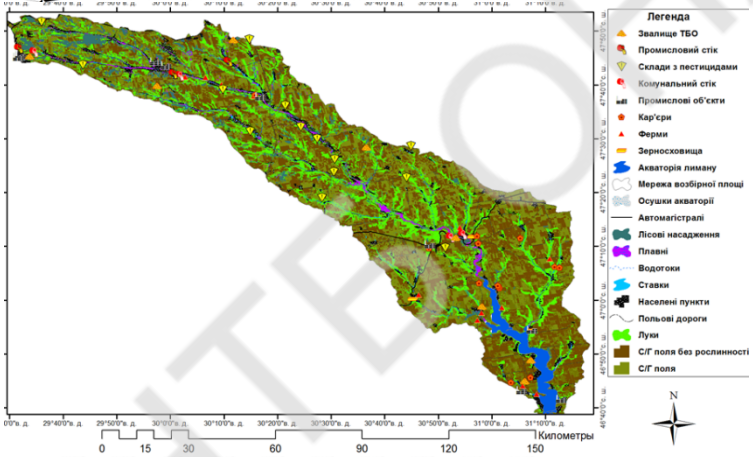


Рис. 2 – Ландшафтно-господарська структура водозбірної площі Тилігульського лиману

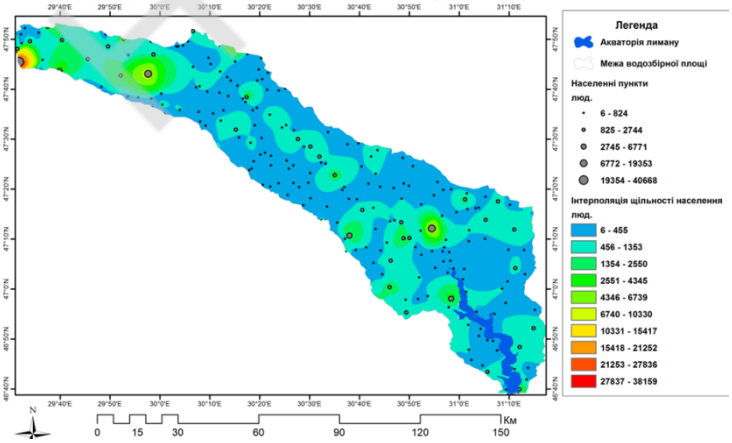


Рис. 3 – Інтерполяція щільності населення (людности) на водозбірній площі Тилігульського лиману

Висновки

Використання ГІС-технологій та методів обробки даних, що реалізовані в них, дозволяють суттєво покращити глибину аналізу екологічних ситуацій, що склалася на певній територій, автоматизувати процес обробки даних та їх візуалізацію, мінімізувати витрати часу. Така робот може стати важливим підготовчим етапом в розробці регіональних та місцевих програм з управління територіями.

Література

1. Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование [Текст]. - М.: Астрея, 1997. – 64 с.
2. Соколов Є.В. Порушення гідрологічного режиму та перетворення природно-територіальних комплексів водозбірної площі Тилігульського лиману [Текст] / Звіт ДУ «ІМБ НАН України» // Характеристика сучасного гідробіологічного режиму лиману, вироблення рекомендацій щодо підтримання біологічного різноманіття та хорошого екологічного стану. – 2015. – № держреєстрації 0116U004762. – С. 70-84.

УДК:504.064.3:005.22

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ LCA В ЕКОЛОГІЧНОМУ УПРАВЛІННІ

Шевченко Р.І., к.т.н., доц.; Губіна В.Ю., магістр
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Анотація: розглянуто метод оцінки життєвого циклу, як основний елемент екологічного менеджменту. Визначили основну мету проведення ОЖЦ та її значення для організацій чи виробництв.
Ключові слова: *екологічний менеджмент, оцінка життєвого циклу, екологічне управління.*

Abstract: considered a method life-cycle assessment as a basic element of environmental management. Identified the main goal of LCA and its importance for organizations.
Keywords*: environmental management , life-cycle assessment*

На сьогодні метод Оцінки Життєвого Циклу або Life-Cycle Assessment – один з головних елементів екологічного менеджменту в Європейському Союзі, заснований на серії ISO-стандартів групи 14040 та призначений для оцінки еколого-економічних, соціальних аспектів та впливів на навколишнє середовище в системі виробництва продукції та утилізації відходів з моменту перетворення її у відходи після використання [1].

На кожному з елементів "життєвого циклу" визначаються екологічні індикатори, які характеризують сумарний вплив на оточуюче середовище і в тому числі на людину. Універсальність методу LCA полягає в тому, що він дозволяє здійснити порівняння за екологічними показниками різних технологічних процесів, виявити найбільш небезпечні фази процесу. А це, в свою чергу, дає можливість розробити рекомендації для покращення та вдосконалення як технологій так і матеріалів.

Оцінка життєвого циклу – це процес оцінки екологічних впливів, пов'язаних з процесом, продуктом або іншою дією шляхом визначення та кількісного обчислення [2]:

- Об'ємів споживаної енергії, ресурсів та викидів в навколишнє середовище;
- Кількісної та якісної оцінки їх впливу на навколишнє середовище;
- Оцінки можливостей для покращення екологічного стану системи.

Оцінка проводиться з метою отримання вичерпної оцінки впливу на навколишнє середовище , яка дає більш надійну інформацію для прийняття економічних , технічних і соціальних рішень .

Слід підкреслити, що сама ОЖЦ не вирішує екологічні проблеми, а скоріше надає потрібну інформацію для їх вирішення. Виходячи з головного принципу ОЖЦ - «від колиски до могили», екологізації підлягає весь ланцюжок – від виробництва продукції до її утилізації .

ОЖЦ є ітеративним методом – тобто всі роботи виконуються паралельно з безперервним аналізом отриманих результатів і коригуванням попередніх етапів. Ітеративний підхід в рамках системи і між етапами забезпечує всебічність і послідовність дослідження і представлення результатів. Принципи, зміст, вимоги етапів проведення ОЖЦ регламентуються стандартами ISO [3].

Згідно ISO 14040 оцінка життєвого циклу складається з чотирьох етапів:

1. Визначення цілі та області застосування

При визначенні мети і сфери застосування слід встановити мету дослідження і межі досліджуваної системи (часові та просторові), описати використовувані джерела даних, а також методи, що застосовуються для оцінки впливу на навколишнє середовище, і обґрунтувати їх вибір.

2. Інвентаризаційний аналіз життєвого циклу

Інвентаризаційний аналіз життєвого циклу є найбільш тривалий і витратний етап, на якому збираються дані про вхідні та вихідні потоки матерії та енергії, залучених до виробництва. Наприклад, при виробництві пакувальної поліетиленової плівки з напівфабрикату (гранульованого поліетилену низької щільності) доцільно виділити наступні модулі: розплавки гранул, екструзія, охолодження і упаковка плівки. Важливим при проведенні інвентаризаційного аналізу є врахування всіх супутніх життєвому циклу продукції транспортних перевезень як між окремими етапами життєвого циклу (наприклад, від постачальника сировини до виробника), так і в їх межах (наприклад, в цехах підприємства).

3. Оцінка впливу протягом життєвого циклу

У цій фазі ОЖЦ в першу чергу важливо впорядкувати зафіксовані на попередньому етапі екологічні впливи по так званим категоріям впливів (споживання мінеральних ресурсів і енергії, утворення токсичних відходів, руйнування озонового шару стратосфери, парниковий ефект, зниження біологічного різноманіття, збиток здоров'ю людини і ін.).

4. Інтерпретація життєвого циклу

Завданням останнього етапу ОЖЦ інтерпретації життєвого циклу є розробка рекомендацій щодо мінімізації шкідливих впливів на навколишнє середовище. Поліпшення екологічних характеристик продукції завдяки врахуванню рекомендацій ОЖЦ в кінцевому підсумку несе з собою безліч екологічних (наприклад, зниження матеріало- та енергоємності продукту) і економічних переваг (наприклад, економія коштів на закупівлю сировини, підвищення попиту з боку екологічно свідомого споживача, поліпшення економічного іміджу підприємства та ін.).

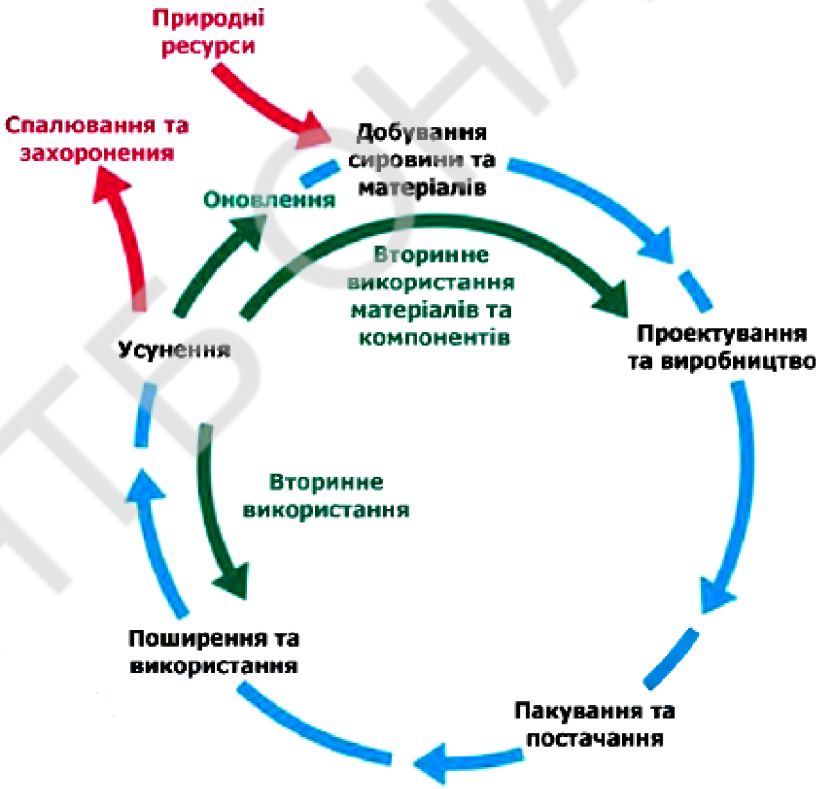


Рис. 1 – Продукційна система (життєвий цикл)

Розуміння ролі життєвого циклу має велике значення для розвитку сталого виробництва. Мова йдеться про вихід за межі традицій оцінки впливу продукту на стан навколишнього середовища з боку виробничих процесів, коли оцінюється екологічний, соціальний та економічний вплив продукту протягом всього його життєвого циклу [4]. Розширення відповідальності за виробництво й інтегрована товарна політика продукційної системи означає, що виробники мусять бути відповідальними за вироблену продукцію від її «колиски до могили» і тому, повинні розвивати продукцію з поліпшеними характеристиками на всіх стадіях

життєвого циклу, як це показано на Рис. 1. Відповідно до Рис. 1 продукційна система або життєвий цикл може починатися з видобутку матеріалів з природних ресурсів або сировини й виробництва енергії. Матеріали та енергія – наступна стадія виробництва, пакування, постачання, використання, обслуговування, і зрештою рециклінгу, вторинного використання, оновлення або нарешті його утилізації.

Результати оцінювання життєвого циклу продукту можуть допомогти ідентифікувати найбільш вагомі екологічні впливи продукційної системи, покращити екологічні аспекти продукту, а також його соціально-економічні характеристики. Це безумовно надасть можливість гармонізувати зв'язки між економічними, соціальними та екологічними аспектами в межах організації, а також протягом всього ланцюга створення вартості продукту.

Аналіз життєвого циклу розширює встановлене поняття більш чистого виробництва, включаючи повне дослідження життєвого циклу продукту і його сталість. На кожній стадії життєвого циклу є потенціал зменшити споживання ресурсів та поліпшити екологічні характеристики продукції. Для досягнення успіху на цьому шляху необхідно залучити кожний структурний підрозділ організації та усі зацікавлені сторони у ланцюзі постачання продукту.

Організація, яка прагне до сталого розвитку, повинна розширювати власну адміністративну систему до інтегрованої системи, яка об'єднує життєвий цикл продукції в поєднанні з налагодженими комунікаціями між внутрішніми і зовнішніми зацікавленими сторонами. Комунікація й кооперація між залученими партнерами побудують зв'язки між ланцюгом постачання і ланцюгом формування вартості продукту (Рис. 2).

Для впровадження сталого розвитку підприємства необхідно забезпечити зв'язки в ланцюзі продукту таким чином, щоб сфокусуватися на екологічній оптимізації матеріального потоку в ланцюзі постачання та на очікуваннях споживача відносно екологічних і соціальних проблем в ланцюзі створення вартості. Найбільш ефективними інструментами запровадження системи управління життєвим циклом продукції є політика і процедури закупівель.

Робота з постачальниками та ланцюгом постачання має стратегічне значення для розвитку кожного підприємства. Традиційно, підприємства управляють постачальниками для оптимізації ланцюга постачання, моніторингу потоку інформації, матеріалів і фондів, управління логістичними процесами, мінімізації тривалості циклу й витрат, а також для об'єднання процесів і функції вздовж ланцюга постачання.

Система управління життєвого циклу існує з метою безперервного удосконалення, ґрунтуючись на перспективі життєвого циклу; тому практика управління ланцюгом постачання починається з входу до продукційної системи.

Такий всебічний підхід можливо використовувати також і для порівняння вдосконалень у ланцюгах продукційної системи, а також для обміну корисної інформацією про якісні властивості продукції. Сучасні тенденції в системах управління орієнтовані на організацію співпраці в межах конкретного проекту по управлінню життєвим циклом продукту.

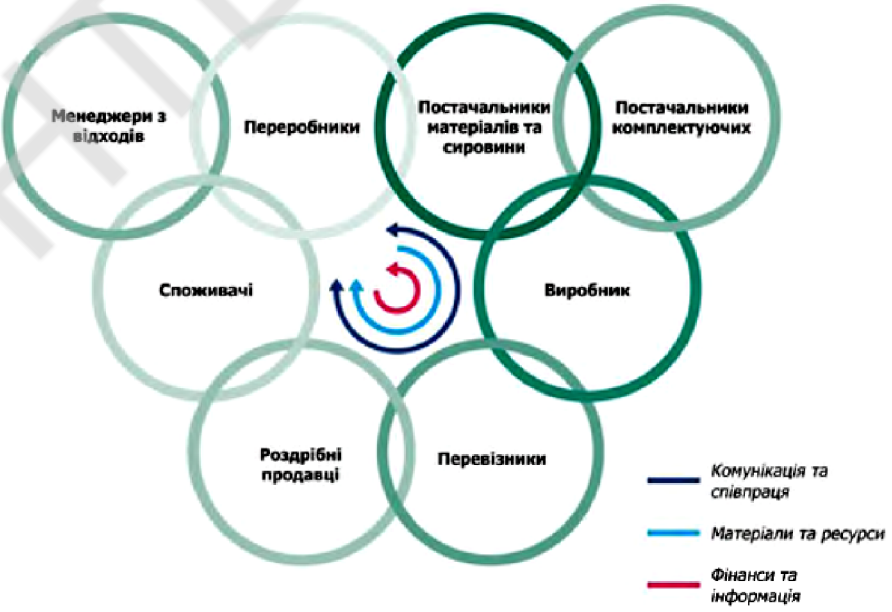


Рис. 2 – Взаємодія в ланцюзі продукту

Висновки

Оцінка життєвого циклу дозволяє прослідкувати повний цикл продукції, починаючи від отримання сировини і закінчуючи утилізацією, що дає можливість визначити вплив продукції на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу. За допомогою аналізу LCA ми можемо зменшити споживання ресурсів та покращити екологічні характеристики продукції.

Література

1. Life cycle assessment: principles and practice [Електронний ресурс] – Режим доступу:https://docviewer.yandex.ua – Назва з домашньої сторінки Інтернету
2. Короткий огляд методу оцінки життєвого циклу продукції та системи управління відходами [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6799 – Назва з домашньої сторінки Інтернету
3. Дослідження ступеню екологічної безпечності матеріалів при виготовленні шкіряного взуття [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2011_2/26_pri.pdf – Назва з екрану
4. Берзіна С.В. Системи екологічного управління [Текст]. Довідниковий посібник з впровадження міжнародних стандартів серії ISO 14000. – К.: Aiva Plus Ltd

УДК: 637.1-043.82:551.588.74:504.064.4

LIFE CYCLE ASSESSMENT DAIRY INDUSTRY

Shevchenko Roman, Ph.D, Tolmachenko Anna, master
Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa

Annotation: The method of assessment greenhouse gas (GHG) emissions from the global dairy cattle sector. The evaluation methodology takes into account GHG emissions associated with milk production and processing for main regions and farming systems of the world. The technique will help in informing the public debate on greenhouse gas emissions, and will support the research, development and Extension efforts to improve the sustainability performance of dairy farming.

Keywords: *Life Cycle Assessment, the greenhouse gas, dairy industry*

Анотація: Розглянуто методику оцінки викидів парникових газів (ПГ) від світового молочного сектора великої рогатої худоби. Методологія оцінки враховує викиди ПГ при виробництві та переробці молока по основним регіонам і системам ведення сільського господарства світу. Методика допоможе в інформуванні громадськості, обговорення питання про викиди парникових газів, а також буде підтримувати наукові дослідження, розробки і розширення зусиль щодо покращення діяльності в сфері сталого розвитку молочного тваринництва.

Ключові слова: *Оцінка життєвого циклу, парникові гази, молочне виробництво.*

The purpose of this study is to quantify the main sources of GHG emissions from the world's dairy cattle sector, and to assess the relative contribution of different production systems and products to total emissions from the dairy sector.

This assessment produces estimates of GHG emissions for:

- major dairy cattle products and related services;
- predominant dairy production systems (e.g. grass-based, mixed crop-livestock);
- main world regions and agro-ecological zones;
- major production stages along the dairy food chain.

The assessment follows up on FAO's work presented in Livestock's Long Shadow on livestock's contribution to GHG emissions, by refining and elaborating on the emission estimates for the dairy cattle sector. It focuses on the entire dairy food chain, encompassing the life cycle of dairy products from the production and transport of inputs (fertilizer, pesticide, and feed) for dairy farming, transportation of milk off-farm, dairy processing, the production of packages, and the distribution of products to retailers. Emissions, including those taking place after the farm-gate are all reported in per kg of fat and protein corrected milk (FPCM) units at the farm gate.

In the wake of the current global climate crisis, it has become increasingly clear that there is an urgent need to not only better understand the magnitude of the livestock sector's overall contribution to GHG emissions, but to also identify effective approaches to reduce emissions, and to identify where in the food chain to target these efforts.

Addressing these needs has provided the impetus to re-examine the global livestock food chain emissions, based on the Life Cycle Assessment (LCA) approach.

The Life Cycle Assessment (LCA) approach is widely accepted in agriculture and other industries as a method to evaluate the environmental impacts of production, and to identify the resource and emission-intensive processes within a product's life cycle.

The methodology also provides a framework to broadly identify effective approaches to reduce environmental burdens. Further, the approach is recognized for its capacity to evaluate the effect that changes within a production process may have on the overall life-cycle balance of environmental burdens. This enables the identification and exclusion of measures that simply shift environmental problems from one phase of the life cycle to another.

The LCA method involves the systemic analysis of production systems, to account for all inputs and outputs associated with a specific product within a defined system boundary. The system boundary largely depends on the goal of the study. The reference unit that denotes the useful output of the production system is known as the functional unit, and it has a defined quantity and quality. The functional unit can be based on a defined quantity, such as 1 kg of product, alternatively it may be based on an attribute of a product or process, such as 1 kg of fat and protein corrected milk (FPCM). The application of LCA to agricultural systems is often complicated by the multiple-output nature of production, as major products are usually accompanied by the joint production of by-products. This requires appropriate partitioning of environmental impacts to each product from the system according to an allocation rule, which may be based on different criteria such as economic value, mass balances, product properties, etc.

The assessment encompasses the entire production chain of cow milk, from feed production through to the final processing of milk and meat, including transport to the retail sector (cf. Fig. 1).

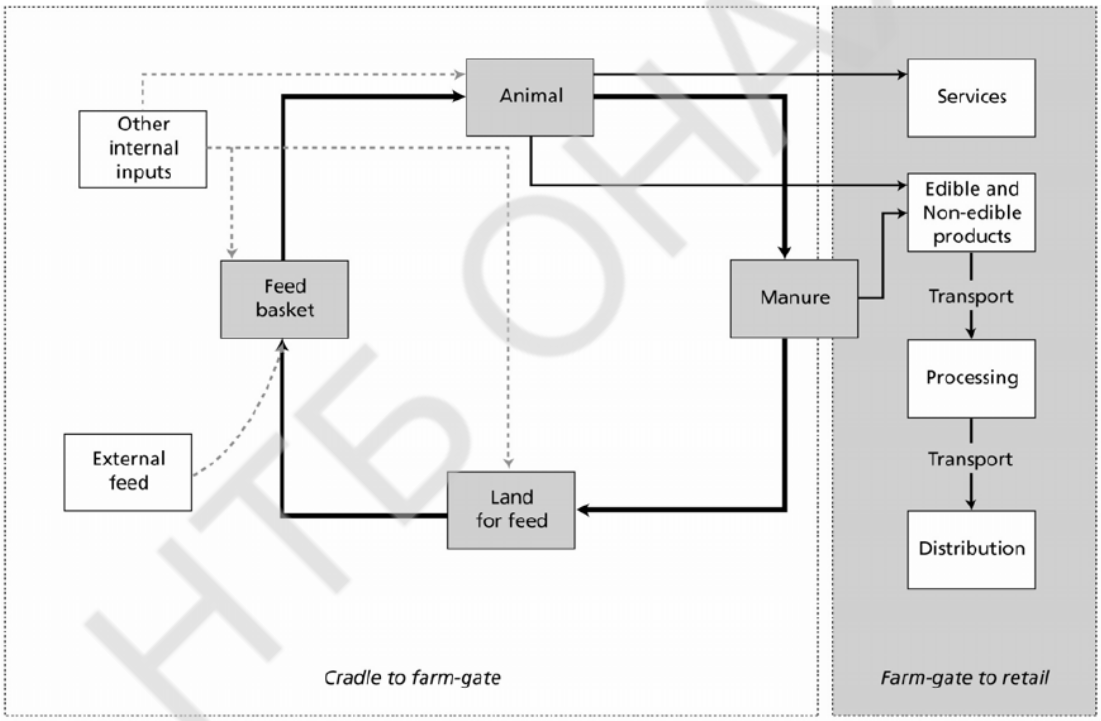


Fig. 1 – System boundary as defined for this assessment

The cradle to retail system boundary is split into two sub-systems:

1. *Cradle to farm-gate* includes all upstream processes in livestock production up to the point where the animals or products leave the farm, i.e. production of farm inputs, and dairy farming.

2. *Farm-gate to retail* covers transport to dairy plants, dairy processing, production of packaging, and transport to the retail distributor.

This study focuses on emissions of the major greenhouse gases associated with animal food chains, namely, methane, nitrous oxide, carbon dioxide, and GHGs related to refrigerants. The following emission sources were included and grouped as pre- and post-farm-gate sources.

In the wake of the current global climate crisis, it has become increasingly clear that there is an urgent need to not only better understand the magnitude of the livestock sector's overall contribution to GHG emissions, but to also identify effective approaches to reduce emissions, and to identify where in the food chain to target these efforts.

Addressing these needs has provided the impetus to re-examine the global livestock food chain emissions, based on the Life Cycle Assessment (LCA) approach.

Globally, cradle to farm gate emissions contribute, on average, 93 percent of total dairy GHG emissions. The study reveals a similar trend across all regions of the world, where on-farm activities (including land use change) contribute most significantly to overall GHG emissions. In industrialized countries, the relative contribution ranges between 78 and 83 percent of total life cycle emissions, while in developing world regions the contribution is much higher – ranging between 90 and 99 percent of total emissions.

Methane contributes most to the global warming impact of milk - about 52 percent of the GHG emissions – from both developing and developed countries. Nitrous oxide emissions account for 27 and 38 percent of the GHG emissions in developed and developing countries, respectively, while CO2 emissions account for a higher share of emissions in developed countries (21 percent), compared to developing countries (10 percent).

Milk production and GHG emissions associated with milk production, processing and transport are shown in Fig.2

Two groups of regions can be identified, according to their relative contribution to global milk production and related GHG emissions: those where production is more emission intensive than average (e.g. South Asia, Sub-Saharan Africa, and Central and South America) and those where it is less (e.g. Western Europe, North America, East Asia). South Asia generates the largest share of emissions, combining large production of milk with relatively high emission per kg of milk. By contrast, Western Europe is ranked at third place for its share of global emissions, even though is the largest producer of milk.

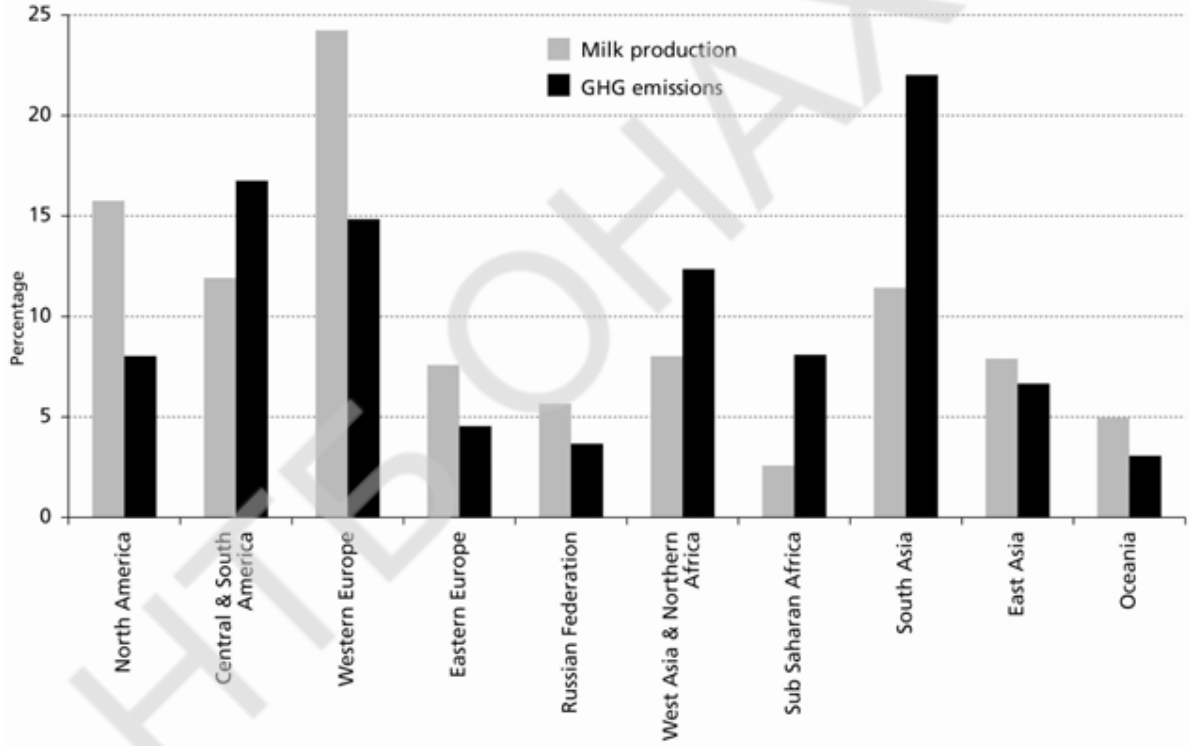


Fig. 2 – Relative contribution of world regions to milk production and GHG emissions associated to milk production, processing and transportation.

Conclusion

The assessment methods presented here only looks at the GHG emissions of the dairy sector. It is obvious that GHG emissions are only one aspect of the environmental sustainability of the sector, which also includes issues such as water use and pollution, biodiversity erosion and air pollution. Furthermore, environmental performance is only one of the criteria against which the sustainability of production systems is measured, others being social issues, public health, and profitability. The results and conclusions of this report need to be understood in this context, and analysed considering the synergies and trade-offs existing among environmental objectives and between environmental and other objectives. For example, although we estimated that the intensification of production is coupled with a reduction of GHG emissions per unit of output, its impacts on the eutrophication of water resources, biodiversity conservation and social arrangements may well be negative.

Literature
1. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector. A Life Cycle Assessment. Food and agriculture organization of the united nations. Animal Production and Health Division http://www.fao.org/docrep/012/k7930e/k7930e00.pdf

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF THE NEW GENERATION GAS-TURBINE MODULAR HIGH-TEMPERAURE NUCLEAR POWER PLANT

Dr. Paul Koltun, "Technident" Pty. Ltd., Melbourne, Australia.
Email: pskoltun15@gmail.com

Abstract

The constructive utilisation of energy is of paramount importance in the enhancement of society's standard of leaving. Worldwide the consumption of primary energy is expected to increase by 2.1% year due to population increase and economic growth. Currently about 90% of the energy consumed originates from burning of fossil fuels, with 30% of the total used of the primary energy for electricity production [1]. Most of the remaining 70% is used either for transportation or converted into hot water, steam and heat. Nuclear energy is now being used to produce about 14% of the world electricity [2]. Over the next 50 years, unless patterns change dramatically, energy production and use will contribute to global warming through large scale greenhouse gas emissions — hundreds of billions of tones of carbon. Nuclear power could be one option for reducing carbon emissions. An interest in nuclear power despite of Fukushima disaster has been revived. More than 40 developing countries have approached United Nations officials to express interest in starting nuclear power programs [3].

Asia has been growing significantly in this regard, with 21 reactors under construction and there are plans to add about 100 more (China, South Korea and India are expected to experience the strongest growth in the region [4]). Indonesia, Vietnam, Thailand, the Philippines and Malaysia are also expressing strong interest in nuclear power [5]).

Number of countries (France, Argentina, Brazil, Canada, Japan, the Republics of Korea, South Africa, the US, UK, Russia, China, etc.) joined together on a mission to develop and implement the next generation of safe and sustainable nuclear reactors, and created the Generation IV International Forum (GIF) to oversee it [6]. The forum's members agreed to concentrate their efforts and funds on six reactor designs seeking to become commercially viable between 2015 and 2025 [7]. Among those reactors the very high temperature reactor (VHTR) is the most attractive nuclear technology. The Next Generation Nuclear Plant (NGNP) prototype concept is based on what is judged to be the lowest risk technology development that will achieve the needed commercial functional requirements to provide an economically competitive nuclear energy source [6]. This technology has substantial gains obtained by: a) coupling of gas turbine with a high temperature gas-cooled reactor (HTGR), which allows achieve a net electrical efficiency in the range of 50%; b) build modular HTGR (called GT-MHR, gas-turbine modular helium reactor) allows lower capital cost due to plant simplification and time reduction for construction; c) the ceramic fuel TRISO (triple coated small balls) fuel (specifically developed fuel for this type of reactors) has the high degree of passive safety and has flexibility to adopt uranium/plutonium, thorium (Th) based fuel cycle and reprocessed SNF from currently used reactors; d) the high burn-up of the reactor (between 80 – 120 GWd/ton) substantially decrease radioactive waste from the spent nuclear fuel (SNF) and makes its SNF much less radioactive [8]; e) the high temperature, which allows HTGR to be applied to hydrogen production and other high temperature process heat applications, as well as low temperature heat applications such as water desalination, thereby efficiently addressing non-electric energy needs [9].

This study describes a life cycle assessment (LCA) of a generation IV nuclear power plant based on a high temperature helium cooled reactor and gas turbine technology with modular design (GTMHR). The adopted method for the study was a hybrid LCA analysis. The analysis of each phase of the life cycle was done on the basis of process chain analysis (PCA). Where detailed data were not available, the analysis of Input/Output (I/O) databases was employed. The obtained results show that GHG emissions and energy intensity per unit of electricity production are considerably low and even lower than emissions from a number of renewable energy sources. The study also investigated other sustainability aspects of nuclear power generation in addition to environmental impacts, namely, social impacts (biodiversity impact, health and safety, employment.) and economic impacts (cost of electricity).

The results obtained for primary energy consumption and GHG emission through whole life cycle of NP plant have been used to calculate energy and GHG payback time based on a methodology developed in [10]. The calculated energy payback time for the NP plant under consideration is - 1.26year. The calculated GHG payback time is - 0.41 year. An overall obtained results show that the GT-MHR under consideration has very low GHG emissions per unit of electricity production of about 6.5g CO2 eq./kWhe for the GT-MHR NP plant life cycle. With all fuel enrichment by gas centrifuge technology in combination with the GT-MHR, the overall GHG footprint of nuclear was estimated to be: - 9.6g CO2 eq./kWhe .

To assess possible sustainability issues of using nuclear power as an electricity generation source it is necessary to go beyond evaluation of GHG emissions and energy intensity to include other environmental impacts, as well as economical and social impacts in comparison with other power generation technologies.

This work shows that the GT-MHR has a competitive electricity generation cost – levelised electricity cost is estimated to be 3.8c/kWh, and even lower according other sources in comparison with most other technologies. The GT-MHR retains the low production cost, high capacity factor and long lifetime advantages of nuclear power during its life cycle. Due to modular design the GT-MHR can be deployed in relatively small increments (286 MWe) in relatively short construction times to minimize cost-at- risk and time-at-risk prior to generation of revenue.

However, public concern about nuclear energy in Australia remains high, due to accidents at Three Mile Island, Chernobyl and recently at the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant in Japan. As a consequence, it is now recognised that the future of nuclear energy will not only depend on technical and economic factors, but public acceptability of this technology, as well. Nuclear safety, disposal of radioactive wastes, and proliferation of nuclear explosives need to be addressed in an effective and credible way if the necessary public support is to be obtained, as public support is essential for building nuclear power plants in Australia.

Keywords: energy generation, nuclear reactor, LCA

REFERENCES

1. Verfondern K. 1999, Hydrogen as Energy Carrier and Its Production by Nuclear Power, Report, IAEATECDOC-108, Vienna.
2. International Atomic Energy Agency, 2009, Design Features to Achieve Defence in Depth in Small and Medium Sized Reactors, Report, Vienna, STI/PUB/1399,
3. Reuters 2010, Developing Countries Eye Nuclear Power, Report, May12,
2. http://uk.reuters.com/article/worldNews/idUKN1253956420080512, accessed 2010
3. Word Nuclear Organisation, 2010, Asia's Nuclear Energy Growth, Information Papers, August,
4. http://www.world-nuclear.org/info/inf47.html, accessed 2010
5. Symon A. 2010, Vietnam sets nuclear pace in South-east Asia, Asia Times, June 5,
6. http://www.atimes.com/atimes/Southeast_Asia/JF05Ae01.html, accessed 2010
7. Bouchard J., Bennett R. 2008, Generation IV Advanced Nuclear Energy Systems, Nuclear Plant;
8. V.26, No 5, pp.42-45
6. Adamantiades A., Kessides I. 2009, Nuclear Power for Sustainable Development: Current Status and Future Prospects, Energy Policy, V.37, pp. 5149-5166
7. International Atomic Energy Agency, 2006, Technology Review, Report , Vienna, IAEA/NTR/2006
8. Kuhr R. 2008, HTR's Role in Process Heat Applications, Nuclear Eng. and Design V.238, pp. 3013–3017
9. Koltun P. and Tharumarajah A. 2008, Environmental Assessment of Small Scale Solar Thermal
9. Electricity Generation Unit Based on LCA Study, 15th Int. Conf. on Life Cycle Engineering, Sydney, Australia, 17-19 March.

ПІДПРИЄМСТВА ГАЛУЗІ ХЛІБОПРОДУКТІВ – ДЖЕРЕЛА ВПЛИВУ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ І ШЛЯХИ ЙОГО ЗМЕНШЕННЯ

Зацерклянний М.М., к.т.н., доцент
Одеська національна академія харчових технологій

За прогнозами аналітиків Україна у 2016 році збере близько 62,7 млн т зерна, що на 2,6 млн т більше, ніж у минулому році. З них пшениця складе 25,8 млн т, кукурудза - 25 млн т, ячмінь - 9,5 млн т.

Підприємства галузі хлібопродуктів зобов'язані приийняти це збіжжя, розмістити його у зерносховища, довести до кондиційного стану, закласти на зберігання, відпустити на переробку і на експорт, переробити і передати на використання.

Практично всі технологічні процеси, підприємств галузі хлібопродуктів, супроводжуються значним виділенням пилу, який є однією з головних шкідливих речовин на цих підприємствах. Пил забруднює

навколишнє середовище, здійснює негативний вплив на обслуговуючий персонал, викликає передчасний знос технологічного обладнання, має високу вибухо- і пожежонебезпеку, його виділення пов'язане з втратою частини сировини і готової продукції.

Ефективна очистка повітря на підприємствах галузі хлібопродуктів має не тільки екологічне, санітарно-гігієнічне і технологічне, а й істотне економічне значення.

При розробці технології та технічних рішень щодо зниження антропогенного впливу на навколишнє середовище підприємств галузі хлібопродуктів на основі вдосконалення проектування знепилюючих систем вирішені такі питання:

- вивчено вплив пилу на елементи навколишнього середовища (повітря, воду, рослинні об'єкти);
- встановлені закономірності розподілу пилу всередині виробничих приміщень;
- вивчені особливості фракційного, хімічного, мікробіологічного складу пилу мінерального і органічного походження;
- вивчено вплив пилу на обслуговуючий персонал;
- розроблена методика інженерного розрахунку знепилюючих систем виробничих приміщень і оцінена її еколого-економічну ефективність.

Установлено, що спрямованість, швидкість переміщення повітря, фракційний розподіл і осадова запиленість у функціональних приміщеннях підприємств галузі хлібопродуктів, мають індивідуальний характер для кожного з видів технологічного обладнання та залежать від повітряних потоків, що створюються їх рухомими частинами. Максимальна концентрація дрібнодисперсного (5-10 мкм) пилу спостерігається на висоті 1,8 і 0,1 м.

Питання поводження з відходами підприємств галузі хлібопродуктів актуальні на сьогодення і потребують ретельного вивчення та вирішення. Численні відходи зернопереробних виробництв є потенційною вторинною сировиною. У даний час основна частина вторинної сировини, що утворюється у харчовій і переробній промисловості (близько 70%), надходить у сільське господарство у натуральному вигляді, а понад 15 % не використовується взагалі і є джерелом забруднення навколишнього середовища.

Метою наших досліджень був пошук методів комплексного використання аспіраційного пилу, що утворюється як при підготовці зерна до переробки так і того, що утворюється при його переробці.

Один із напрямків поводження з аспіраційними відходами - переведення їх у вторинний матеріальний ресурс у вигляді біомаси дріжджів у залежності від якісного і кількісного його складу.

Результати досліджень представлені на рисунку 1.

Галуззю промисловості, що використовує воду для технологічних потреб і відповідно скидає її у каналізаційну мережу чи водойму, є зернопереробна. Схеми очисних споруд, як правило, не досконалі, не забезпечують достатню якість очистки стічних вод і використовують крім того здебільшого прямоточні системи. Крім того, стічні води зернопереробних підприємств мають у своєму складі корисні компоненти, які не завжди використовуються.

Природа явищ, що відбувається при очищенні, вивчена недостатньо, процес очистки протікає в умовах постійних збуджень, а інформація стосовно перебігу процесу через тривалість аналізів, надходить з великим запізненням.

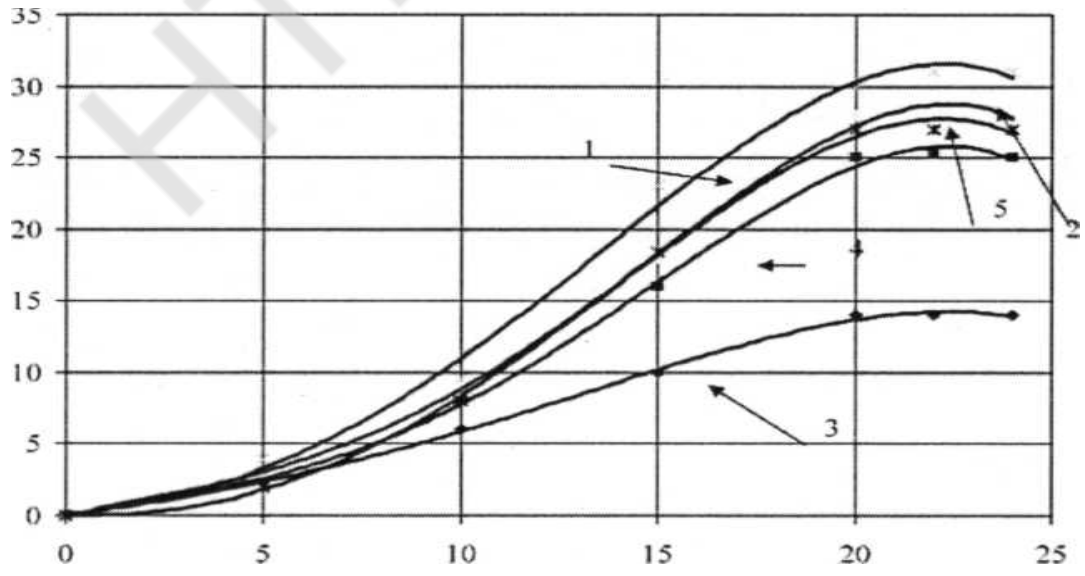


Рис. 1 – Процеси накопичення біомаси дріжджів у результаті ферментації з різних видів аспіраційного пилу; 1 - концентрація дріжджів при ферментації на гідролізаті білого аспіраційного пилу, 2 - сірого, 3 - чорного, 4 - змішаного типу пилу, 5 - контрольний дослід

Існуючі системи управління не враховують особливості протікання явищ в очисних спорудах, а локальні задачі не завжди відповідають глобальним цілям управління. Це дає підстави вважати, що удосконалення систем управління процесами очистки стічних вод зернопереробних підприємств є важливою проблемою, вирішення якої дозволить значно скоротити використання свіжої і скидання стічної води, виділяти цінні компоненти і підвищити показники ефективності роботи очисних споруд.

Внаслідок виконаної роботи:

- виявлена загальна структура процесу очистки і рециркуляції очищених вод;
- визначені найбільш доцільні способи для оцінки і прогнозування якості очистки стічних вод;
- установлені основні способи збурення впливу і розроблені найбільш доцільні методи їх компенсації;
- визначені статичні і динамічні характеристики очисних споруд для конкретних об'єктів;
- синтезована універсальна структура системи управління якістю очистки і здійснено її інформаційне забезпечення.

Огляд технологічних схем очистки стічних вод зернопереробних підприємств показав необхідність вивчення особливостей процесу очистки. У пропонованих схемах не відображена специфіка виробництва борошна: спосіб подачі зерна на мийку, типи машин, що використовуються для мийки зерна, зміни витрат води, ступінь забруднення зерна тощо.

Установлено, що у зв'язку із значним забрудненням очищену воду після мийки зерна можна повторно використовувати тільки при безперервному контролі, але для цього необхідно удосконалювати технологічну схему очисних споруд і автоматизувати основні функції контролю і управління.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що взагалі недостатньо вивчені особливості процесів очистки стічних вод зернопереробних підприємств і це призводить до широкого діапазону зміни показників якості очистки. Показники якості очистки повинні визначатися категорією повторного чи послідовного використання очищених стічних вод. Величина рециркуляційного потоку може слугувати головним критерієм якості функціонування схем очисних споруд.

Установлено також, що одним із загальних недоліків розглянутих типів очисних споруд є досить недосконала система управління. Існуючі локальні системи автоматики функціонують роздільно і не погоджені загальною ціллю управління.

Якісні співвідношення між прямим, відвідним із системи і рециркуляційним багатокомпонентними потоками стічних вод визначали із системи рівнянь матеріального балансу. Із цієї системи рівнянь отримано залежність для визначення коефіцієнта рециркуляції.

Для підвищення стійкості досліджуваних об'єктів розроблена методика визначення інтервалу усереднення кількісних показників якості стічних вод, в основу якої покладені методи ступінчатої екстраполяції. Ці методи дозволяють прогнозувати величину параметра з заданим значенням похибки, яка у значній мірі визначається інтервалом дискретно вимірюваної величини.

Для вивчення закономірностей протікання процесів очистки стічних вод, складені математичні моделі відповідно до структурної схеми очистки і рециркуляції стічних вод від млина (рис. 2).

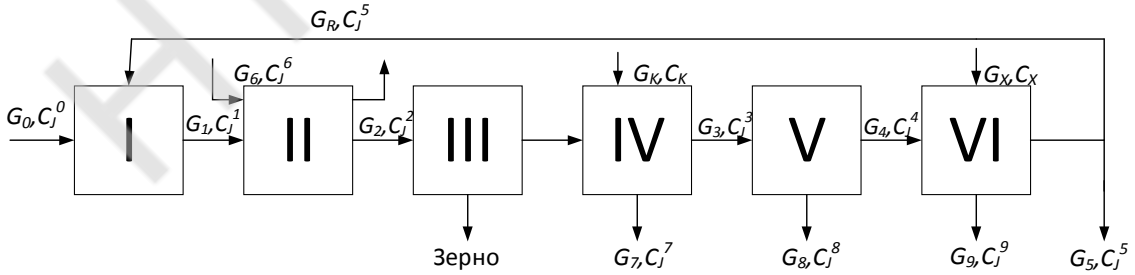


Рис.2 – Структурна схема очистки і рециркуляції стічних вод від млина
I – змішувач; II – мийна машина; III – зерноуловлювач; IV – відстійник (фільтр); V – споруда біологічної очистки; VI – знезаражуючий пристрій

$$G_1 G_J^{(1)} = G_O C_J^{(0)} + G_R C_J^{(5)} \quad 1$$
$$G_2 C_J^{(2)} = G_1 C_J^{(1)} + G_6 C_J^{(6)} \quad 2$$
$$G_3 C_J^{(3)} = G_2 C_J^{(2)} + G_7 C_J^{(7)} + G_K C_K \quad 3$$
$$G_4 C_J^{(4)} = G_3 C_J^{(3)} - G_8 C_J^{(8)} \quad 4$$
$$G_R C_J^{(5)} = G_4 C_J^{(4)} - G_6 C_J^{(9)} + G_X C_X - G' C_J^{(5)} \quad 5$$

де G_0, G_R – витрати води відповідно із мережі і рециркуляційної;

G_1, G_2, G_3, G_4 – витрати води відповідно після мийної машини і кожного з компонентів очистки;

G_6 – витрати зерна на мийку;

G_K, G_X – витрати відповідно коагулянту і знезаражуючого матеріалів;

G_7, G_8, G_9– обсяги осаду в елементах очистки;

$C_J^{(0)}$, $C_J^{(2)}$, $C_J^{(3)}$, $C_J^{(4)}$ – концентрації *j*-го компоненту води в *i*-му перетині структурної схеми (i = 1, 2,…,5);

C_K, C_X– концентрації відповідно коагулянту і знезаражуючого матеріалів;

$C_J^{(7)}$, $C_J^{(8)}$, $C_J^{(9)}$ - концентрації *j*-го компонента води в осаді відповідного пристрою для освітлення, споруди біологічної очистки і знезаражуючого пристрою.

Однією з кількісних оцінок ефективності очистки може слугувати величина коефіцієнту рециркуляції, яку визначали при рішенні систем рівнянь (1 - 5)

$$K_R = \frac{d_1(C_6^{(5)} + \Delta C_6^{(5)})}{d_2\sqrt{C_6^{(5)}} + \Delta C_6^{(5)} - d_3(C_6^{(2)} + \Delta C_6^{(2)})} \qquad 6$$

де d_1, d_2, d_3 – постійні величини, що залежать від параметрів очистки споруд;

індекс *б* – біохімічне споживання кисню.

Експериментальне визначення цих постійних дозволяє вирахувати значення коефіцієнта рециркуляції.

Рішення рівнянь (1-5) в приростах дає динамічні характеристики елементів схем очистки. Проведений аналіз динаміки очисних споруд на основі спільності рециркуляційних потоків дозволяє встановити принципову направленість підготовки схеми до управління, яка полягає у підвищенні їх стійкості до впливу основного збурення – нерівномірності концентрацій забруднення.

Для розрахунку усереднення якості стічних вод, яке забезпечує підвищення стійкості об'єкта збурення, запропонована методика, що базується на методах ступеневої екстраполяції. Для встановлення зв'язку між вхідними і вихідними усереднювача складено математичний опис.

Взагалі на основі аналізу існуючих методів очистки стічних вод, установлено, що організація системи управління якістю є одним із ефективних способів удосконалення процесів очистки, який дозволяє покращити якість очищеної води, зменшити питомі витрати на очистку і повторно використати очищену воду. Аналіз структури технологічної схеми очистки стічних вод зернопереробного підприємства і характеристик потоків показав принципову можливість реалізації комплексної системи управління якістю очистки на основі упорядкування і скорочення інформації, а також стабілізації деяких кількісних характеристик потоків.

Для реалізації комплексної системи управління розроблена детальна система управління якості очистки, яка дозволяє вирішити обмежене число контролюючих параметрів на основі побудови алгоритму причинно-наслідкових зв'язків очистки, формалізації деяких функцій управління, розробки експресного вимірювання величини концентрації зважених речовин тощо.

Складені математичні моделі процесів, що відбуваються при очистці стічних вод дозволили задаючись величиною коефіцієнту рециркуляції визначити основні розміри елементів очистки, їх статичності і динамічні характеристики, які необхідні для реалізації запропонованої структури системи управління.

За результатами досліджень стосовно очистки газових викидів, виробничих стічних вод і поводження з відходами підприємств галузі хлібопродуктів отримано 13 патентів, основна частина із яких впроваджені у виробництво. Все це забезпечило не тільки значний екологічний, а і економічний ефект.

УДК 628.315; 628.353

ВИКОРИСТАННЯ АЕРОБНИХ ДИСКОВИХ БІОФІЛЬТРІВ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ДОМІШОК

Зацерклянний М.М., к.т.н., доцент
Одеська національна академія харчових технологій,
Столевич Т.Б., к.т.н., доцент
Одеський національний політехнічний університет,
Зацерклянний О.М., ст.н.с.
ДП Український науково-дослідний інститут медицини транспорту

Однією із галузей, які споживають і скидають значну кількість води, і в якій схеми очисних споруд недосконалі, є харчова промисловість, у т.ч. і зернопереробні підприємства. У ряді випадків стічні води таких підприємств містять цінні компоненти, які не завжди використовуються.

Останнім часом знаходять застосування малогабаритні споруди, призначені для очищення стічних вод підприємств агропромислового комплексу, харчових підприємств малої і середньої потужності, до яких відносяться підприємства, які переробляють сировину, що містить у значній кількості вуглеводи.

Очисні споруди малої каналізації повинні відповідати наступним вимогам: простота пристрою, мінімальна кількість обслуговуючого персоналу, технологічність, компактність, низькі експлуатаційні витрати, надійність і стійкість до короткочасних токсичних, органічних і гідравлічних перевантажень.

З відомих типів малогабаритних очисних споруд найбільш повно задовольняють зазначеним вимогам аеробні заглибні обертові дискові біофільтри.

Стічні води зернопереробних підприємств, які пройшли попереднє очищення методами проціджування, відстоювання і фільтрування, все ще містять значну кількість зважених і особливо розчинених неорганічних і органічних сполук, які можуть бути виділені біологічними методами.

Основний спосіб очищення стічних вод, що містять сполуки органічного походження, полягає у мінералізації цих забруднень внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів. Крім того у процесі дихання мікрофлори органічні речовини окислюються і звільняється енергія, необхідна для підтримки життєвих функцій мікроорганізмів. Частина енергії йде на процеси синтезу клітинної речовини, на збільшення маси бактерій, кількості активного мулу і біологічної плівки в очисних спорудах.

Відомо, що аеробне біологічне очищення промислових стоків базується на взаємодії трьох компонентів, що знаходяться у стічній рідині: розчинених, колоїдних і суспендованих, що піддаються біологічній деструкції органічних сполук; кисню, що міститься у повітрі; мікроорганізмів, які здійснюють біологічне розщеплення органічних речовин.

Для реалізації аеробного біологічного очищення промислових стоків розроблено пристрій, що містить резервуар з підвідним і відвідним лотками, встановленими у резервуарі на горизонтальних валах, що обертаються порожнистими і перфорованими дисками з розміщеним всередині них контактним середовищем для іммобілізації мікроорганізмів.

Контактні елементи, що опущені у стічну рідину, адсорбують на собі органічні забруднення, які частково переходять в субстанцію біоплівки, покривають поверхню дисків і контактне середовище. При виході елемента зі стічної рідмни відбувається поглинання і розчинення кисню на межі рідина-газ. Подальше окислення органічних забруднень за допомогою вилученого з повітря кисню відбувається тривалий час. Отже, при проектуванні пристрою істотним є час контакту стічних вод з біоценозом плівки, що визначає термін перебування стоків у біофільтрі і швидкість окислення органічних речовин. Також слід враховувати гідравлічне і органічне навантаження на контактну поверхню.

Стаціонарна робота аеробних заглибних обертових дискових біофільтрів настає, як правило, через тривалий проміжок часу після його запуску. Це пов’язано з досить повільною кінетикою біологічних процесів, відповідальних за ріст біомаси. Експерименти з біофільтрами дуже тривалі, і, якщо навіть вдається утримати зовнішні умови постійними, вимірювані характеристики що відображають стан біофільтра, все ще знаходиться в нестаціонарній фазі. Перспективним для оптимізації процесів у біофільтрах є математичне моделювання.

Реакційна поверхня диска зростає в міру збільшення ступеня занурення його у воду, але одночасно збільшується і кількість еродованої біоплівки. На підставі проведених досліджень встановлено, що оптимальна ступінь занурення площі біологічних дисків становить 45-48%.

Продуктивність заглибних обертових дискових біофільтрів залежить від частоти обертання біологічних дисків фільтра. З одного боку збільшення частоти покращує массообмінні процеси між

рідиною, повітрям і біоплівкою, а з іншого - підвищує руйнівну тангенціальну напругу, що діє на біоплівку зі сторони рідини і зростаючу зі збільшенням відстані від осі обертання біологічних дисків. З іншого боку, збільшення лінійної швидкості в міру зростання радіальної координати інтенсифікує транспорт поживних елементів з рідини до мікроорганізмів.

Діаметр дисків слід приймати рівним 0,6-3 м; відстань між дисками - 10-20 мм; частота обертання валу з дисками - 1-10 хв$^{-1}$. Рівень води, що очищається в резервуарі повинен бути на 2-3 см нижче горизонтальних валів. Як матеріал дисків рекомендується застосовувати жорсткі пластмаси (полівінілхлорид, поліетилен), асбестоцемент або листи з легких алюмінієвих сплавів. Дані споруди розраховуються за експериментальними даними в залежності від необхідного ступеня очищення і концентрації органічних забруднювачів в очищуваній воді.

У результаті проведених досліджень розробленого високопродуктивного аеробного погружного дискового біологічного фільтра доведено доцільність використування в якості завантажувального матеріалу контактного середовища керамзит, бентоніт, кремінь. Запропонована конструкція біологічного фільтра з модифікованим завантаженням має досить розвинену адсорбційну поверхню, здатну до максимального насичення стічних вод киснем, а також забезпечує інтенсивне перемішування і підтримку у зваженому стані відкинутої біоплівки. Це дозволяє інтенсифікувати процес очищення стічних вод і підвищити потужність споруди.

Проведені дослідження дозволили встановити: залежність видалення забруднень за ХСК та БСК від частоти обертання; вплив органічного та гідравлічного навантаження на ефективність вилучення забруднень; вплив температури на життєдіяльність мікроорганізмів.

Отримана математична залежність між основними технологічними параметрами процесу біологічної очистки стічних вод на біофільтрі з модифікованим завантаженням. Біохімічні процеси у досліджуваному біофільтрі описуються рівнянням, в основу якого покладено рівняння кінетики ферментативних реакцій. За результатами досліджень визначено значення гідродинамічних коефіцієнтів для запропонованого завантаження і біохімічних констант процесу очищення стічних вод зернопереробних підприємств.

Визначено оптимальні значення технологічних параметрів біологічної очистки стічних вод на біофільтрі з модифікованим завантаженням, а саме: частота обертання 2 хв$^{-1}$, гідравлічне навантаження 14,5 -18,5 м^3 / м^3 добу, органічне навантаження 3,0 - 5, 0 кг / м^3.добу.

Біологічний фільтр є ефективним пристроєм водоочищення стічних вод. Він відрізняється відносною простотою конструкції, високою ефективністю вилучення органічних і неорганічних забруднень з оброблюваної води, можливістю розрахунку і проектування. Перевага експлуатації тієї чи іншої конструкції біофільтра визначається після ретельного вивчення хімічного складу і характеристик стічних вод, наявності в них тих чи інших органічних і неорганічних забруднень, вартості обладнання та вимог до якості і складу очищеної води.

За результатами виконаних досліджень розроблено і запатентовано два пристрої для очищення стічних вод галузі хлібопродуктів. Виконуються роботи по впровадженню розробок у промисловість.

ПОВОДЖЕННЯ З ПИЛОВИДНИМИ ВІДХОДАМИ ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Шостік Д.І., аспірантка, Зацерклянний М.М., к.т.н., доцент
Одеська національна академія харчових технологій

Зернопереробна промисловість – одна з найбільших галузей агропромислового комплексу України. Підприємства галузі здатні повністю задовольнити потреби населення у хлібопродуктах високої якості, і експортувати свою продукцію за межі країни. Промисловість забезпечує населення борошном і крупами, а її відходи використовуються для виробництва комбікормів або відправляються без відповідної обробки сільськогосподарським підприємствам чи знищуються.

Технологічні процеси зернопереробних підприємств (очистка і підготовка зерна до переробки) призначені для забезпечення ефективної обробки зернової маси з метою поліпшення технологічних властивостей і підвищення стабільності показників якості зерна і вилучення з неї сторонніх домішок.

Виходячи із цих вимог до якості очищеного і підготовленого до переробки зерна, в структурі зерноочисного відділення передбачені певні технологічні процеси і операції, що забезпечують задану якість зерна після його очистки і підготовки.

Структура технологічних процесів включає: попередню очистку зерна в елеваторі і відбір дрібної фракції, очистку зерна сухим і вологим способом, очистку поверхні зерна.

На всіх етапах технологічних процесів, пов'язаних з прийманням, транспортуванням, переміщенням, розміщенням по силосах, попередньою очисткою від домішок зерна і підготовкою його до переробки, утворюється різна категорія відходів.

Основною проблемою зернопереробних підприємств є кількість сировини, яка не використана для виробництва вторинної продукції та спрямована у відходи.

Відходи або так звані вторинні матеріальні ресурси, - це, як правило, напівфабрикат, тобто результат незавершеного, не доведеного до кінця виробництва, або продукт, для якого не існує на сьогоднішній день раціональна область економічно прийнятного використання.

Одним із мало використовуваних видів відходів зернопереробних підприємств є аспіраційний пил. На його долю приходиться до 13% від загальної кількості відходів виробництва.

Пил утворюється на стадіях підготовки зерна до переробки (приймання, транспортування, розміщення зерна по силосах, попередня очистка зерна від домішок, очистка зерна на сепараторах, на трієрах тощо), а також при його безпосередній перероці у готову продукцію.

Перспективним напрямком переробки аспіраційного пилу зернопереробних підприємств є гідроліз – процес перетворення полісахаридів у прості сахари. Гідролізному розпаду піддаються усі органічні компоненти пилу (вуглеводи, жири, білки), що дозволяє переведести їх у вторинні матеріальні ресурси і отримати корисний продукт у вигляді біомаси дріжджів.

Установлено, що дріжджова мікрофлора розвивається краще на поверхні поживного середовища. Оскільки дріжджові мікроорганізми відносяться до аеробів, бажано процес здійснювати з використанням аераційних систем. Вихід біомаси залежить від складу аспіраційного пилу. При оптимальних параметрах ведення процесу, максимальний вихід біомаси наступає після 20 – 24 годин перебування відходів у біореакторі.

Другий напрямок використання зернового пилу – компонент субстрату для вирощування грибів.

Пил, що утворюється при процесах розмелу зерна і уловюється уфільтрах, циклонах тощо, має у своєму складі значну частку білкового компоненту. Його можна використовувати як покращувач якості борошна.

ПРІОРИТЕТНИЙ ЕЛЕМЕНТ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ НАФТОХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Столевич Т.Б., к.т.н., доцент
Одеський національний політехнічний університет

Система управління промисловою безпекою, охороною праці і навколишнім середовищем - один із пріоритетних елементів ефективного управління виробництвом. Нафтохімічне підприємство несе повну відповідальність за управління професійними ризиками, пов'язаними з впливом на життя і здоров'я працівників, обладнання, майно та навколишнє середовище.

Підприємство зобов'язане досягти рівня охорони праці, промислової та екологічної безпеки, відповідного найкращим показникам провідних нафтохімічних підприємств світу; постійно знижувати ризики виникнення аварій та інцидентів, травмування персоналу, негативний вплив на навколишнє природне середовище; створювати здорові і безпечні умови праці, забезпечувати транспортну та пожежну безпеку за рахунок досягнення рівня виробничих процесів, відповідного сучасному стану техніки і досягнень науки, керуючись принципом пріоритетності життя і здоров'я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності.

Для досягнення поставлених цілей необхідно:

- створювати, підтримувати і удосконалювати на підприємстві результативну і таку, що відповідає вимогам міжнародних стандартів, систему управління в галузі промислової безпеки, охорони праці та навколишнього природного середовища, яка включає ключові процеси ідентифікації небезпек, оцінки та управління професійними ризиками, що забезпечує регулярне планування і вирішення найважливіших завдань промислової безпеки, охорони праці та навколишнього середовища, що виникають перед підприємством;

- створювати умови, у тому числі методи мотивації і залучення до діяльності щодо забезпечення промислової безпеки, охорони праці та навколишнього середовища, при яких кожен працівник

підприємства усвідомлює і приймає відповідальність за власну безпеку та безпеку оточуючих, маючи право на зупинку і /або/ відмову від виконання операції, яка загрожує життю і здоров'ю його самого і оточуючих;

- забезпечувати заходи щодо зниження або доведення до допустимого рівня ризиків, що загрожують здоров'ю та безпеці працівників підприємства і населення, що мешкає поруч;
- постійно спрямовувати зусилля на підвищення рівня знань, компетентності та обізнаності працівників з питань промислової безпеки, охорони праці та навколишнього середовища за допомогою різних форм навчання, обміном досвіду тощо;
- підвищувати промислову і екологічну безпеку виробничих об'єктів підприємства, знижувати рівень негативного впливу на навколишнє природне середовище за рахунок підвищення надійності технологічного обладнання, забезпечення його безпечної та безаварійної роботи, впровадження передових технологій, поліпшення якості підготовки передпроектної та проектної документації на нововведені об'єкти, проведення відомчих експертиз;
- вести безперервну роботу щодо поліпшення умов праці та рівня промислової, екологічної, транспортної та пожежної безпеки, а також вести моніторинг даних поліпшень;
- забезпечувати відкритість і доступність показників в галузі промислової безпеки, охорони праці та навколишнього природного середовища шляхом адекватного обміну інформацією та діалогу з усіма зацікавленими сторонами;
- підвищувати ефективність виробничого контролю та екологічного моніторингу за допомогою впровадження сучасних інформаційних технологій, використання сучасного аналітичного обладнання;
- проводити консультації з працівниками небезпечних виробничих об'єктів та їх представниками з питань забезпечення промислової безпеки, охорони праці та навколишнього середовища;
- забезпечувати високу культуру виробництва, безпечні умови праці працівників і охорони навколишнього середовища;
- своєчасно актуалізувати і доводити політику підприємства в галузі промислової безпеки, охорони праці та навколишнього природного середовища до всіх працівників, а також зацікавлених третіх осіб.

БАЗОВІ ПРИЧИНИ НЕДОСКОНАЛОСТІ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА МУНІЦИПАЛЬНОМУ РІВНІ

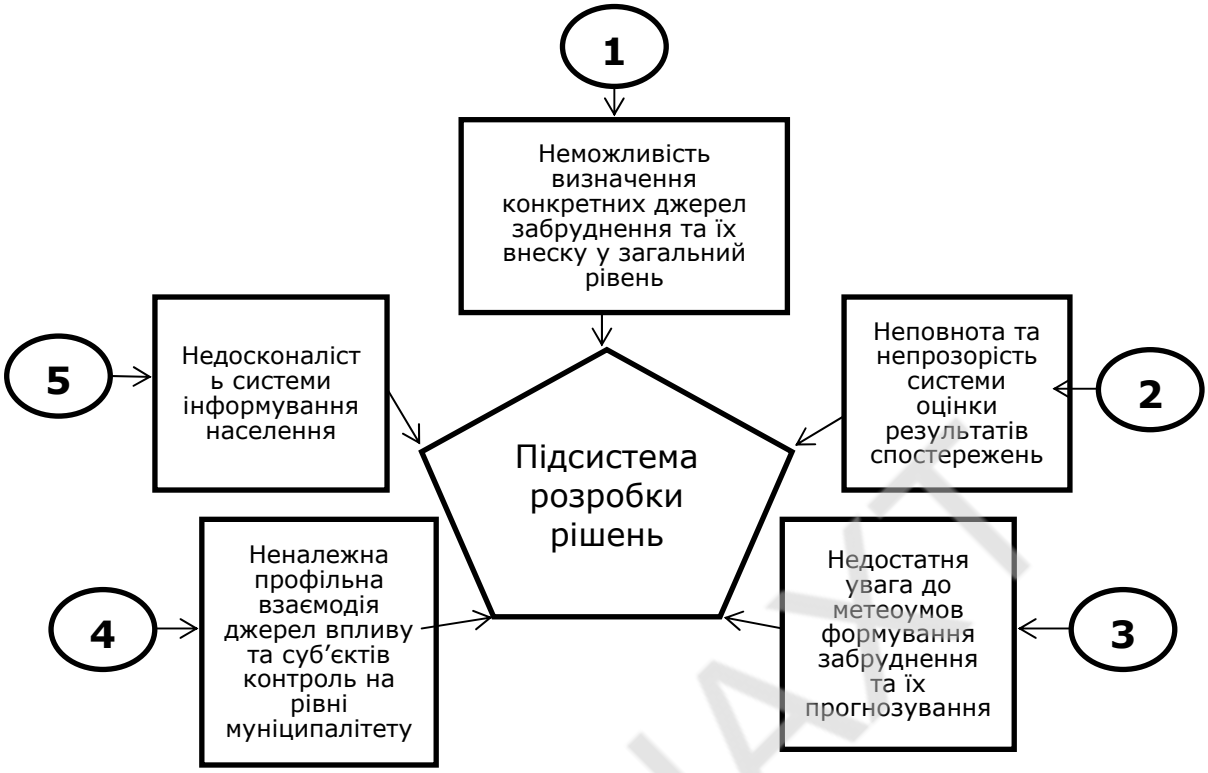
Бахарєв В.С., к.т.н., доцент
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

На сьогодні, в умовах децентралізації влади в Україні, для розв’язання завдання контролю якості атмосферного повітря в адміністративних межах міських агломерацій питання організації дієвої комплексної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря саме на муніципальному рівні постає дуже актуальним. У вирішенні зазначеного питання необхідною передумовою є аналіз базових причин недосконалості існуючої системи моніторингу.

Аналіз існуючої системи моніторингу атмосферного повітря на прикладі техногенно-навантаженого міста Кременчука дозволив визначити ряд базових причин недосконалості:

1. Відсутність диференціації постів спостережень за характером інформації, що одержується.
2. Відсутність належної експертної оцінки результатів спостережень.
3. Відсутність адекватного прогнозування метеоумов, що формують забруднення атмосферного повітря (МУЗ) та попередження об’єктів промисловості про настання небезпечних метеоумов (НМУ).
4. Відсутність структурованої бази даних системи моніторингу
5. Відсутність широкого доступу громадськості до зрозумілих усім верствам населення міста результатів спостережень та їх аналізу.

Вказані недоліки породжують наслідки в роботі існуючої системи, які виявляються у неможливості реалізації такої важливої функції моніторингу як розробка пропозицій для прийняття управлінських рішень. Взаємозв’язок причин та наслідків наведено на рисунку 1.



ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПАЛИВНОГО ГОСПОДАРСТВА ТЕС ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЗАКРИТОЇ СИСТЕМИ АСПІРАЦІЇ

Карамушко А. В. асс., Буров О. О. канд. техн. наук
Одеський національний політехнічний університет

Проблема екологічно чистого виробництва електричної енергії у час, коли ринкові відносини диктують жорсткі вимоги до конкурентоспроможності енергетичних підприємств, є дуже актуальною. У 2015 році частка теплової енергетики у виробництві електроенергії в Україні склала близько 35 %. Паливне господарство теплоенергетичних підприємств на твердому паливі є найбільш вартісним і складним. У процесі видобутку, транспортуванні твердого палива частина його переходить у пиловидний стан і втрачається, забруднюючи навколишнє середовище. Тверде паливо на ТЕС надходить переважно залізничним транспортом. На електростанціях з витратою палива більше ніж 150 т/ч застосовують вагоноперекидачі. Модернізація системи очищення повітря на вагоноперекидачі, а саме встановлення замкненої аспіраційної системи, дозволить підвищити екологічну безпеку підприємства.

Об'єднання завитку вентилятору з пилозбірним контейнером у пиловловлюючий апарат зводить до мінімуму кількість елементів обезпилюючої системи, зменшує її габарити і металоємність та підвищує надійність системи. Аналіз літературних джерел виявив властивості вентилятора виконувати роль коагулятора та концентратора пилових часток.

Зміна стану циркулюючого у закритій системі пилу наведена на рис. 2 графом перехідних станів.

На ефективність роботи такої системи буде впливати дотримання режимів експлуатації та правильне улаштування бункеру. У великий різноманітності пиловловлювачів (циклони, пилоосаджувальні камери, багатоканальні пиловловлювачі та ін.) є загальні ознаки їх пилозбірників, в яких присутні вхід й вихід, область осадження, вільна поверхня осаду, наскрізний потік. Крім того в конкретному процесі пиловловлювання завжди існує такий розмір частинок, що ймовірність їх потрапляння в осад дорівнює 0,5. Отже, розрахунок ефективності вловлювання пилу в бункері пиловловлюючого апарату можливо провести на основі розрахунку пилоосаджувальної камери (рис. 2).

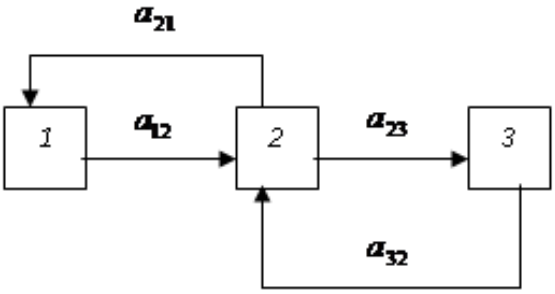


Рис. 1 – Граф системи з пиловловлюючим апаратом: 1 – об'єкт обезпилення, 2 – вентилятор; 3 – пилозбірний контейнер (бункер).

При $a_{12}=1$

$$a_{21}=\frac{1-\eta_2}{1-\eta_2+\eta_2\eta_3};\ a_{23}=\frac{\eta_2}{1-\eta_2+\eta_2\eta_3};\ a_{32}=\frac{\eta_2(1-\eta_3)}{1-\eta_2+\eta_2\eta_3} \quad (1)$$

Для визначення коефіцієнту вловлювання пилу в пилозбірному контейнері експериментальним шляхом використовували три проби пилу (дисперсний склад наведений у табл 1):

1 – пил з насипною щільністю 990 кг/м^3, медіанним розміром частинок пилу 95 мкм;

2 – пил з насипною щільністю 560 кг/м^3, медіанним розміром частинок пилу 70 мкм;

3 – пил з насипною щільністю 210 кг/м^3, медіанним розміром частинок пилу 50 мкм.

Таблиця 1 – Дисперсний склад експериментального пилу

Розмір отворів у ситі, мкм	% частинок в складі пилу		
	1 проба	2 проба	3 проба
>100	56,5	14	18
100–63	30	38	26
63–50	8,5	30	13
50–40	3,5	13	7
< 40	1,5	5	36

Коефіцієнти вловлювання пилу склали 29 %, 38 % і 88 % відповідно (рис. 2).

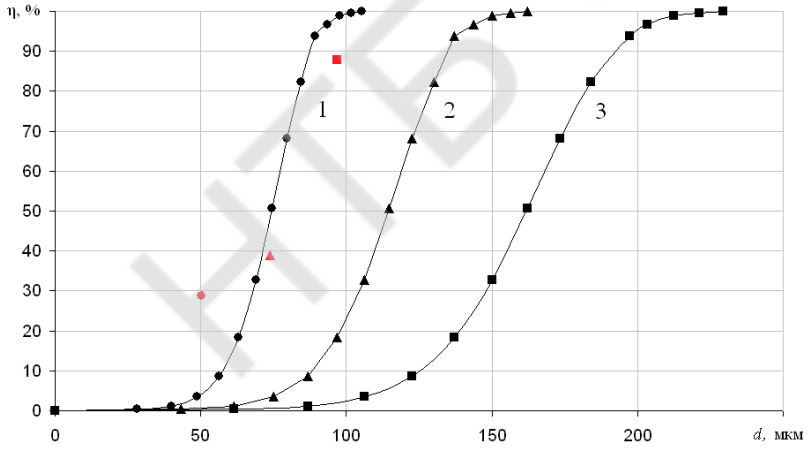


Рис. 2 – Ефективність осадження пилових частинок в бункері розрахунковим (1, 2, 3) і експериментальним (●,▲, ■) шляхом.

Порівняння результатів фізичного експерименту з результатами розрахунку опосередковано підтвердило коагулюючи властивості вентилятору.

Зменшення до мінімуму числа структурних елементів у закритій системі аспірації ізольованого простору (приміщення вагоноперекидача) скорочує час заповнення пилозбірника, виключає взаємодію очищеного повітря з навколишнім середовищем. Окрім того, закрита система аспірації повертає тепле повітря у приміщення, що дозволить знизити витрати на опалення при розморожуванні палива у зимовий період. Таким чином забезпечується санітарно-гігієнічний та ресурсозберігаючий ефект

СЕКЦІЯ 5:

. ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННЯ

ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ І ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННІ

НТБ ОНАХТ

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПАЛИВНОГО ГОСПОДАРСТВА тес ЗА рахунок ВИКОРИСТАННЯ ЗАКРИТОЇ СИСТЕМИ АСПІРАЦІЇ

Карамушко А. В. асс., Буров О. О. канд. техн. наук
Одеський національний політехнічний університет, м.Одеса

Проблема екологічно чистого виробництва електричної енергії у час, коли ринкові відносини диктують жорсткі вимоги до конкурентоспроможності енергетичних підприємств, є дуже актуальною. У 2015 році частка теплової енергетики у виробництві електроенергії в Україні склала близько 35 %. Паливне господарство теплоенергетичних підприємств на твердому паливі є найбільш вартісним і складним. У процесі видобутку, транспортуванні твердого палива частина його переходить у пиловидний стан і втрачається, забруднюючи навколишнє середовище. Тверде паливо на ТЕС надходить переважно залізничним транспортом. На електростанціях з витратою палива більше ніж 150 т/ч застосовують вагоноперекидачі. Модернізація системи очищення повітря на вагоноперекидачі, а саме встановлення замкненої аспіраційної системи, дозволить підвищити екологічну безпеку підприємства.

Об'єднання завитку вентилятору з пилозбірним контейнером у пиловловлюючий апарат зводить до мінімуму кількість елементів обезпилюючої системи, зменшує її габарити і металоємність та підвищує надійність системи. Аналіз літературних джерел виявив властивості вентилятора виконувати роль коагулятора та концентратора пилових часток.

Зміна стану циркулюючого у закритій системі пилу наведена на рис. 2 графом перехідних станів.

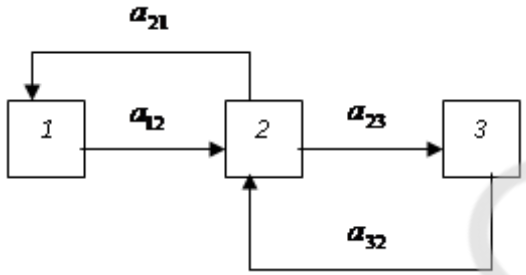


Рис. 1 – Граф системи з пиловловлюючим апаратом:
1 – об'єкт обезпилення, 2 – вентилятор;
3 – пилозбірний контейнер (бункер)

При $a_{12} = 1$

$$a_{21} = \frac{1-\eta_2}{1-\eta_2+\eta_2\eta_3};\ a_{23} = \frac{\eta_2}{1-\eta_2+\eta_2\eta_3};\ a_{32} = \frac{\eta_2(1-\eta_3)}{1-\eta_2+\eta_2\eta_3}. \quad (1)$$

На ефективність роботи такої системи буде впливати дотримання режимів експлуатації та правильне улаштування бункеру. У великий різноманітності пиловловлювачів (циклони, пилоосаджувальні камери, багатоканальні пиловловлювачі та ін.) є загальні ознаки їх пилозбірників, в яких присутні вхід й вихід, область осадження, вільна поверхня осаду, наскрізний потік. Крім того в конкретному процесі пиловловлювання завжди існує такий розмір частинок, що ймовірність їх потрапляння в осад дорівнює 0,5. Отже, розрахунок ефективності вловлювання пилу в бункері пиловловлюючого апарату можливо провести на основі розрахунку пилоосаджувальної камери (рис. 2).

Для визначення коефіцієнту вловлювання пилу в пилозбірному контейнері експериментальним шляхом використовували три проби пилу (дисперсний склад наведений у табл 1):

1 – пил з насипною щільністю 990 кг/м^3, медіанним розміром частинок пилу 95 мкм;

2 – пил з насипною щільністю 560 кг/м^3, медіанним розміром частинок пилу 70 мкм;

3 – пил з насипною щільністю 210 кг/м^3, медіанним розміром частинок пилу 50 мкм.

Таблиця 1 – Дисперсний склад експериментального пилу

Розмір отворів у ситі, мкм	% частинок в складі пилу		
	1 проба	2 проба	3 проба
>100	56,5	14	18
100–63	30	38	26
63–50	8,5	30	13
50–40	3,5	13	7
< 40	1,5	5	36

Коефіцієнти вловлювання пилу склали 29 %, 38 % і 88 % відповідно (рис. 2).

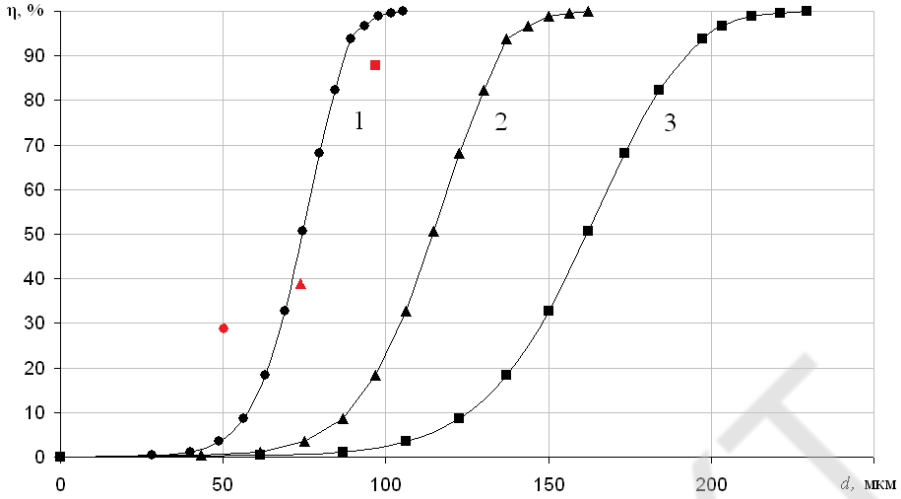


Рис. 2 – Ефективність осадження пилових частинок в бункері розрахунковим (1, 2, 3) і експериментальним (●, ▲, ■) шляхом

Порівняння результатів фізичного експерименту з результатами розрахунку опосередковано підтвердило коагулюючи властивості вентилятору.

Зменшення до мінімуму числа структурних елементів у закритій системі аспірації ізольованого простору (приміщення вагоноперекидача) скорочує час заповнення пилозбірника, виключає взаємодію очищеного повітря з навколишнім середовищем. Окрім того, закрита система аспірації повертає тепле повітря у приміщення, що дозволить знизити витрати на опалення при розморожуванні палива у зимовий період. Таким чином забезпечується санітарно-гігієнічний та ресурсозберігаючий ефект.

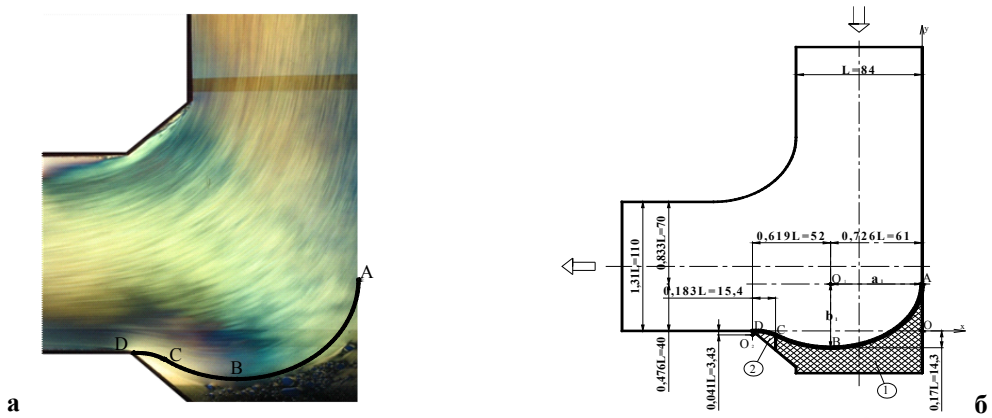
УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Смирнова В.А. асс., Арсирий А.Н. канд. техн.. наук
Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса

Мировой опыт показал, что реконструкция энергоустановок с целью улучшения показателей работы и продления срока эксплуатации существенно дешевле строительства новых энергетических объектов. В докладе представлены результаты двух реконструкций, выполненных с использованием визуальной диагностики структуры потоков и корректировки геометрии аэродинамических трактов.

В 2006 году был разработан и реализован проект реконструкции котлов КВГМ-50 в котельной г. Ильичевск Одесской. Области с целью снятия ограничений мощности по дутью только за счет снижения потерь напора в дутьевом тракте без замены дутьевого вентилятора. Корректировка аэродинамики потоков выполняется на основе физического моделирования с использованием нового метода визуальной диагностики структуры потоков (МВДСП). Корректировка аэродинамики с использованием МВДСП показана на примере совершенствования структуры потока во входном патрубке вентилятора ВДН-15.

Визуальная диагностика позволяет выявить зоны отрыва потока от стенок (рис. 1а), которые являются причиной высоких аэродинамических сопротивлений. Для устранения зон отрыва потока от стенок патрубка разрабатываются вставки – лекала, которые замещают диссипативные зоны (рис. 1б). Это позволяет разработать геометрию проточных частей, при которой течение будет безотрывным. Измерения аэродинамических параметров входного патрубка вентилятора показали, что после устранения диссипативных зон, сопротивление поворота потока во входном патрубке при числах Рейнольдса $Re > 10^5$ снизилось с $\zeta = 1{,}57$ до $\zeta = 0{,}25$.



а **б**

Рис. 1 – Разработка корректировки аэродинамики входного патрубка.
а – визуальная диагностика структуры потока;
б – геометрия безотрывного течения во входном патрубке вентилятора

Анализ режимных карт котлов КВГМ-50 показал, что большая часть этих котлов имеют существенный резерв увеличения их нагрузки. Реконструкция котлов с целью увеличения тепловой мощности за счет снижения потерь напора в тягодутьевых трактах позволяют изменить отношение к проблеме ограничений мощности работающих котлов. Тепловая мощность котлов в котельной г. Ильичевск увеличена с 40МВт до 52МВт.

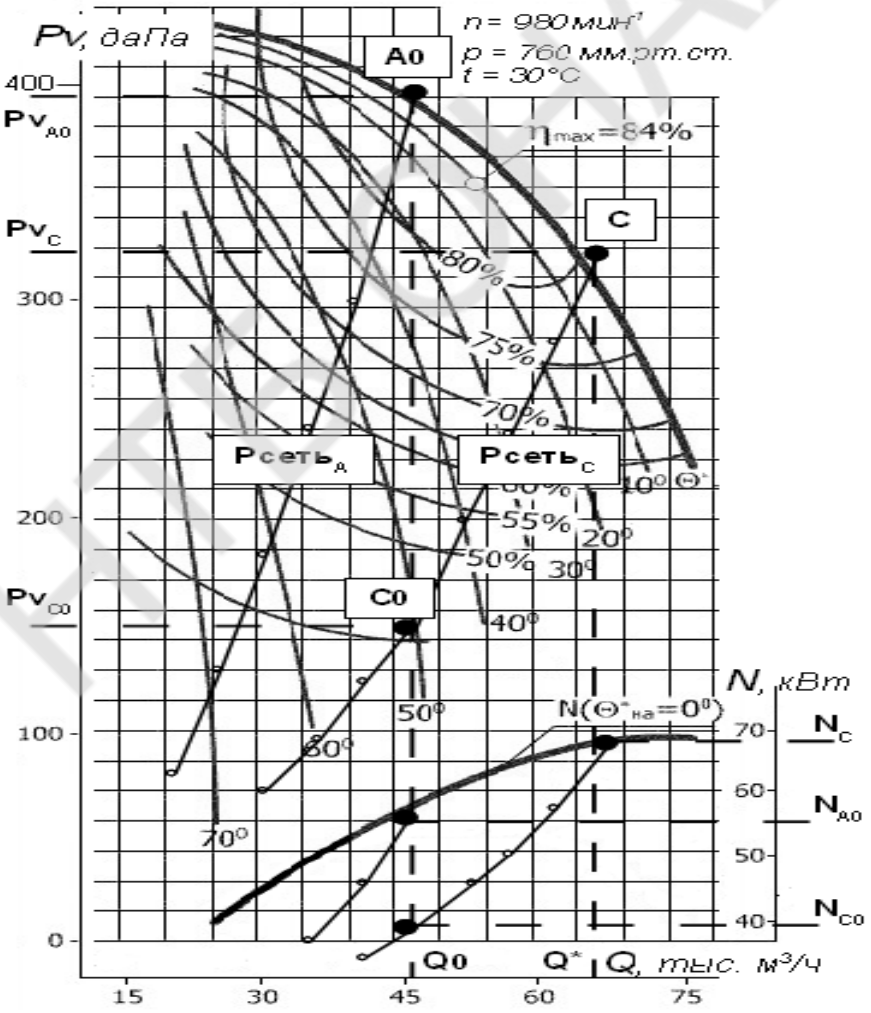
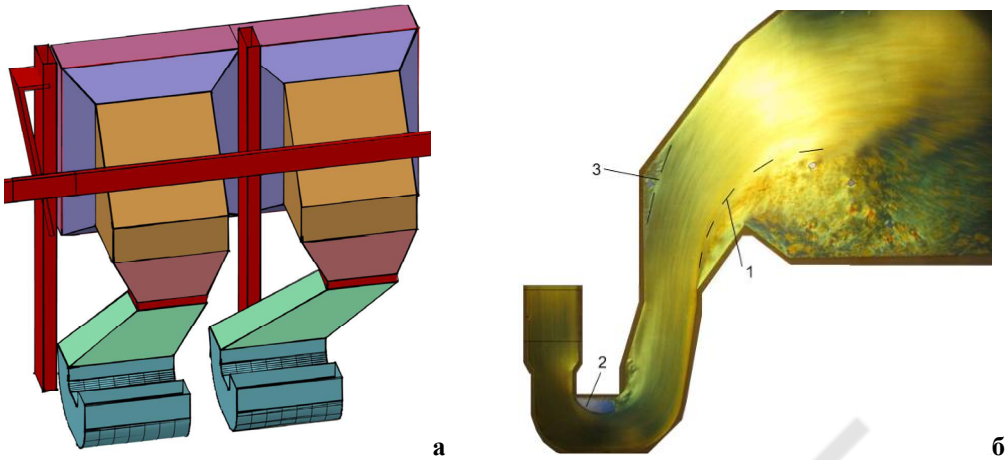


Рис. 2. – Параметры дутьевого тракта котла КВГМ-50 до и после реконструкции



а **б**

Рис. 3 – Диагностика структуры потоков входных участков перед электрофильтрами
а – конфигурация входных участков электрофильтров;
б – визуальная диагностика структуры потока перед электрофильтром

Важным результатом реконструкции является экономия электроэнергии на привод вентилятора во всем диапазоне изменения нагрузки котла. На рисунке 2 в поле характеристик вентилятора ВДН-15 с оборотами n = 980 мин$^{-1}$ представлены две характеристики сети $P_{сеть\ А}$ – до реконструкции и $P_{сеть\ С}$ – после реконструкции, которые показывают изменения параметров дутьевого тракта.

При тепловой мощности котла до $N_т$ = 40 МВт подаче дутьевого вентилятора до $Q_{С0}$ = 45 тыс.м^3/ч, экономия затрат энергии на дутье после реконструкции при нагрузке котла 40МВт составит $\Delta N = N_{А0} – N_{С0} = 55 – 39 = 16$ кВт,

В 2012 году с целью улучшения качества очистки дымовых газов котла 4Б энергоблока №4 Криворожской ТЭС был выполнен проект «корректировки тяговых трактов и системы очистки дымовых газов». Отличительной чертой проекта является выполнение этапа совершенствования геометрии проточных частей на основе использования метода визуальной диагностики структуры потоков в физических моделях.

Результаты испытаний котла 4Б после корректировки аэродинамики показали снижение массовой концентрации выбросов твердых частиц после очистки до величины 19мг/м^3 в электрофильтре 4Б-1 и 29мг/м^3 в электрофильтре 4Б-2. Затраты электроэнергии на дымосос 4Б после корректировки аэродинамики Д-4Б уменьшились более чем на 15%. Снижение затрат энергии на работу дымососа 4Б обеспечило окупаемость проекта корректировки аэродинамики котла

ВПЛИВ МІНЛИВОСТІ ПОГОДНО-КЛІМАТИЧНОГО ЧИННИКА НА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСЕРГЕТИЧНОЇ ОЦІНКИ СИСТЕМ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ

Волощук В.А., канд. техн. наук, докторант
Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Ексергетичний підхід є новим витком в теорії створення систем теплозабезпечення будівель. Можливості суто енергетичного підходу до удосконалення таких систем майже вичерпані. На відміну від енергетичного аналізу ексергетичний метод оцінки дозволяє визначити місцезнаходження, значення та джерела термодинамічних втрат в системі.

Традиційний ексергетичний аналіз, поглиблений ексергетичний аналіз, ексергоекономічний (термоекономічний), ексергоприродничий та інші методи поєднання ексергії, економіки й екології дозволяють виконати набагато глибший та детальніший аналіз й обгрунтування техніко-технологічних рішень при створені та експлуатації систем теплозабезпечення.

На сьогоднішній день кількість наукових щорічних статей, присвячених методам створення та аналізу низькоексергетичних систем теплозабезпечення, налічує вже декілька десятків [1, 2]. Піонерними роботами при цьому вважаються статті японського вченого М. Шукуя (M. Shukuya) [3] двадцятирічної давності.

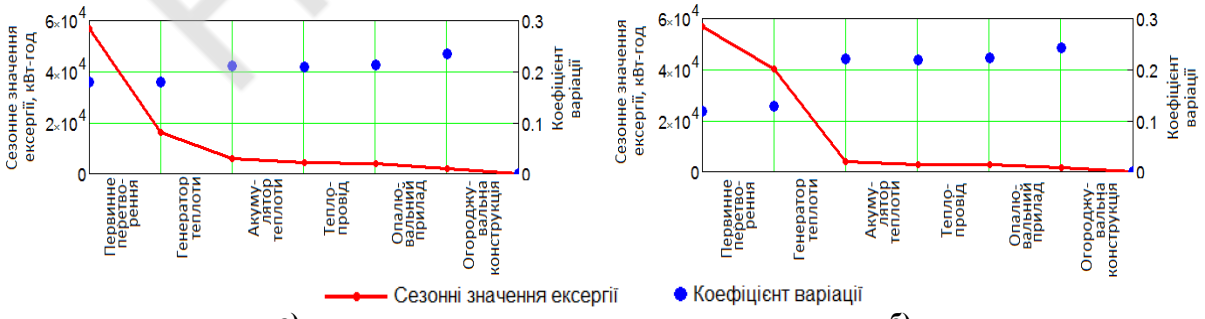
На відміну електрогенеруючих установок та систем промислової теплоенергетики значна частина елементів систем теплозабезпечення характеризується параметрами, які близькі за своїми значеннями до параметрів навколишнього середовища (температури, відносна вологість, тиск), відносно яких визначаються ексергетичні показники. Це обумовлює чутливість останніх до зміни параметрів зовнішнього повітря. Крім того, в більшості випадків, ексергетичні показники є нелінійними функціями відносно параметрів довкілля. Загалом, в існуючих роботах [1, 2], ексергетичний аналіз систем створення теплового комфорту у будівлях здійснюються при умові незмінних значень параметрів навколишнього середовища. В деяких враховують динаміку зміни цих параметрів в межах одного року [1, 2]. Але, разом з тим, необхідно враховувати, що параметри зовнішнього середовища змінюються і в багаторічному перерізі.

З метою подальшого розвитку та апробації методів ексергетичного аналізу в роботі зроблена оцінка впливу мінливості погодно-кліматичного чинника як всередині опалювального періоду так і в багаторічному перерізі на ексергетичні показники системи теплозабезпечення будівлі. При цьому проаналізовані будівлі з різними теплотехнічними характеристиками та різні техніко-технологічні схеми створення теплового комфорту всередині приміщення.

В роботі проаналізований двоповерховий будинок загальною житловою площею 150м^2 в умовах м. Рівне. При цьому використані добові значення метеорологічних параметрів всередині опалювального періоду за період 27 років. Для визначення енергетичних та ексергетичних характеристик системи теплозабезпечення використаний квазістаціонарний підхід на основі методології, запропонованої в [4]. Для аналізу використані сумарні за кожен опалювальний сезон значення ексергетичного параметру. Для оцінки мінливості вибраних параметрів протягом років використаний коефіцієнт варіації як міру відхилення їх сезонних значень відносно осередненого у багаторічному перерізі.

На рис. 1 показані осереднені у багаторічному сезонні значення ексергії та їх коефіцієнти варіації для системи теплозабезпечення будинку відповідно на базі теплового насосу «повітря-вода» та газового котла. Із наведених графіків видно, що найбільші втрати ексергії мають місце на стадії первинного перетворення палива та генерації теплоти. При цьому, при використанні газового котла втрати ексергії на ділянці генерації теплоти становлять 40000 кВт-год і є більшими ніж при використанні теплового насоса на 30000 кВт-год. Процес перетворення хімічно зв'язаної енергії палива у енергію води системи теплопостачання є один із найбільш термодинамічно недосконалих. З іншої сторони, як видно із рис. 1, при первинному перетворені енергії в системі на базі теплового насосу втрати ексергії становлять приблизно 40000 кВт-год і є більшими у порівнянні із системою з газовим котлом, для якої втрати ексергії на цій ділянці становлять всього 15000 кВт-год. Це обумовлено тим, що у випадку використання теплового насосу в первинне перетворення енергії включений процес виробництва електричної енергії на конденсаційній ТЕС.

Необхідно відмітити, що на рис. 1 один і той же будинок має різні теплотехнічні характеристики, які були підібрані таким чином, щоб забезпечити одинакові сезонні значення потреб ексергії первинного палива – 57000 кВт-год. Тобто з точки зору потреб ексергії первинного палива запропоновані схеми системи теплозабезпечення є рівноцінними. Але, якщо проаналізувати додатково мінливість у багаторічному перерізі сезонних значень ексергетичних потреб на кожній ділянці системи теплозабезпечення, то можна додатково отримати наступну інформацію. На чотирьох останніх ділянках коефіцієнт варіації потреб ексергії приблизно одинаковий для двох схем і складає 0,20…0,25. Потреби сезонних значень ексергії первинного палива та на вході в генератор теплоти у випадку використання теплового насоса типу «повітря-вода» є більш мінливими ніж у випадку використання газового котла. Про це свідчить значення коефіцієнта варіації 0,18…0,19 для першого випадку та 0,12…0,13 для другого випадку.



а) **б)**

Рис. 1 – Осереднені у багаторічному перерізі сезонні значення ексергії та їх коефіцієнти варіації для системи теплозабезпечення будинку:
а) на базі теплового насосу «повітря-вода»; б) на базі газового котла

Отже, врахування мінливості погодно-кліматичного чинника як всередині опалювального періоду так і в багаторічному перерізі дозволяє більш обґрунтовано підійти до створення та експлуатації низькоексергетичних систем теплозабезпечення будівлі.

Література

1. Torı'o H. Exergy analysis of renewable energy-based climatisation systems for buildings: A critical view [Text] / H. Torı'o, A. Angelotti, D. Schmidt // Energy and Buildings. – 2009. - Volume 41, Issue 3. – P. 248–271.
2. Hepbasli A. Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies [Text] / A. Hepbasli // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2012. – Vol. 16. – P. 73–104.
3. Shukuya M. Energy, entropy, exergy and space heating systems [Text] / M. Shukuya // Proceedings of the 3rd International Conference "Healthy Buildings". Budapest, Hungary. – 1994. –Volume 1. – P. 369 – 374.
4. Torío, H., D. Schmidt, S. C. Jansen, M. Shukuya, A. Angelotti, P. Benz-Carlstrom, T. Iwamatsu, G. Johannesón, M. Molinari, F. Meggers, M. d. Carli, P. G. Cesaratto, L. Kranzl, P. Caputo, P. Op't Veld, M. Ala-Juusela and D. Solberg (2011). IEA ECBCS Annex 49 Final Report - Low Exergy Systems for High-Performance Buildings and Communities - Detailed Exergy Assessment Guidebook for the Built Environment. Stuttgart, Germany, Fraunhofer Verlag (available online from www.annex49.com).

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ

Кіріяк Г.В., к.х.н., Арнаут О. І. студентка ф-та ПЕЕтаНТ
Одеська національна академія харчових технологій, Одеса

Існує образний вираз, що ми живемо за доби трьох «Ене»: економіка, енергетика, екологія. У цьому екологія як наука та спосіб мислення приваблює дедалі більше уваги людства.

Стосовно розвитку енергетики можна виокремити два основні принципи: перший – пошук у довкіллі ресурсів, конче потрібних для забезпечення енергоспоживання, другий – паралельне дослідження можливості повнішого використання природних ресурсів (раціоналізація процесів і технології видобутку, збагачення, переробки і спалювання палива, вдосконалення енергетичних установок тощо). Зі зростанням одиничних потужностей блоків електричних станцій та енергетичних систем, питомих і сумарних рівнів енергоспоживання виникає завдання обмежити викидання забруднювальних речовин у повітряний і водний басейни, а також повною мірою користуватися їхньою здатністю до розсіювання.

Ще значніші об'єми енергоспоживання, що чекають на нас у недалекому майбутньому, зумовлюють подальше інтенсивне зростання різноманітних впливів на всі компоненти довкілля у глобальному масштабі. Нові сторони проблеми взаємодії енергетики і довкілля пов'язані з розвитком ядерної енергетики, а також з розширенням практичних заходів щодо запобігання негативним діям на довкілля як в енергетиці, так і у всіх інших галузях народного господарства. При цьому центр ваги проблем охорони довкілля переноситься на енергетику, що, природно, спричинює зміну техніко-економічних показників енергопостачання.

Таким чином, на сучасному етапі та в перспективі проблема взаємодії енергетики і довкілля є вельми багатобічною: вона стосується всіх аспектів життєдіяльності людини, всього природного і рослинного світу, включаючи ландшафт, надра, повітряний і водний басейни, продукти харчування.

У зв'язку з цим особливого значення набуває розгляд взаємодії енергетики і довкілля на підставі системно-структурного аналізу, що дає змогу розкрити розмаїті внутрішні зв'язки. Початок класичному розгляду проблеми взаємодії людини і довкілля поклав академік В.І. Вернадський. Підґрунтям для кількісних оцінок різних взаємодій є дані про розвиток енергетики і про елементарні процеси впливу різних типів енергетичних установок на всі компоненти довкілля.

Очевидно, що завдання розвитку енергетики і збереження природного рівноважного функціонування природного середовища об'єктивно суперечать одне одному. Взаємодія енергетики з довкіллям відбувається на всіх щаблях ієрархії паливно-енергетичного комплексу: видобутку, переробки, транспортування, перетворення та використання енергії. Ця взаємодія обумовлена як способами видобутку, переробки і транспортування ресурсів, пов'язаними з їхнім впливом на структуру і ландшафт літосфери, зі споживанням і забрудненням вод, морів, річок, озер, зміною балансу ґрунтових вод, з викиданням теплоти, твердих, рідких і газоподібних речовин у всі середовища, так і з застосуванням електричної й теплової енергії від загальних мереж і автономних джерел. Сучасний етап проблеми взаємодії енергетики з довкіллям слід розглядати як наслідок складного історичного розвитку двох великих систем, що навзаєм впливають одна на одну. При цьому маємо принципові незбіжності в їх розвитку: докорінні зміни у природному середовищі відбуваються в геологічній шкалі часу, а змінення масштабів розвитку енергетики

— в історично короткі часові проміжки. Розглянуті раніше уявлення про великі системи енергетики і довкілля, а також про зв'язок між ними, становлять передумови для введення в аналіз нової великої системи – "енергетика і довкілля". Аналізуючи систему "довкілля", ми розглядаємо цілий розвій природних взаємозв'язків, що зумовлюють кругообіг речовин і підтримку певних кліматичних умов, а у великій системі "енергетика" — різні шляхи використання енергетичних ресурсів. Під час аналізу системи "енергетика і довкілля" конче потрібно враховувати все різноманіття процесів у синтезованій великій системі. Неодмінним етапом є конструювання (виявлення та опис) зв'язків основних підсистем, що становлять велику систему. Із цією метою можна розглядати системи енергетики і довкілля як укрупнені блоки. Чільні зв'язки у великій системі "енергетика і довкілля" побудовані таким чином, аби зберегти правомірність висновку про обов'язкову й неминучу підлеглість штучних (антропогенних) зв'язків у великій системі природним процесам.

Для проведення всебічного аналізу великої системи "енергетика і довкілля" необхідно обрати математичну модель і стратегію. Наприклад, під час визначення гранично- припустимого навантаження на атмосферу можна послуговуватися технологічним підходом (уведення норм викидів для всіх підприємств, що їх тільки проектують, уже будують або й експлуатують), управлінням якістю або економічним підходом. Для вивчення таких великих багатоланкових систем можливе застосування різних математичних моделей: балансових, циркуляційних, оптимізаційних та імітаційних.

Основні чинники, що формують систему взаємодії енергетики і довкілля, дають змогу намітити схему її аналізу. Маємо такі найважливіші елементи методології дослідження щодо взаємодії конкретного об'єкта з довкіллям: виявлення і вивчення екологічних аспектів; складання питомих і сумарних балансів споживання всіх природних речовин (початкових і перероблених); визначення можливих дій, наслідків цих дій, а також потенційних шляхів їх зменшення або запобігання їм.

Отже, потрібен ретельний аналіз комплексу питань, пов'язаних зі станом і розвитком усього ПЕК і його окремих складових частин (ресурсів, джерел і споживачів), їхньої взаємодії та впливу на довкілля. Причому, на сучасному етапі розвитку енергетики важливо з'ясувати локальні (місцеві) впливи на окремі складники гідро-, літо- й атмосфери. У міру дедалі повнішого освоєння невідновлюваних джерел енергії (традиційної енергетики) вимоги щодо запобігання дії на гідро, літо й атмосферу або її зменшення стають чимраз наполегливішими. Тепер уже не досить розглядати самі лише локальні дії (наслідки). Концентрація виробництва і споживання енергії, викликана передовсім урбанізацією, яка є характерною межею нинішнього етапу науково-технічного прогресу, потребує розгляду вказаних ефектів на локальному і регіональному рівнях. Особливої уваги заслуговують екологічні аспекти енергетики і вся сукупність суб'єктів та об'єктів енергозбереження й енергоспоживання.

Література

1. В.А. Маляренко, Л.В. Лисак Енергетика, довкілля, енергозбереження. /Під заг. ред. проф. В. А. Маляренка, Х.: Рубікон, 2004. – 368 с. ISBN 966-7152-52-9.

УДК 621.565

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЭЖЕКТОРЕ

Когут В. Е. к.т.н., доц., Бушманов В. М. аспирант, Бутовский Е. Д. аспирант,
Хмельнюк М. Г., д.т.н., проф.
Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса

Разработка и исследование новых способов очистки дымовых газов, все еще остается важным направлением в улучшении работы котельных установок. Кроме экспериментальных исследований возможны такие способы как, математическое моделирование, и создание моделей в специальных программных средах с уже заготовленными математическими уравнениями.

***Ключевые слова**: моделирование, фильтрация, эжектор, дымовой газ.*

Применение эжектора в качестве фильтра является инновационным методом. Эта область его применения пока еще не изучена должным образом. И создание актуальных моделей, описывающих его работу есть одной из первоочередных задач изучения данного метода.

Сжигание органического природного топлива до сих пор является одним из самых популярных и распространенных методов получения тепла и использование его для производственных процессов и

получения электроэнергии. Но несмотря на проработанность этой технологии все еще остается много проблем с этим процессом. Один из главных это загрязняющие окружающую среду веществ, одной из самых групп этих веществ являются оксиды серы.

С целью сократить экономический и экологический ущерб от выбросов в 1983г. было подписано конвекция ООН о сокращении выбросов оксида серы.

В связи с необходимостью разработки эффективных методов очистки дымовых газов от оксидов серы возникает идея использования эжекционного фильтра.

При пропускании дымовых газов через фильтр в поток будет разбрызгиваться водо-известковая суспензия. За счет турбулентного перемешивания потока должно обеспечиваться высокая степень перемешивания и большая площадь контакта веществ. Далее части извести через собственный вес и местные сопротивления на специальных участках трубопровода будут выпадать в осадок.

Для улучшения понимания происходящих в устройстве процессов было принято решение о составлении математической модели работы устройства. Так же возможна разработка моделей работы данного устройства в различных программах визуализации физических процессов. Для создания модели был применен метода Астахова-Голубкова и решения этого метода, основанные на решениях Погуляева который базируется на решении волновых уравнений гидродинамических процессов в трубопроводах с граничными условиями в виде уравнений объёмных балансов. Для решения приняты допущения: давление в форсунке постоянное, давление в трубопроводе постоянное, утечек нет. Основаны на теории гидроудара.

$$\alpha_{сж} V_i \frac{dp_i}{dt} = \sum_{j=1}^{n} \sigma_j \mu_j f_j u_j + \frac{dV_i}{dt}$$

где: αсж-коэф сжатия топлива; Vi-обьем итой камеры; pi-давление итой камеры; n-число топливоподающих каналов; σ-знаковая функция; μ-коэф. эффективного течения через отверстие соответствующего канала; f-минимальное сечения соответствующего канала; u-скорость течения топлива через отверстие канала.

Использование программ для визуализации результатов расчетов позволяет составить более полную картину протекающих в модели процессов. Кроме математического моделирования так же полезно переносить модель в уже готовую среду. Для улучшения понимания процессов, проходящих в эжекторе возможно применение различных пакетов моделирования гидродинамических процессов.

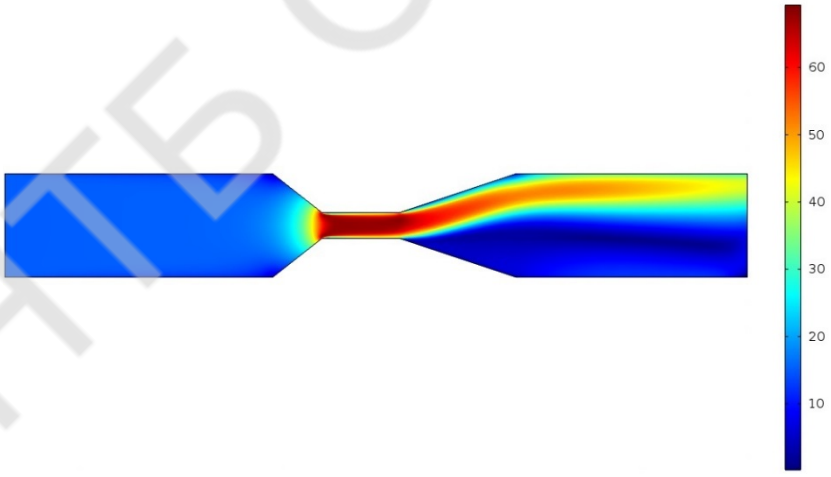


Рис. 1 – Распределение скорости потока в эжекторе

На рисунке 1 видно постепенное увеличение скорости потока при прохождении конфузора. В горловине можно наблюдать резкое скачкообразное увеличение скорости. На этом участке проводится впрыск хладагента (в этой модели не показан). В конфузоре же происходит распределение потока и постепенное уменьшение скорости. Так же из данной модели видно отделение высокоскоростного факела от общего потока и «налипания» его к верхней поверхности эжектора.

Выводы

Комплексное применение различных способов исследования, дает возможность наиболее широко раскрыть протекающие в установке процессов. В данном случае математическая модель по методу Астахова-Голубкова использовалась для моделирования процесса впрыска. А програмы для моделирования

для создания впечатления о общих гидродинамических процессах в эжекторе. Было установлено наличие гидродинамического эффекта налипания потока к телу благодаря расчетным пакетам. Ранее предполагалось равномерное рассеивание потока на расширяющемся участке. Предположительно эффект Коанда является одним из решающих факторов благодаря которому возможно расслоение потоков на жидкий и газовый.

Литература

1. Математическая модель процесса впрыска топлива форсункой. Ю.Д. Погуляев дтн, Р.М. Байтимеров
2. Красников Г.Е., Нагорнов О.В., Старостин Н.В. Моделирование физических процессов с использованием пакета Comsol Multiphysics НИЯУ МИФИ, 2012. — 184 с.
3. Котельные установки промышленных предприятий Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев

УДК 621.039

ТЕПЛОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ ВЗРЫВОВ В ПРОЦЕССЕ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ НА АЭС С ВВЭР

Козлов И.Л., канд. техн. наук, доцент, Скалозубов В.И., доктор техн. наук, профессор
Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса

Аннотация. В работе проведен анализ известных подходов моделирования условий возникновения водородных и паровых взрывов в процессе тяжелых аварий (с повреждением ядерного топлива). Показано, что известные подходы оценки условий возникновения парогазовых взрывов не учитывают существенную динамичность процессов на начальных этапах развития тяжелой аварии и для «быстротекущих» сценариев разрушения защитных барьеров безопасности.

Предложен альтернативный метод оценки консервативных условий возникновения парогазовых взрывов тяжелых аварий в корпусных реакторах на основе общих положений теории неустойчивости, который учитывает существенную динамичность процессов и «цепную» детонацию водорода от паровых взрывов.

Ключевые слова: *парогазовые взрывы, тяжелая авария, контейнмтент, моделирование.*

Annotation. The analysis of the known approaches simulate the conditions of hydrogen and steam explosions during severe accidents (with damage of the nuclear fuel). It is shown that the known approaches assess the conditions of steam and gas explosions do not account for a significant dynamic processes in the early stages of a severe accident, and "fleeting" on the collapse of the protective safety barriers

An alternative method for estimating the conservative conditions of steam and gas explosions in severe accidents tank reactors on the basis of the theory of general instability, which takes into account the essential dynamic processes and a "chain" detonation of hydrogen from steam explosions.

Keywords*, steam-gas explosions, severe accident, konteynmtent, modeling.*

Тяжелую аварию в корпусном реакторе АЭС TMI-2 (США) в 1997 году можно полагать началом глубоких исследований в области моделирования и анализа аварий с повреждением ядерного топлива.

Одним из ключевых вопросов моделирования и анализа тяжелых аварий является оценка условий сохранения целостности защитных барьеров безопасности (контейнмента и корпуса реактора). В результате многочисленных теоретических и экспериментальных исследований (аналитические обзоры которых приведены, например, в [1-4]) установлено, что основные механизмы разрушения защитных барьеров безопасности (ЗББ) связаны с парогазовыми взрывами (детонация водорода и/или паровые взрывы) и непосредственным контактом ЗББ с топливосодержащими массами (ТСМ).

Разрушительные парогазовые взрывы с катастрофическими экологическими последствиями, произошедшие в результате тяжелых аварий в ядерных реакторах 1-3 блоков и в районе бассейна выдержки отработанного ядерного топлива (БВ ОЯТ) 4 блока АЭС Fukushima-Daiichi, убедительно «продемонстрировали» актуальность воздействия парогазовой детонации на целостность ЗББ. Конечно, недостаток объективной информации о происходивших процессах и состояниях ЗББ до возникновения взрывов не позволяют сделать однозначные выводы о коренных причинах, условиях и механизмах произошедших разрушительных детонаций. Предварительный анализ имеющейся на тот момент информации, проведенный в [5], позволяет лишь предположить, что: на 1 блоке произошел взрыв водорода вне контейнмента; на 2 блоке произошло несколько паровых взрывов внутри контейнмента; на 3 блоке

произошел паровой взрыв, инициировавший более мощную водородную детонацию; в районе БВ ОЯТ 4 блока произошел взрыв водородсодержащей среды.

Можно также вспомнить, что именно парогазовый взрыв на 4 блоке Чернобыльской АЭС стал основной причиной катастрофических последствий.

В «дофукусимский» период основное внимание специалистов было связано с моделированием и анализом процессов горения/детонации водорода в контейнменте корпусных реакторов типа PWR, ВВЭР (контейнменты BWR заполнены инертными газами). Фактически полагалось, что в реакторах обеспечена достаточная вентиляция по удалению парогазовой среды (даже при исходных аварийных событиях с «плотным» реакторным контуром); а вероятность возникновения паровых взрывов в реакторе или контейнменте крайне незначительна. В качестве условий (критериев) возникновения водородного взрыва обычно использовалась известная диаграмма Шапиро-Монффетти в координатах объемной концентрации «водород – воздух – пар»; а критические концентрации водорода: более 4% - 10% [3,4].

Относительно «дофукусимских» разработок в области моделирования и анализа возникновения парогазовых взрывов при тяжелых авариях в корпусных реакторах можно отметить (например, [1-5]):

1). Отсутствуют достаточно обоснованные критерии возникновения паровых взрывов при различных сценариях и стадиях развития тяжелых аварий.

2). Критерии взрыва водорода в диаграмме Шапиро-Монффетти обоснованы для квазистатических процессов. При существенно динамических процессах, характерных для начальных моментов развития тяжелых аварий на разных стадиях или для «быстротекущих» сценариев разрушения защитных барьеров безопасности критерии возникновения водородной детонации могут зависеть также от скорости изменения концентрации водорода, а соответственно и от скорости изменения теплогидродинамических и термохимических параметров [5].

3). Уроки Фукусимской аварии показали, что общепринятый ранее принцип исключения из рассмотрения (моделирование, анализ и противоаварийные мероприятия) относительно маловероятных событий (в т.ч. паровых взрывов) недопустим.

В «пост-фукусимский» период в монографии авторов [5] на основе упрощенного моделирования нестационарных теплогидродинамических процессов на внутри - и внекорпусной стадиях тяжелых аварий были предложены критерии возникновения парогазовых взрывов в форме зависимостей от предельно допустимых скоростей роста удельной энтальпии (i_T) топливосодержащих масс (ТСМ) и давления (Р) в парогазовой среде.

На основе полученных критериев в [5] были на качественном уровне оценены эффективные области управления тяжелыми авариями для предотвращения парогазовых взрывов по расходу охлаждения ТСМ и вентиляции реактора/контейнмента. Однако, практическое применение полученных критериев ограничивается «избыточной» консервативностью допущений и недостаточной определенностью расчетных значений предельно допустимых скоростей роста i_T и Р.

В представленной работе рассматривается альтернативный метод оценки критериев (условий) возникновения парогазовых взрывов на основе анализа теплогидродинамической неустойчивости процессов при тяжелых авариях на внутри - и внекорпусных стадиях.

Под паровым взрывом здесь подразумевается ударная волна интенсивного импульса давления, вызванного процессами межфазного взаимодействия. В качестве критерия возникновения парового взрыва определены условия спонтанного роста импульса давления, зависящие (в общем случае) от начальных и граничных условий сценариев развития тяжелых аварий и соответствующих механизмов процессов межфазного взаимодействия.

В качестве критерия возникновения водородной детонации предлагаются условия спонтанного устойчивого роста температуры ТСМ, зависящие в общем случае от начальных и граничных условий сценариев развития тяжелых аварий, а также от текущих параметров, определяющих процессы межфазного взаимодействия и внутреннего энерговыделения ТСМ. В отличии от общепринятых критериев водородной детонации (по предельной локальной концентрации водорода), предлагаемый критерий основан на том, что спонтанный устойчивый рост температуры ТСМ является достаточным условием генерации критических концентраций водорода в результате пароциркониевой реакции.

Другие положения и допущения метода оценки условий возникновения парогазовых взрывов в корпусных реакторах и контейнментах на основе теории теплогидродинамической неустойчивости заключается в следующем:

1. Моделируется установившейся во времени динамический процесс развития тяжелой аварии при возникновении случайных (флуктуационных) «малых» возмущений (относительно установившихся) определяющих параметров парогазовых взрывов (удельная энтальпия/температура топливосодержащих масс (ТСМ) i_T/ T_T и давление в парогазовом объеме Р).

В зависимости от состояния системы и обратных связей взаимодействующих процессов такие возмущения могут либо «затухать» со временем (процесс устойчив), либо спонтанно возрастать (процесс неустойчив). Условия спонтанного возрастания давления и температуры ТСМ полагаются условиями возникновения парогазовых взрывов (парового взрыва и детонации водорода).

2. Основным источником интенсивного парообразования и генерации водорода является межфазные теплогидродинамические процессы и термохимические реакции ТСМ.

3. Для упрощения анализа полагается, что изменения плотности внутренних источников энергии ТСМ (Q_{VT}), тепловых потоков между ТСМ и парогазовой средой ($q_{пт}$), а также между ТСМ и жидким охладителем ($q_{жт}$) определяются изменениями энтальпии (температуры) ТСМ; изменения плотности парогазовой среды ($\rho_п$), скорости конденсации ($G_{кон}$) и распространения возмущений ($a_П$) определяются изменениями давления в парогазовой среде.

Также консервативно полагается, что расход охлаждения ($G_{жо}$) полностью идет на парообразование в результате теплового межфазного взаимодействия с ТСМ.

Тогда, с учетом принятых допущений скорости изменения удельной энтальпии ТСМ и давления (определяющих параметров парогазовых взрывов) можно представить в виде [5]:

$$\frac{di_T}{dt} = \frac{Q_{VT}(i_T) - q_{ПТ}(i_T)П_{ПТ} - q_{ЖТ}(i_T)П_{ЖТ}}{M_T} = K_1(i_T), \tag{1}$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{G_{ЖО} - G_{КОН}(P)\cdot(1-\rho_П/\rho_Ж) - G_{ВЕН}}{V_{ПГ}\left[\left(\frac{1}{a_П{}^2(P)} + \frac{\partial\rho_П}{\partial i_П}\cdot\frac{\partial i_П}{\partial P}\right)\right.} = K_2(P), \tag{2}$$

где $П_{пт}$, $П_{жт}$ – контактная площадь поверхности теплообмена между парогазовой средой и ТСМ, жидким охладителем и ТСМ соответственно;

$M_Т$ – общая масса ТСМ;

$G_{жо}$, $G_{вен}$ – массовые расходы жидкого охладителя и вентиляции парогазовой среды соответственно;

$\rho_п$, $\rho_ж$ – плотность парогазовой среды и жидкости соответственно;

$V_{пг}$ - «свободный» парогазовый объем.

Текущие значения всех параметров, входящих в правую часть критериев (1), (2), могут быть определены на основе детализированного моделирования «тяжелоаварийными» кодами при начальных и граничных условиях различных сценариев развития тяжелой аварии на внутри- и внекорпусной стадиях (например, [4]).

В возмущениях (δ) определяющих параметров парогазовых взрывов при тяжелых авариях уравнения (1), (2) имеют вид:

$$\frac{d\delta i_T}{dt} = \frac{\partial K_1}{\partial i_T}\delta i_T, \tag{3}$$

$$\frac{d\delta P}{dt} = \frac{\partial K_2}{\partial P}\delta P \tag{4}$$

Решения (3), (4):

$$\delta i_T(t) \sim \exp\left(\int_0^t \frac{\partial K_1}{\partial i_T}dt\right), \tag{5}$$

$$\delta P(t) \sim \exp\left(\int_0^t \frac{\partial K_2}{\partial P}dt\right). \tag{6}$$

Таким образом, теплогидродинамические критерии возникновения парогазовых взрывов:

$$\frac{\partial K_1}{\partial i_T}(t) > 0 \tag{7}$$

$$\frac{\partial K_2}{\partial P}(t) > 0. \tag{8}$$

Текущие значения критериев парогазовых взрывов в процессе развития тяжелой аварии определяются на основе численного дифференцирования феноменологических зависимостей, моделирующих плотность

НТБ ОНАХТ

внутренних источников энерговыделений ТСМ, межфазного тепломассообмена, скорости конденсации и распространения возмущений в парогазовой среде; а также текущих значений расходов охлаждения и вентиляции, температуры ТСМ и давления в парогазовом объеме.

Выводы

В отличии от ранее известных подходов моделирования условий возникновения парогазовых взрывов при развитии тяжелой аварии в корпусе/контайменте корпусных ядерных реакторов предложенный метод позволяет:

1. Учесть существенную динамичность процессов, характерных для начальных этапов развития тяжелой аварии на внутри и внекорпусной стадиях, а также для наиболее опасных «быстротекущих» сценариев разрушения защитных барьеров безопасности.

2. Учесть возможность горения/взрыва водорода в результате «цепной» детонации, вызванной паровыми взрывами, в процессе которых может дополнительно (к термохимическим реакциям) генерироваться водород и кислород критических концентраций.

Предложенные критерии парогазовых взрывов могут применяться только как дополнения к детализированным кодам, моделирующим изменения текущих теплогидродинамических параметров в процессе развития тяжелых аварий при начальных и граничных условиях различных сценариев внутри- и внекорпусных стадиях.

Основные ограничения предложенного метода связаны с принятыми допущениями и упрощениями, что и составляет предмет дальнейшего изучения и усовершенствования.

Литература

1. IAEA Training in Level 2 PSA/ Severe Accident Phenomena. – 2006.
2. Кузнецов Ю.Н. Теплообмен в проблеме безопасности ядерных реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1989 г.
3. Скалозубов В.И., Ключников А.А., Колыханов В.Н. Основы управления запроектными авариями с потерей теплоносителя на АЭС с ВВЭР // Национальная академия наук Украины. Институт проблем безопасности АЭС: Чернобыль-2010 г.
4. Support provided by the SARNET in the Framework Programs of Research of the European Commission // Academic press is an imprint of Elsevir – 2012.
5. Скалозубов В.И., Ключников А.А., Ващенко В.Н. Анализ причин и последствий аварии на АЭС Fukushima как фактор предотвращения тяжелых аварий в корпусных реакторах // Национальная академия наук Украины. Институт проблем безопасности АЭС: Чернобыль - 2012 г.

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДЕЯКИХ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Геллер В.З., д.т.н., проф., Крайносвіт М.С., Юшкевич А.В., студенти
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Паризька конференція по клімату (COP21, грудень 2015 р) прийняла міждународну домовленість, згідно якій всі країни - члени ООН взяли на себе обов'язок по підтриманню підвищеня середньої температури планети на рівні нижче 2°С (цей рівень розрахований кліматологами як порогове збільшення, після якого почнуться необратимі кліматичні зміни), а також про повне зупинення викидів парникових газів в атмосферу починаючи з 2060-2075 рр. Один із шляхів рішення задач, поставленних COP21, заключається в розробці та використанні нових энергосберігаючих технологій та, в частності, в накоплені (в основному, за рахунок відновлюємих джерел) та подальшому використанні енергії за допомогою сучасних накопичувачів электроенергії (літій-іонні аккумулятори) та тепла (теплонакопичувачі).

Аккумулятори, разроблені фірмою Tesla для домашнього використання (Tesla Powerwall) випускаються у двох модифікаціях - емкістью 7 і 10 кВт•г. Сумарну ємність можливо збільшити до 90 кВт•г. Рішенням для промислових підприємств є аккумулятори Tesla Powerpack [1]. Їх особливість – здатність наращювати потенційну ємкість до декількох ГВт•г. Такі аккумулятори можуть стати основними, і що найголовніше – екологічним джерелом электроенергії. Українськими спеціалістами розроблені літій-іонні аккумулятори Serenis ESS з аналогічними показниками.

Ми проаналізували можливості використання аккумулятоіов Tesla Powerpack для энергозабеспечення промислових підприємств різної площини (от 500 до 5000 м^2), при цьому зарядка аккумуляторів передбачена як за рахунок відновлюємих джерел енергії, так і при використанні диференційованих по часу доби тарифів на використовуєму електроенергію. Для теплоснабження, в тому числі допоміжних, офісних и

інш. Проаналізовані можливості використання твердотельних статистичних та динамічних теплонакопичувачів. Теплонакопичувачі представляють собою електричні повітрянагріваючі прилади, які накопичують тепло та в потрібний час віддають його в приміщення. Всередині теплонакопичувачів розміщені магнетизовані вкладки високої теплоємності, які розігріваються тенами до 700-750°С, при цьому поверхня опалювального приладу не перевищую 60-70°С. Теплонакопичувач передає у приміщення тепле повітря без використання електроенергії (виключення – вентилятор в динамічному теплонакопичувачі використовує 20 - 25 Вт). Розрахунки показали, що при двухзонном та трьохзонном тарифах, диференційованих по періодам часу, економія енергіїи на опалення складає от 30 до 65 %.

Для живлення накопичувачів енергії використані сонячні батареї із поліметилметакрилата, германія та арсеніда галлія, ККД яких при нерухомому положенні панелі становить 26—30 % (в залежності від пори року та кута, під яким знаходиться Сонце), що майже в 2 рази перевищує ККД фотоелементів на основі кристалічного кремнію. Загальна площа сонячних батарей варіюється от 500 до 5000 м^2. Розглянута також можливість використання фотоелементів на основі наноантенн с потенційним ККД до 85%, роблячих на безпосередньому випрямленні токів, які наводяться електромагнітним випромінюванням частоты порядку 500 ТГц в антені розміром 200-300 нм.

Результати работи показують, що енергозабеспечуючі технології з використанням літій-іонних аккумуляторів та теплонакопичувачів дозволяют забеспечувати істотну економію енергію та у перспективі вирішити задачу повного переходу на екологічно чисту енергію.

УДК 664:613.2

СНИЖЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Мазур В.А., д-р техн. наук, профессор, Петренко М. А., аспирант
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Рассмотрена концепция интеллектуальных сетей (Smart Grid) электроснабжения для повышения энергоэффективности холодильных систем. Предложена интегрированная модель виртуальной энергетической системы, в состав которой входят подсистемы охлаждения. Впервые рассмотрен поход, использующий интеллектуальные сети электроснабжения, в которых применяются информационные и коммуникационные сети и технологии сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении. Разработка таких систем позволяет автоматически повысить эффективность, надёжность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии

Ключевые слова: *холодильні системи, енергетична ефективність, інтелектуальні мережі енергопостачання*

Keywords: *Refrigeration Systems – Energy Efficiency – Smart Grid*

Энергосбережение становится все более важным фактором, который определяет устойчивое развитие общества. Ежедневное потребление энергии для холодильного прибора варьируется от 0 до 2 кВтч и более в зависимости от различных типов аппаратов и условий эксплуатации. Такие факторы, как открывание дверей и степень заполнения пространства холодильника не оказывают существенного влияния на энергетическую эффективность. Анализ поведения пользователей в реальных условиях и лабораторные тесты показали, что потребление энергии оказывается чрезвычайно неравномерным и чувствительным к условиям эксплуатации. В настоящей работе наряду с потреблением электроэнергии непосредственно холодильным прибором рассмотрены некоторые аспекты, которые связаны с поведением потребителя и условиями в помещении, в частности, гигиеническими требованиями к пищевым продуктам и соответствующей температурой хранения [1], [2]. Энергопотребление домашних холодильников изучали в зависимости от различных факторов (температура окружающей среды, суточные колебания температуры, различные варианты загрузки свободного пространства холодильной камеры, воздействие сильно нагретых продуктов, частота открывания дверей), которые имитируют реальные условия эксплуатации

Цель настоящей работы заключается в анализе, исследовании, разработке и осуществлении мероприятий, способствующих повышению конкурентоспособности современной холодильной системыа за счет снижения энергопотребления в реальных условиях эксплуатации.

Для достижения намеченной цели поставлены следующие основные задачи:

– разработать научно-технические и организационные мероприятия по реализации концепции устойчивого развития сложной бытовой техники на основе мониторинга рабочих параметров домашних холодильников и установить их взаимосвязи с критериями энергетической эффективности и экологической безопасности;

– построить математические модели нестационарных термодинамических процессов в камерах домашних холодильниках, имитирующих реальные условия эксплуатации.

Первые попытки отразить характеристики энергосбережения для домашних холодильников были сделаны в середине 90-х годов прошлого столетия на основе т.н. энергетических меток. Положительная черта этого подхода – быстрая оценка конкурентоспособности различных производителей холодильного оборудования и возможность принятия решения для потребителей. В настоящее время тестирование холодильных приборов происходит при температуре окружающей среды 25 °С и не учитывает реальные условия эксплуатации (например, открытие дверей холодильника, степень заполнения свежими продуктами холодильных камер и т.д.). Для различных холодильников условия тестирования не совпадают, что является объектом критического отношения к выводам относительно методологии энергетических меток. Единственный реальный вариант повышения энергоэффективности на сегодняшний день заключается в инвестировании значительных средств в необходимый узел энергосистемы, что очевидно, не является самым рациональным с точки зрения экономической эффективности, т.к. средний срок окупаемости крупных электроэнергетических проектов составляет десятилетия, а средний период возврата вложений в проект потребителя, ради которого эти инфраструктурные изменения замышляются, должен быть значительно короче.

Впервые рассмотрен поход, использующий интеллектуальные сети электроснабжения (Smart grid), которые используют информационные и коммуникационные сети и технологии для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении. Разработка таких систем позволяет автоматически повысить эффективность, надёжность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии [3]. В Европейском Союзе правила разработки «Интеллектуальных сетей» определены через «Платформу европейских интеллектуальных сетей электроснабжения» (Smart Grid European Technology Platform) [4]. Развитие Smart grid технологии означает фундаментальную реорганизацию рынка услуг электроэнергетики несмотря на то, что терминология на первый взгляд предполагает только развитие технической инфраструктуры.

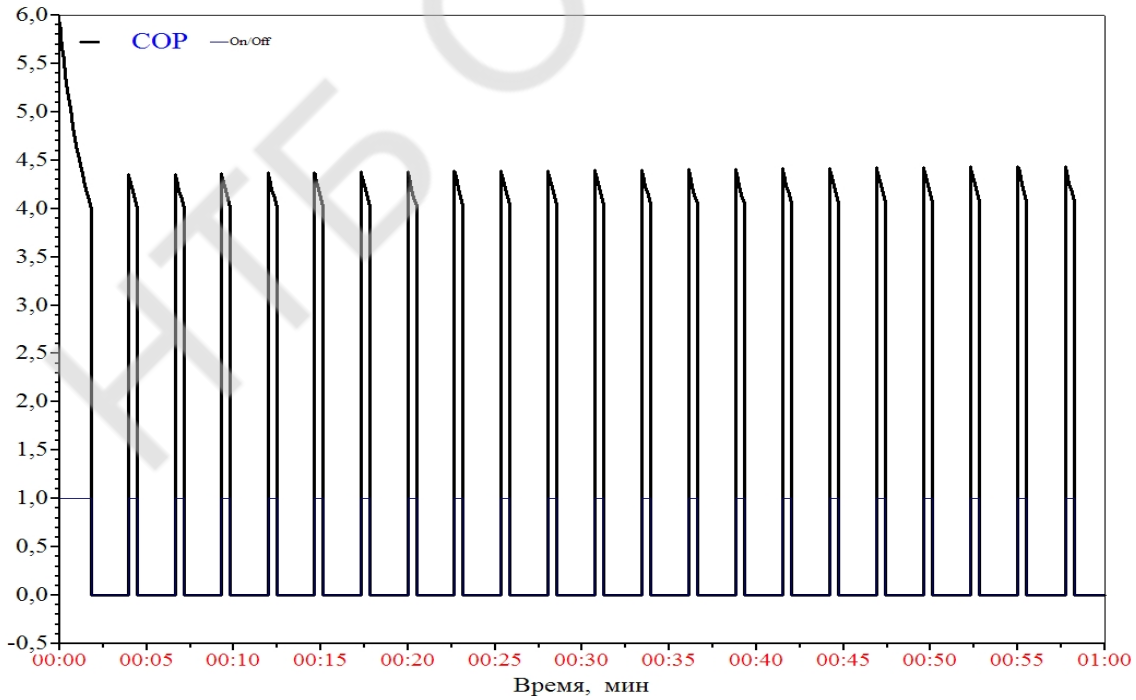


Рис. 1 – Изменение холодильного коэффициента при переключении компрессора

В качестве виртуальной модели энергетической системы исследовано объединение различных энергогенерирующих подсистем, которые служат связующими звеньями между распределенными энергетическими ресурсами и будущей сетью что позволит избежать рассогласования между требованиями

рынка и техническими возможностями. Для анализа переходных процессов рассмотрена динамическая модель, отображающая уравнение баланса энергии системы охлаждения. Рассмотрена динамика энергопотребления домашнего холодильника при охлаждении объектов при различных параметрах окружающей среды и теплоаккумулирующих свойств охлаждаемого объекта. Результаты моделирования температурных полей в камерах домашнего холодильника, подтвержденные экспериментальными данными, позволили выяснить общие взаимосвязи между основными параметрами, для которых осуществляется мониторинг во время эксплуатации реальной энергетической системы. На рис. 1 представлены результаты динамики изменения холодильного коэффициента при переключении компрессора в энергетической системе.

Расчеты в рамках данной модели показали, что увеличение массы загрузки не оказывает принципиального влияния на энергопотребление, поскольку десятикратное увеличение массы груза приводит к увеличению энергопотребления всего на 2%. Теплоемкость загружаемого продукта также практически не оказывает влияние на энергозатраты. Пятикратное увеличение теплоемкости продукта приводит к небольшому (до 1,5%) увеличению энергопотребления.

Для поиска оптимального решения развита гибкая модель термоэкономического анализа, базирующаяся на многокритериальной природе процесса принятия решения в Smart Grid при наличии конфликта и нечеткости целей при проектировании энергопреобразующих систем. Проблема термоэкономической оптимизации рассмотрена как проблема нечеткого нелинейного программирования с n несовместимыми критериями (экономический и термодинамический), m – переменными управления и k нелинейными ограничениями: найти

$$Optimize \;\; K\,[K_{th}(X),\, K_{ec}(X)] \tag{1}$$

при условии

$$C_i \equiv G_{Li} \le G_i\,(X) \le G_{Ui},\; i = 1,2,\ldots,\, k \tag{2}$$

$$x_{Li} \le x_i \le x_{Ui},\; i = 1,2,\ldots,\, m \quad , \tag{3}$$

где $K_{th}(X)$, $K_{ec}(X)$ представляют нечеткие локальные критерии термодинамической и экономической эффективности; $X\,(x_1, x_2, \ldots, x_m)$ – вектор искомых переменных управления; G_{Li} , G_{Ui} - нижний и верхний пределы ограничений $G_i\,(X)$, соответственно, и $x_{Li} \le x_i \le x_{Ui}$ - нижняя и верхняя границы для искомых переменных управления.

Мы полагаем, что $K_j(X) = \| P_j, M_j(X) \|$ – "расстояние" между желаемой (идеальной) эффективностью системы P_j и ее реальной моделью M_j. Решение многокритериальной проблемы заключается в нахождении компромисса среди всех критериев и ограничений сформулировано следующим образом: построить функцию

$$K = K_1 \bigcap K_2 \bigcap \ldots \bigcap Kn\,. \tag{4}$$

Параметры модели X_{opt} отождествляют компромиссное решение для выбранных критериев эффективности. Многокритериальный подход базируется на комбинации формальной и неформальной процедур принятия решения для нахождения альтернативного решения проблемы.

В данной работе предлагается следующая последовательность шагов принятия решения в нечетком термоэкономическом анализе энергопреобразующих систем.

- Определение области оптимальности по Парето (или области компромисса) - X_P , в которой достигается согласованное решение конфликта между критериями с противоположными интересами;
- Представление критериев и ограничений в форме нечетких множеств для отображения неструктурированных ситуаций (т.н. процедура «размывания» критериев);
- Неформальный выбор схемы свертки для перехода от векторного критерия $K\,[K_{th}(X),\, K_{ec}(X)]$ к скалярной комбинации $K_{th}(X)$ и $K_{ec}(X)$;
- Оценка окончательного вектора $X_{opt} \in X_P$, минимизирующего нечеткие источники неопределенности.

Выводы

Сочетание представлений об интеллектуальных сетях энергоснабжения и концепция нечетких множеств позволяют принимающему решения вести всеобъемлющее исследование энергопреобразующих систем, принимая во внимание разнообразные комбинации экологических и экономических целей наряду с термодинамическими ограничениями. Метод нечеткого нелинейного математического программирования, который пытается минимизировать все виды неопределенностей, – это гибкая система экономической и термодинамической оптимизации энергетических систем. В этом исследовании сделана одна из первых

попыток применения методологии многокритериального принятия решений для поиска компромисса между термодинамическими и экономическими показателями в интеллектуальных сетях электроснабжения для снижения потребления энергии холодильных систем.

Литература

1. Biegel, B., Andersen, P., Pedersen, T.S., Nielsen, K.M., Stoustrup, J., and Hansen, L.H. (2013a). Smart grid dispatch strategy for on/off demand-side devices. In Proceedings of the European Control Conference 2013 Z¨urich, Switzerland.
2. Pedersen, R., Schwensen, J., Sivabalan, S., Corazzol, C., Shafiei, S.E., Vinther, K., and Stoustrup, J. (2013). Direct control implementation of a refrigeration system in smart grid. In Proceedings of the 2013 American Control Conference. Washington, DC, USA. *U.S. Department of Energy.*
3. Smart Grid / Department of Energy.
4. Smart Grids European Technology Platform | www.smartgrids.eu. *smartgrids.eu* (2011).

УДК 533.24.083

ТЕПЛОФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ПОРИСТОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ

Павленко А.М., д-р техн.. наук, професор, Шумська Л.П.

Запропоновано детальний опис способу отримання пористої структури за допомогою високотемпературної поризації легкоплавкої сировини при мінімальних енергетичних затратах з прогнозованими теплофізичними властивостями отриманих матеріалів.

Ключові слова: *теплоізоляційні пористі вироби, термічне спучування, теплопровідність, енерговитрати.*

Вступ

Теплоізоляційні пористі вироби належать до найбільш ефективних матеріалів для захисних елементів різного призначення. Низька густина, вогнестійкість, мала теплопровідність, разом з тим достатньо висока конструктивна міцність дозволяють вважати пористокерамічний матеріал одним із найбільш перспективних матеріалів для будівництва. Тому проблема створення нових пористих теплоізоляційних матеріалів і технологій їх виробництва є надзвичайно актуальною.

Питання отримання пористих матеріалів з прогнозованими теплофізичними характеристиками аналізується у наукових працях вітчизняних дослідників [1]. Так, у науковому дослідженні[2] розглядаються проблеми встановлення раціональних термодинамічних умов гідротермічного спучування гідросилікатів, що дозволяють знизити енерговитрати у виробництві теплоізоляційних пористих матеріалів.

Існує три групи технологій, що охоплюють усі відомі способи отримання пористої структури. У першій групі технологій пориста структура створюється за допомогою штучних чи природних пороутворюючих матеріалів та легкоплавких глин способом об'ємного чи контактного омонолічування – керамопор; у другій – поризацією шлікерної маси різними способами піноутворення, сухої мінералізації піни, аерування, низькотемпературного газоутворення – петюкераміка; у третій – високотемпературною поризацією легкоплавкої сировини.

Метою даної роботи є розгляд третього способу структуроутворення, що відбувається при гідратації сировинної композиції. На відміну від існуючих робіт в наших дослідженнях пропонується за рахунок підбору раціонального співвідношення кількості компонентів сировинної суміші та режимів спучування встановити таке їх співвідношення, при якому можна отримати пористий матеріал з заданими теплофізичними властивостями при мінімальних витратах енергії. Планується виконати такі дослідження за допомогою диференційно-термічного аналізу.

Практичні дослідження

Для виконання практичних досліджень до сировинної маси додавали шамотну глину або чисту будівельну глину, склад яких наведений у таблиці 1.

Завданням дослідження є визначення оптимального співвідношення мас добавок за показниками енерговитрат на реалізацію процесу термічного спучування, міцності отриманого матеріалу, пористості й теплопровідності. Очевидно, що теплопровідність та енерговитрати повинні бути мінімальними.

Дослідження виконувались із застосуванням диференційно-термічного аналізу (ДТА) процесу термічного спучування сировинної суміші.

Таблиця 1 – Хімічний склад вогнетривких глин

Глина	Вміст оксидів, %									
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	SO_3	ППП
Будівельна глина	44,59-54,14	27,13-35,85	1,48-2,47	1,14-1,97	0,38-0,81	0,23-0,42	0,21-0,60	0,25-0,45	1,34-3,62	11,48-13,86
Шамотна глина	46,80	36,80	1,58	--	0,20	0,76	0,34	0,18	--	13,6

Випробування проводять при постійному підйомі температур, записуючи різницю температур на діаграмному папері як функцію температури. У результаті отримують криву ДТА (рис. 1 - 4). При обробці результатів експерименту горизонтальну вісь градуюють за температурою. За положенням піка ендотермічного процесу можна знайти температурний інтервал фазових переходів.

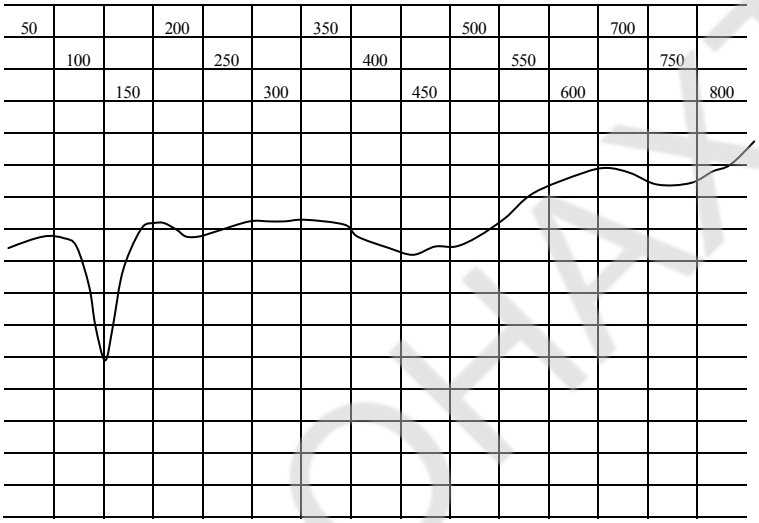


Рис.1 – ДТА сировинної суміші з вмістом 75 мас. частин глини №1 (табл.1)

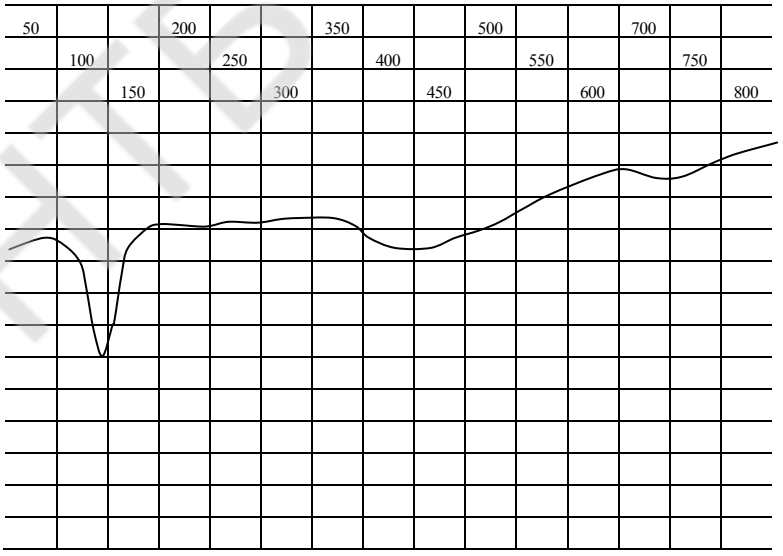


Рис.2 – ДТА сировинної суміші з вмістом 75 мас. частин глини №2 (табл.1)

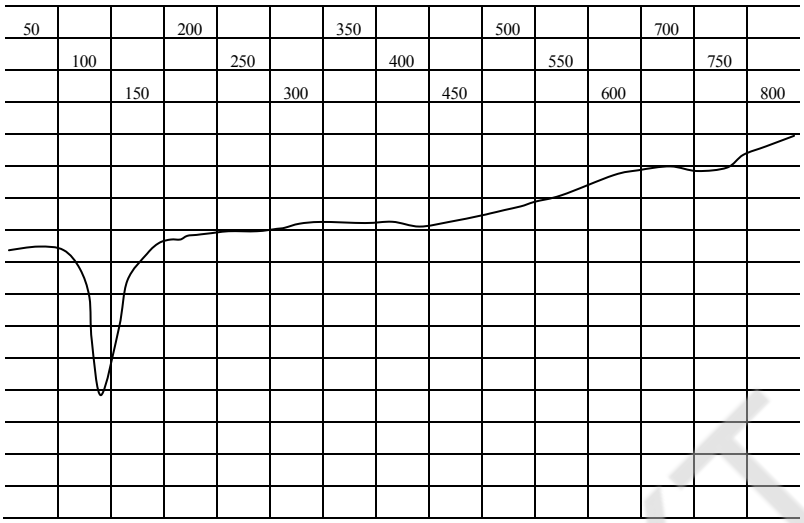


Рис.3 – ДТА сировинної суміші з вмістом 160 мас. частин глини №1 (табл.1)

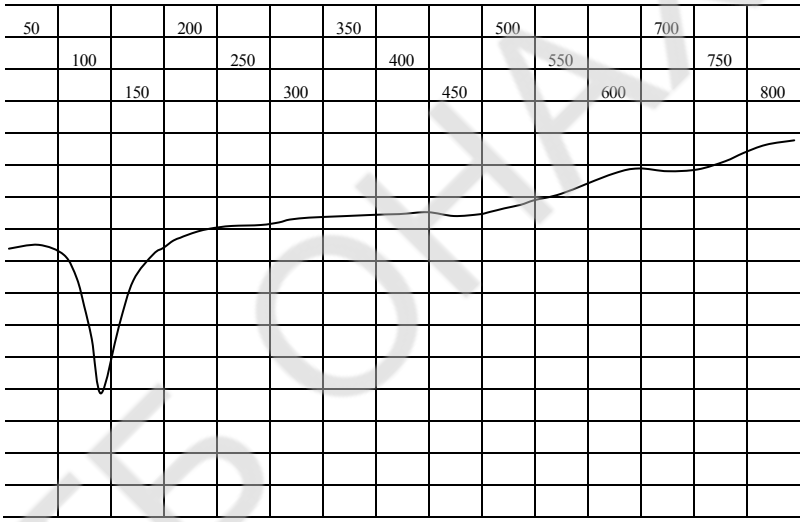


Рис.4 – ДТА сировинної суміші з вмістом 160 мас. частин глини №2 (табл.1)

Для зразків глин №1 і №2 на діаграмах немає суттєвої різниці у термічних показниках фазових перетворень. Але при збільшенні вмісту глинозему екзотерма видалення вологи має більший мінімум, що є наслідком більшого водонасичення сировинної суміші.

На кривих ДТА реєструється низькотемпературний ендотермічний пік 146^{o}С, обумовлений видаленням сорбованої води; присутність останньої пов’язана з високою питомою поверхнею часток, яка знаходиться у прямій залежності від розупорядкованості суміші.

Зміни, які відбуваються при нагріванні, показали три ендотермічні ефекти: 146, 500 і 720 (середні температури інтервалів на рис. 1 - 4). Великий ендотермічний ефект унаслідок видалення поглиненої води відзначається при 146^{o}С, а сходинка на кривій, що спостерігається при 300^{o}С, свідчить про видалення конституційної води (зв’язаної у вигляді ОН). Ендотермічний ефект при 720^{o}С пояснює видалення іонів ОН. Як свідчать дані діаграми, оптимальний температурний інтервал дегідратації суміші в межах 146-720^{o}С. Залишається встановити зв'язок інтервалів температур зі структурою спученого матеріалу, а, відповідно, і зі споживчими властивостями (міцність, теплопровідність, термостійкість, водопоглинання). Для цього, змінюючи склад вихідної суміші, повторюють вимірювання за наведеною вище методикою.

На отриманих кривих ДТА для всіх експериментальних зразків у досліджуваному інтервалі температур спостерігається ряд явищ, пов’язаних з тепловими ефектами: 1) до 100°С — випаровування хімічно незв’язаної води; 2) 100…170°С — різка втрата у масі і яскраво виражений ендотермічний ефект, котрий пов'язаний з частковою дегідратацією гелю і фаз різноманітного складу; 3) 450…550°С —

ендотермічний ефект, котрий відповідає розкладанню портландіта з виділенням парів води; 4) 700…900 °С — незначна втрата у масі і слабкий ендотермічний ефект, котрий пов'язаний із розкладанням карбонатних матеріалів (кальциту, доломіту), а також з останньою стадією дегідратації гелю і гідроалюмінатів.

Дослідження порової структури

Морфологія і пористість зразків визначались оптичними методами. За даною методикою визначаються макроскопічні параметри пористості всередині метричного інтервалу з нижньою межею 10 мкм і верхньою 5 мм. Зазначений інтервал характеризує міцнісні параметри речовини і параметри тепло- і масоперенесення.

Для аналізу структури виготовляли шліф спученого матеріалу й проводили попередній аналіз на установці, що складається з проекційної оптичної системи, телевізійної камери, комп'ютера з інтерфейсом сполучення. При 10-кратному збільшенні реєстрували загальний вигляд шліфа у видимому світлі в сірих тонах з 256-ма градаціями сірого. Візуалізація пор відбувалась за допомогою методів тіньового контрастування, котрий заснований на застосуванні системи освітлення поверхні зразка, що складається з освітлювачів, спрямованих під малими кутами до поверхні. При використанні методу люмінесцентного контрастування на поверхню шліфа було нанесено шар люмінофора. Крупність люмінофора попередньо нормується методом водної седиментації з виділенням часток люмінофора субмікронного розміру. Надлишок люмінофора видаляється з поверхні обдуванням, після чого на поверхню накладається спеціалізована плівка для видалення частинок люмінофора, що залишилися. Поверхня зразка контролювалась на бінокулярному мікроскопі. У площині гранул та міжгранульних площинах реєструвались пори з мінімальним розміром 150 мкм. Формується маркерний план об'єкта, що визначається контурами частинок обпалених гранул. Отриманий кадр аналізується з визначенням розмірів (рис. 5 - 10).

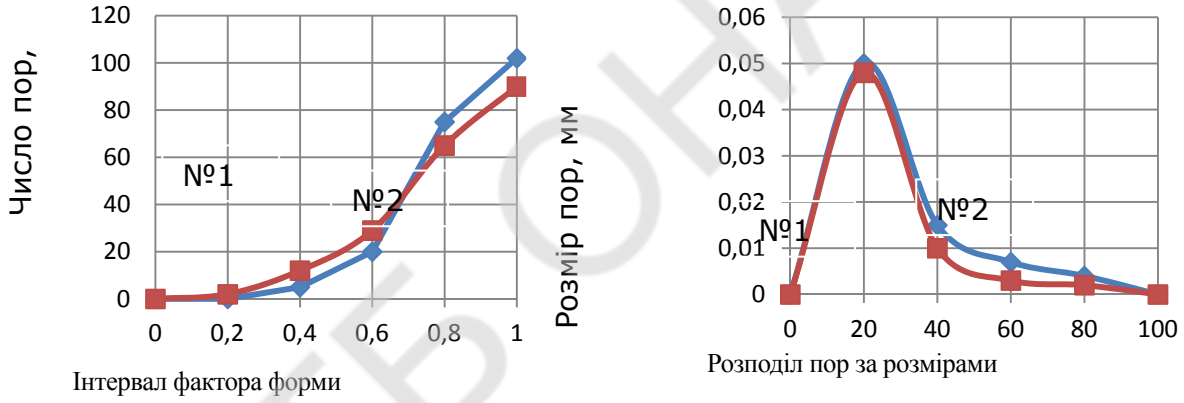


Рис. 5 – Параметри загальної пористості зразків №1 и №2 (75 мас. часток), спучених при температурі 160°С (перший ендотермічний мінімум)

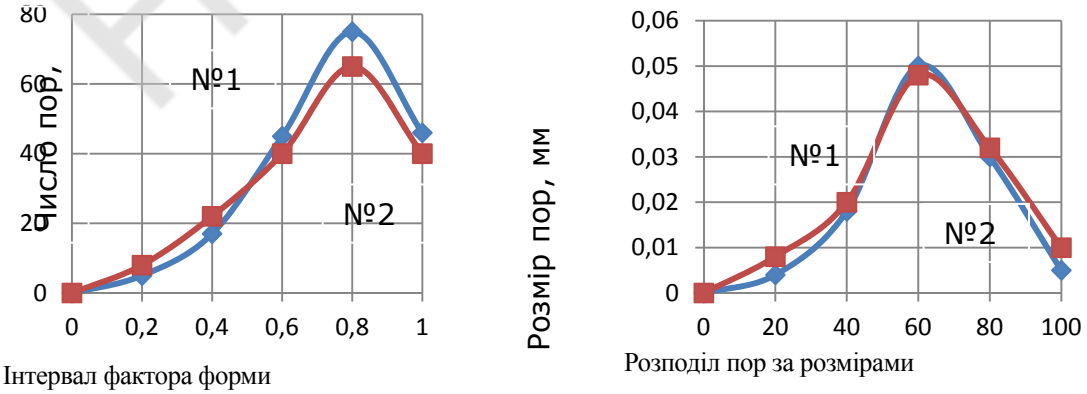


Рис. 6 – Параметри загальної пористості зразків №1 и №2 (75 мас.часток), спучених при температурі 300°С (другий ендотермічний мінімум)

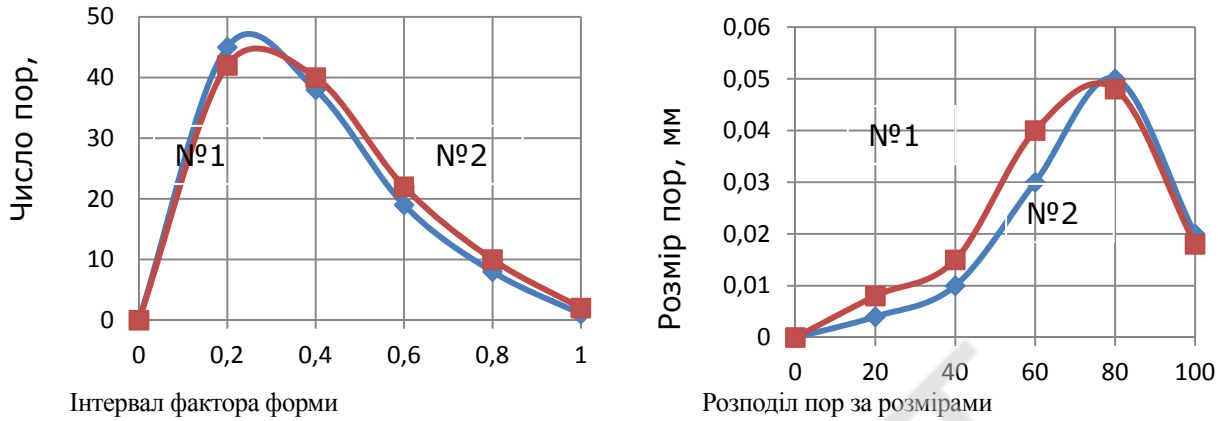


Рис. 7 – Параметри загальної пористості зразків №1 и №2 (75 мас. часток), спучених при температурі 700 °С (третій ендотермічний мінімум)

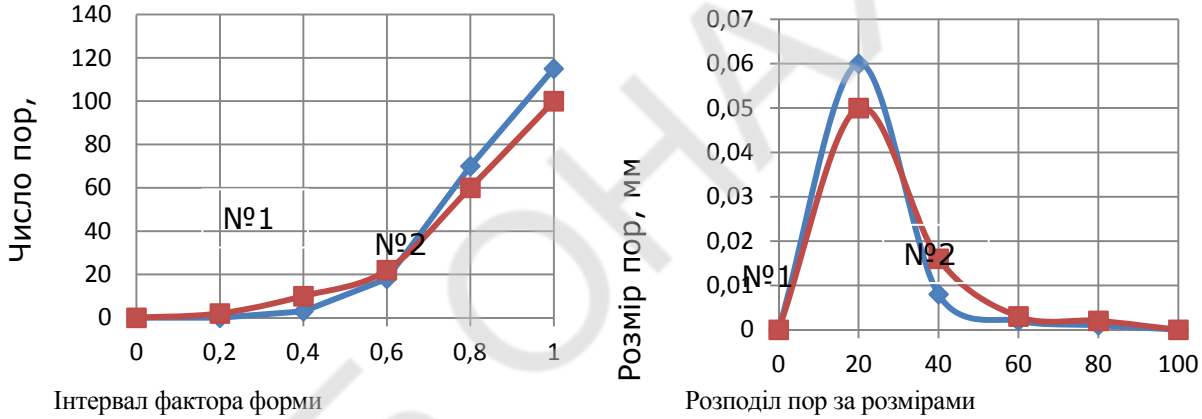


Рис. 8. Параметри загальної пористості зразків №1 и №2 160 мас. часток), спучених при температурі 160 °С (перший ендотермічний мінімум)

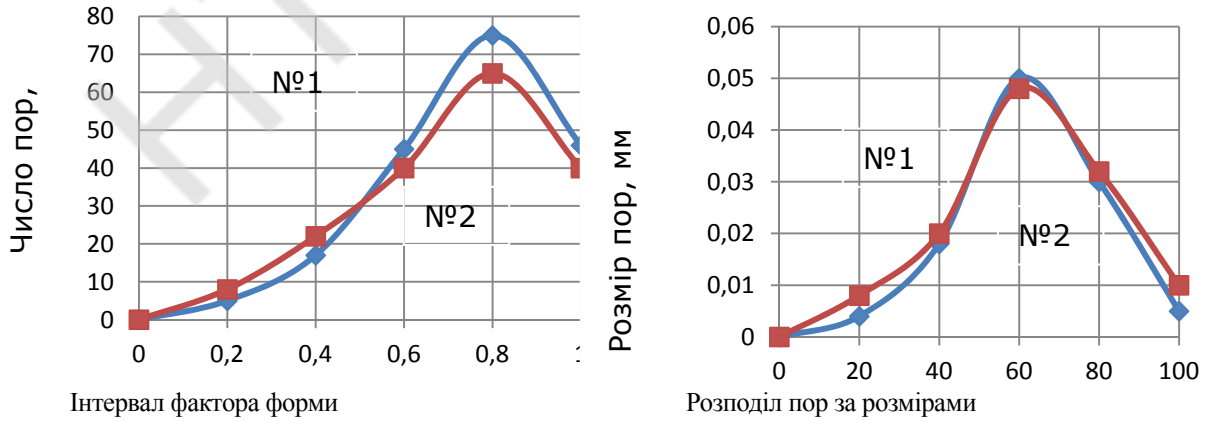
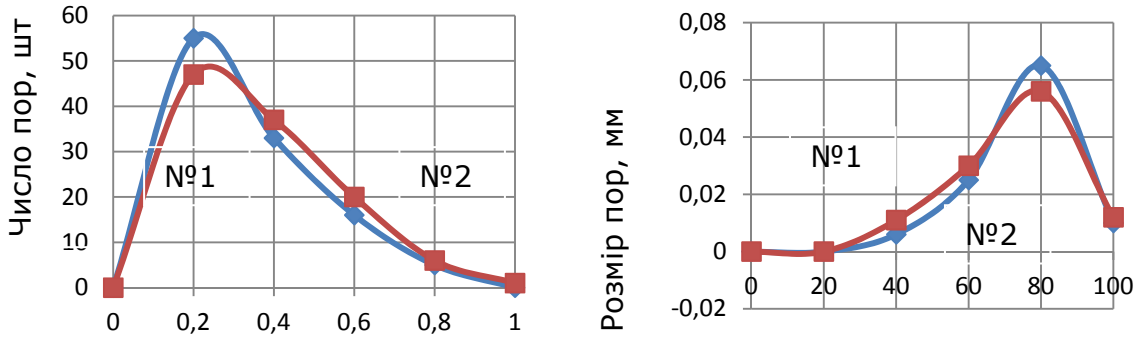


Рис. 9 – Параметри загальної пористості зразків №1 и №2 (160 мас. часток), спучених при температурі 300 °С (другий ендотермічний мінімум)



Інтервал фактора форми

Розподіл пор за розмірами

Рис. 10 – Параметри загальної пористості зразків №1 и №2 (160 мас. часток), спучених при температурі 700 °С (третій ендотермічний мінімум)

На рисунках 5 – 10 наведені параметри пористості зразків №1 і №2 для суміші з різним вмістом 75 і 160 масових часток. Характерною ознакою отриманих даних є те, що графіки для різних типів глин практично збігаються. Суттєві відмінності є в показниках для різних температурних мінімумів. Так, для першого ендотермічного мінімуму ми отримали спучений матеріал з дрібними, практично сферичними порами. Більша їх частина мала мінімальні розміри. Спучування сировинної суміші у другому ендотермічному мінімумі дає змішану пористість (сферичну, комірчасту і канальну). Матеріал стає менш міцним. При спучуванні в умовах третього ендотермічного мінімуму формується переважно канальна пористість. Такий матеріал має найменшу міцність. Слід очікувати зниження коефіцієнта теплопровідності з підвищенням температури спучування.

Висновки

Вирішення проблеми створення нових пористих теплоізоляційних матеріалів і технологій їх виробництва нероздільно пов'язане з науковими дослідженнями в галузі енергоперенесення у пористій структурі на етапах спучування, затвердіння і сушіння за умови забезпечення найбільш низької теплопровідності і щільності.

Зазначені властивості матеріалів визначаються величиною їх пористості, співвідношенням мікро- та макропористості, властивостями міжпорового матеріалу, що утворюють своєрідний несучий каркас, котрий, у свою чергу, визначається технологією виробництва, видом сировинних матеріалів і умовами їх підготовки. Усе вище перелічене ставить особливі вимоги до формування структури матеріалу з метою забезпечення при цьому відносно високої міцності і довговічності.

За допомогою диференційно-термічного аналізу досліджені режими термообробки, встановлені раціональні температурні параметри спучування, що дозволяють реалізувати даний процес при мінімальних енергетичних затратах з прогнозованими теплофізичними властивостями отриманих матеріалів.

Література

1. Соколовская И.Е. Получение пористых материалов с прогнозируемыми теплофизическими характеристиками / И.Е. Соколовская, А.В. Кошлак, А.М. Павленко // Сборник науч. трудов ДГТУ (технические науки). - 2007. – № 8. – С. 122-126.
2. Кошлак Г.В. Теоретичні та технологічні основи розробки пористих матеріалів з заданими теплофізичними характеристиками : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата техн. наук : спец. 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика» / Кошлак Ганна Володимирівна ; Ін-т проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України. – Харків, 2009. – 21 с.
3. Боднарёва Л. Поведение легкого керамзита, бетона, подверженных воздействию высоких температур / Л. Боднарёва, Р. Гела, М. Губертова, И. Новакова // Международный журнал гражданского, экологического, структурного строительства и архитектурного проектирования. – 2014. – 8 (12). – С. 1205 – 1208.
4. Nimmo, J. R. Porosity and Pore Size Distribution / J. R. Nimmo // Encyclopedia of Soils in the Environment. – London: Elsevie, 2004. – P. 295–303.

5. Шпак А.П. Кластерные и наноструктурные материалы. Т.3 / А.П. Шпак, П.Г. Черемской, Ю.А. Куницкий, О.В. Соболь // Пористость как особое состояние структуры в твердотельных наноматериалах. – Киев: Академпериодика, 2005. – 516с.
6. Komissarchuk, O. Pore structure and mechanical properties of directionally solidified porous aluminum alloys / O. Komissarchuk, Z. Xu, H. Hao // China Foundry. – 2014. – Vol. 11, Issue 1. – P. 1–7. – Available at: https://doaj.org/article/002c72e2e0 1345db8bf4fef190113057
5. Bajare, D. Lightweight Concrete with Aggregates Made by Using Industrial Waste / D. Bajare, J. Kazjonovs, A. Korjakins // Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering. – 2013. – Vol. 4, Issue 5. doi: 10.5755/j01.sace.4.5.4188
6. Lopez-Pamies, O. Effects of internal pore pressure on closed–cell elastomeric foams / O. Lopez-Pamies, P. Ponte Castañeda, M. I. Idiart // International Journal of Solids and Structures. – 2012. – Vol. 49, Issue 19-20. – P. 2793–2798. doi: 10.1016/j.ijsolstr.2012.02.024
7. Aboudi, J. Micromechanics of Composite Materials: A Generalized Multiscale Analysis Approach / J. Aboudi, S. M. Arnold, B. A. Bednarcyk. – Elsevier, 2013. – 973 p.
8. Bratuta, E. Porous insulating materials / E. Bratuta, A. Pavlenko, H. Koshlak. – Kharkiv: "Eden", 2010. – 105p.
9. Pavlenko, A. M. Peculiarities control the forming of the porous structure / A. M. Pavlenko, H. V. Koshlak, B. O. Usenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – Issue 6. – P. 50–55.
10. Вукалович М.П. Термодинамика / М.П. Вукалович, И.И. Новиков. – Москва: Машиностроение, 1972. – 672 с.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОГРАМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В АЕРОПОРТАХ

Радомська М.М., доц., к.т.н., Черняк Л.М., доц., к.т.н., Самсонюк О.В., студент
Національний авіаційний університет

Аеропорт – це певна ділянка землі або води (включаючи будь-які будівлі, споруди та обладнання), призначена для використання повністю або частково для прибуття, відправлення і руху повітряних суден. В даний час, аеропорти можуть також задовольняти інші потреби та надавати комерційні, промислові, ділові і розважальні послуги. Аеропорти в цілому відрізняються високим споживанням енергії, яке є стохастичним, нелінійним і динамічним під впливом багатьох факторів. Наукові дослідження споживання енергії в основному пов'язані з будівлями аеровокзалів, хоча це лише частина аеропорту, тому перспективним напрямком досліджень є вивчення всіх аспектів, що впливають на ефективність споживання енергії в аеропортах. Таким чином, в дослідженні аналізуються окремо зовнішні і внутрішні споживачі енергії в аеропортах.

Як показує практика, основними споживачами енергії в аеропортах є системи освітлення, паро- і теплогенератори, системи клімат-контроль та системи забезпечення комфорту. Споживачами енергії, які виділяються у структурі енергетичного балансу аеропорту, є аеродромне освітлення і радіонавігаційні системи, а також допоміжні будівлі, такі як диспетчерський пункт або ангари. Так, аеродромне освітлення і радіонавігаційні системи формують від 5% до 7% кожен від загального обсягу споживання електроенергії аеропорту. Основним фактором зовнішнього споживання енергії є розмір зони обслуговування повітряних суден (злітно-посадкової смуги, доріжок для руління і перону), що в свою чергу залежить від кількість аеродромних вогнів, годин роботи аеропорту, протягом яких допускається зліт і посадка повітряних суден.

На відміну від житлових будинків або офісів, інтенсивність енергоспоживання в значній мірі є нестабільними. Таким чином, рівень наповненості терміналів є важливим фактором, що включає піки пасажиропотоку залежно від розкладу польотів, що вимагає адаптації освітлення і кліматичних систем до конкретних обставин на певних ділянках.

В останні роки стратегії скорочення споживання енергії в аеропортах, як правило, засновані на врахуванні коливань кількості користувачів послуг аеропорту. За допомогою комерційного програмного забезпечення можна забезпечити ефективний моніторинг руху людей всередині терміналів і відповідне вимкнення непотрібних елементів системи опалення, вентиляції та освітлення.

Інші варіанти систем контролю внутрішнього середовища з метою виявлення можливостей для реалізації заходів з енергозбереження в пасажирських зонах будівлі аеропорту ґрунтуються на врахуванні розкладів повітряного руху, що забезпечує економію електроенергії на 20-25%. Енергоефективні рішення у сфері освітлення також включають встановлення систем відбиття денного світла, що дозволяють з

максимальною ефективністю використовувати його у світлий час доби. Окрім очевидної економії електроенергії, це допомагає створити у залах м'яке рівномірне освітлення, прийнятне для очей відвідувачів.

Не менш ефективні рішення можна використати для оптимізації управління мікрокліматом. Так, для ефективної нейтралізації надлишкового тепла в результаті нагрівання внутрішніх приміщень прямими сонячними променями, освітлювальними приладами, різним технологічним устаткуванням і людьми використовують спеціальні схеми холодопостачання зі змінною витратою носія холоду. Він подається лише на ті ділянки, де у відповідний момент часу датчики фіксують підвищення температури повітря вище від комфортного для відвідувачів або персоналу рівня, наприклад – в освітлені сонцем зони аеровокзалу. При цьому до 85% теплової енергії, що міститься у відпрацьованому повітрі, повертається у систему роторними рекуператорами – найбільш ефективними натепер за своїми енергозберігаючими властивостями.

Керування всіма кліматичними процесами в будівлі терміналів здійснюється за допомогою електроніки, пов'язаної з комп'ютерною мережею аеропорту. Це дозволяє реалізувати принцип попереджувального керування мікрокліматом: система вентиляції і кондиціонування автоматично збільшує потужність охолодження, аналізуючи інформацію, що надходить від датчиків CO_2, про пасажиропотік у конкретній зоні аеровокзалу. В основі цих технологій лежить система динамічного моделювання процесів теплообміну.

Отже, в даний час скорочення споживання енергії є пріоритетом для менеджерів аеропорту. Найбільш важливі заходи можна розділити на наступні категорії: вдосконалення систем управління та енергетичних об'єктів, поліпшення систем вентиляції та кондиціонування і освітлення, а також нових систем оперативного управління, які допомагають поліпшити і оптимізувати ефективність використання енергії в аеропортах.

Наше дослідження охоплює оцінювання потенціалу економії енергії у малих українських аеропортах і екологічних ефектів енергозбереження. Наступні заходи були визначені як високоефективні: установка енергозберігаючих систем освітлення з датчиками руху по всьому аеропорту; забезпечення природного освітлення приміщень для пасажирів у терміналах; встановлення подвійних вікон і пристроїв для затінення; забезпечення збору та повторного використання тепла від систем опалення, обладнання, пасажирів та від сонця; відключення ескалаторів і багажних лінії в нічний час; відключення периферійного освітлення в денний час доби. Запропоновані заходи були проаналізовані в контексті діяльності аеропорту Києва „Жуляни".

Так, загальний ефект від запропонованого комплексу заходів в аеропорті Києва призведе до зниження споживання енергії на 19-27%, в залежності від інтенсивності реалізації можливостей енергозбереження. Навіть при мінімальному сценарії вартість проекту дорівнюватиме 627 кВт потужності енергії, що можна вважати значним поліпшенням. Такий обсяг енергії може забезпечити нагрів двох 16-поверхових житлових будинків. Термін окупності відповідних капітальних вкладень буде варіюватися від 7 до 11 років, але, з огляду на нестабільність у забезпеченні енергетичних ресурсів, характерних для нинішньої політичної ситуації в Україні, необхідно вкладати кошти в підвищення енергоефективності.

В свою чергу, зниження в перспективі споживання енергії в міжнародному аеропорту Київ, на основі наших розрахунків, буде еквівалентно зменшенню викидів твердих частинок на 9,48 т, викидів оксидів сірки на 12,75 викидів т і оксидів азоту на 3,97 т щороку. Отриманий ефект буде включати в себе зниження внеску діяльності аеропортів у посилення парникового ефекту, запилення атмосфери і інтенсивності утворення кислотних дощів.

Зокрема, викиди диоксиду карбону, одного з основних парникових газів, в зоні аеропорту пов'язані зі згоранням авіаційного палива, а також діяльністю енергогенеруючих установок, чий внесок становить від 20 до 40%. Якщо врахувати скорочення енергоспоживання за рахунок впровадження енергозберігаючих заходів, обсяг викидів скоротиться на відповідну величину. Так, радіаційний вплив діоксиду карбону згідно наших досліджень за даної інтенсивності перевезень забезпечує зміну добової температури на 0,4–1,2°С порівняно з прилеглими до території аеропорту ділянками, залежно від періоду року та об'ємів надання послуг і енергоспоживання (мінімум, як правило, у травні, максимум – у січні). Вартість генерованих вуглецевих одиниць становить 304 тисяч гривень, які можна вирахувати з прибутків аеропорту. Отже, скорочення енергоспоживання призведе до економії не менше 50 тисяч гривень на рік, що можна використати на подальшу модернізацію енергетичного господарства та розширення зелених насаджень навколо аеропорту для компенсації викидів діоксиду карбону за рахунок споживання рослинами.

ЕКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОВОГО ВОДОТРУБНОГО КОТЛА ДКВР – 10/14

д.т.н., проф. Редько А.О., асп. Давіденко А.В.
Харківський національний університет будівництва та архітектури

Значна кількість оксидів азоту, які скидаються в атмосферу, приходяться на долю ТЕЦ, опалювальних районних і промислових котелень, які працюють на органічному паливі. Впровадження на зношених та застарілих конструкціях котлів заходів, які забезпечують на допустимому рівні екологічні показники діючого котельного обладнання, таких як ступеневе спалювання, рециркуляція продуктів згоряння, використання сучасних пальникових пристроїв і автоматизація котлів потребує значного об'єму реконструкцій та суттєвих фінансових затрат. Сучасні технології пониження оксидів повинні поліпшувати екологічну безпеку котлів і підвищувати ефективність їх роботи. Застосування котлів типу ДКВР поширено в котельних України, і використовуються в якості джерел тепло- і паропостачання. В докладі приведені результати обчислювального експерименту відповідно до котлів ДКВР.

Методи математичного моделювання дозволяють досліджувати процеси генерації оксидів азоту та вирішувати задачі по їх мінімізації. В роботі моделювалися такі процеси:

• горіння метану в кисні повітря, швидкість і температура газової суміші, конвективний і променистий теплообмін в топковому об'ємі.

• окислення метану протікає в дві стадії:

$$2CH_4 + 3O_2 = 2CO + 4H_2O \quad (1)$$
$$2CO + O_2 = 2CO_2 \quad (2)$$

Вихідні дані: паливо метан (CH4 = 100%), окислювач-кисень повітря; теоретично необхідний обсяг повітря 9,52 $м^3/м^3$ для повного згоряння CH_4; первинний коефіцієнт надлишку повітря $\alpha'_в = 0,6$; вторинний $\alpha'_в = 0,5$; температура паливо-повітряної суміші 20°С; середня температура води, °С; параметр крутки потоку n = 1,6 серійної пальника ГМГ-7. Результати численних розрахунків дозволили визначити стаціонарні поля характеристик потоку - швидкості, температури, концентрації реагуючих компонентів.

Зі збільшенням параметра крутки потоку прискорюється горіння метану, підвищується температура в ядрі факела, зменшується його довжина, а його положення зміщується до фронту котла. При цьому підвищується температура газів на виході з камери згоряння і збільшується концентрація оксидів азоту. Пальники ГМГ створюють нерівномірний розподіл теплового навантаження по довжині топки, теплова напруга топкового об'єму при цьому становить q = 420 $кВт/м^3$.

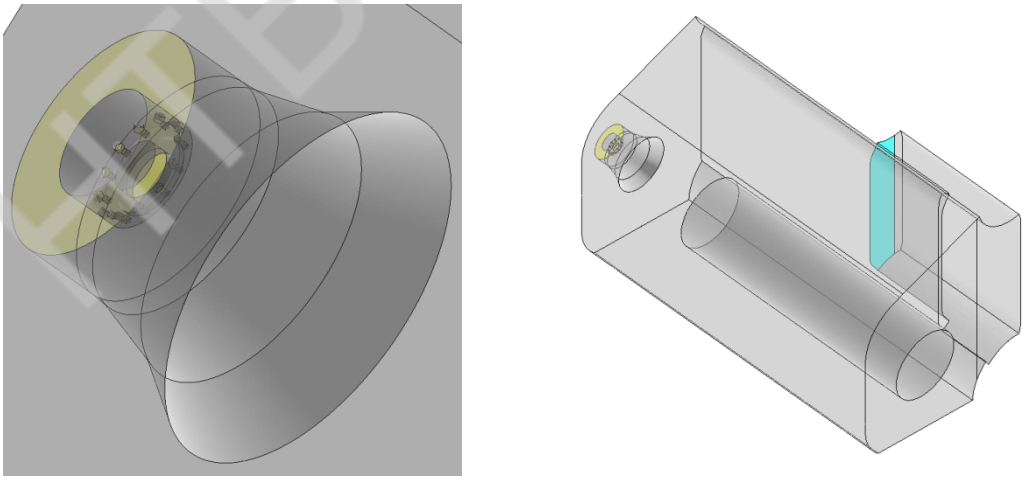
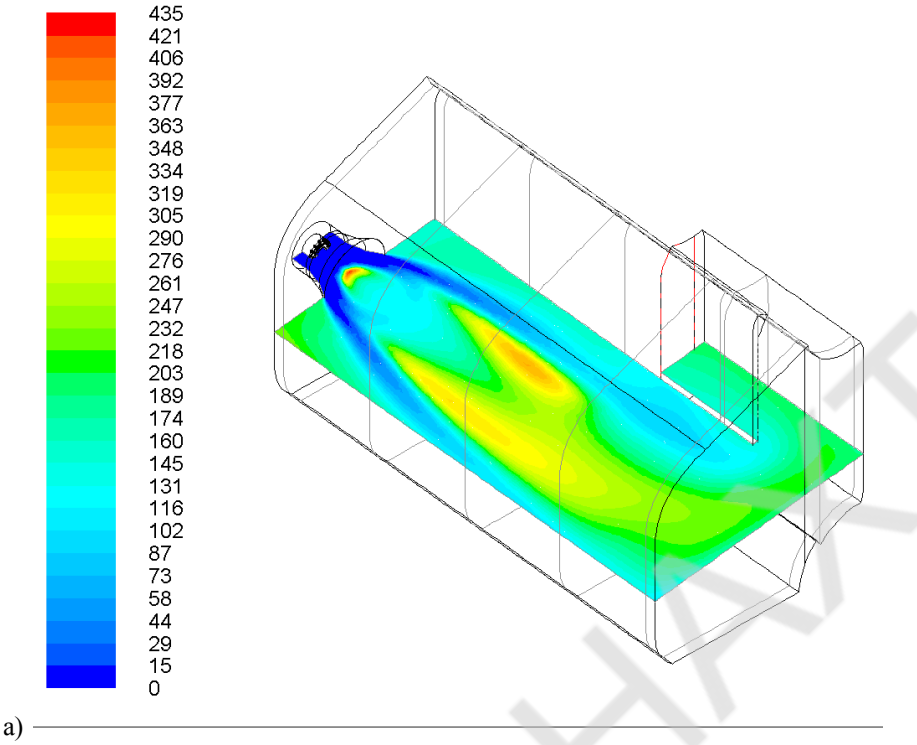


Рис. 1 – Розрахункова модель топки і пальникового пристрою

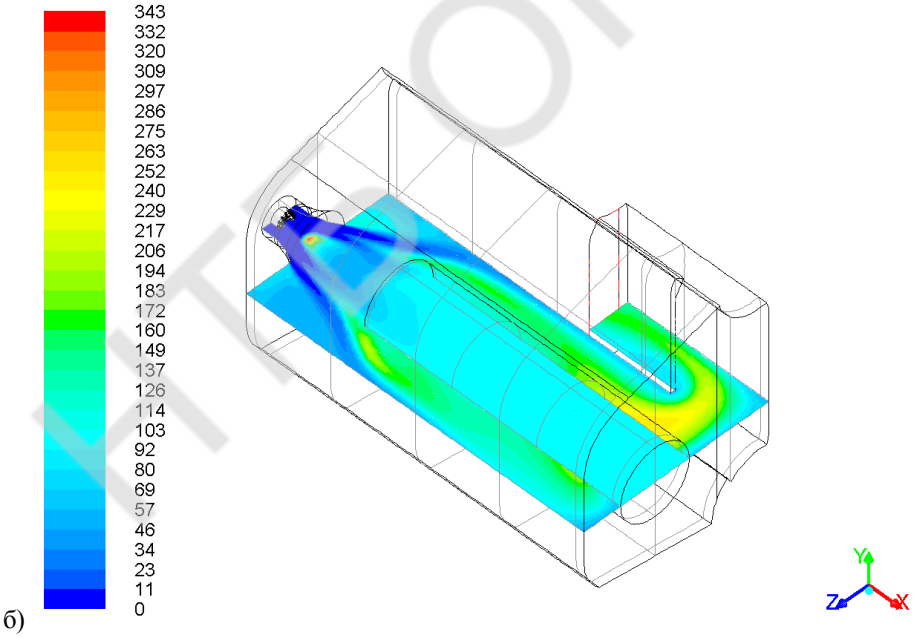
Показано, що використання вторинного випромінювача тупикової жарової труби забезпечує зниження оксидів азоту від 160÷180 до 120÷140 $мг/м^3$.

Відсутність високотемпературних зон горіння, властивих факельному способу спалювання, призводить до зниження кількості утворення оксидів азоту на 20÷ 50%.

Зміна експлуатаційних режимів роботи котла ДКВР від 100% до 15% також призводить до зниження концентрації оксидів азоту.



а)



б)

Рис. 2 – Розподіл концентрації NO_x по довжині топки котла (а - без вторинного випромінювача; б - з вторинним випромінювачем)

НТБОНАХТ

УДК 669.536.422

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ С КОМПОЗИЦИОННЫМИ КАПИЛЛЯРНЫМИ СТРУКТУРАМИ

Шаповал А.А[1,2], канд. техн. наук, доцент, Стрельцова Ю.В[1], магистр, аспирант
1 - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»
2 - Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев

Представлены результаты экспериментальных исследований характеристик низкотемпературных тепловых труб с новыми типами «композиционных» капиллярных структур. Исследования выполнены при различной ориентации ТТ в гравитационном поле. Диапазон подводимой к трубам мощности: 0-70 Вт; охлаждение ТТ - водяное

Технический прогресс в ряде отечественных отраслей техники связан с проблемами создания и конструирования совершенных систем охлаждения и термостатирования приборов и агрегатов с теплонапряженными узлами и поверхностями. Тепловые трубы (ТТ), являющиеся герметичными двухфазными теплопередающими устройствами, способны эффективно подводить и отводить теплоту от теплонагруженных элементов промышленного оборудования, обеспечивая (во многих случаях) нормальные тепловые режимы его функционирования. Параметры и характеристики капиллярных структур (КС) ТТ определяют ряд эксплуатационных характеристик ТТ, в первую очередь – термическое сопротивление теплопроводности $R_{тт}$ [К/Вт]. В настоящее время фирмы-производители ТТ используют различные виды и типы КС. Металлические волоконные КС, созданные в Институте проблем материаловедения НАН Украины, отличаются высокой проницаемостью, большим диапазоном пористости и теплопроводности, хорошими способностями к трансформированию геометрической формы. Проблемы создания эффективных капиллярно-пористых структур, предназначенных, в частности, для тепловых труб, являются важными не только для Украины, но и для других стран, в которых разрабатываются и используются современные приборы, аппараты и оборудование различного назначения.

Основными направлениями исследований, проводимых в ИПМ им. И. Францевича и Университете «КПИ» в области разработок и создания эффективных металлических капиллярно-пористых материалов, двухфазных теплопередающих устройств с такими материалами (в частности, – тепловых труб и термосифонов), являются следующие: 1) исследования параметров и особенностей порового пространства новых типов капиллярных пористых структур, создаваемых на основе металлических волоконных материалов; 2) исследования гидродинамических характеристик капиллярных структур различных типов, в т.ч., композиционных и градиентных капиллярно-пористых структур; 3) исследования тепло-физических характеристик капиллярных структур различных типов, получаемых из металлических волокон и композиционных материалов (на основе смеси волокон и порошков); 4) исследования теплофизических процессов при кипении и парообразовании ряда жидкостей, используемых в качестве теплоносителей в тепловых трубах; 5) исследования теплофизических, технико-эксплуатационных и ресурсных характеристик двухфазных теплопередающих устройств, в частности – тепловых труб, в том числе – космического назначения.

К тематическим исследованиям двухфазных теплофизических процессов на технических поверхностях с присоединёнными к ним капиллярно-пористыми материалами относятся следующие направления: 1) экспериментальное изучение процессов кипения и парообразования воды и органических жидкостей на пористых поверхностях в условиях, типичных для функционирования тепловых труб и термосифонов; 2) исследования влияния характеристик пористых материалов на физические явления в местах контакта упомянутых материалов со сплошными металлическими поверхностями; 3) исследования особенностей теплообмена при конденсации различных жидкостей на поверхностях с пористыми металлическими материалами. Одними из последних разработок капиллярно-пористых материалов и тепловых труб на их основе (предназначенных, в частности, для космических летательных аппаратов) является создание металлических композиционных волокново-порошковых материалов и исследования их физических характеристик.

Как известно [1,2], металлические порошковые материалы (ПМ) при использовании обычных технологий спекания порошков обеспечивают невысокие значения предельно возможной пористости (Θ_{max}

= ~55-56 %). В то же время, используя металлические волокна с относительно малыми значениями диаметров (Θ_{min} = ~5-10 микронов), можно получить намного большие значения максимальной пористости волоконных материалов (Θ_{max} = ~95-96 %), что является важным фактором для характеристик ТТ.

Порошковые металлические пористые материалы отличаются наличием определенного количества «тупиковых» пор (до 8-12 %, например). Наличие тупиковых пор препятствует быстрому протеканию жидкостей-теплоносителей по поровых каналах (отличающихся часто сложной геометрической формой) и ухудшает, соответственно, гидродинамические условия процессов парообразования в порах пористого материала. В то же время порошковые капиллярные структуры лучше «удерживают» рабочие жидкости-теплоносители в условиях, когда зоны теплоподвода к ТТ расположены выше зон теплоотвода. Необходимо отметить, что порошковые металлические материалы обладают, также, и некоторыми положительными свойствами (применительно к практике конструирования ТТ). В частности, способность ПМ препятствовать относительно быстрому прохождению жидкостей через поры КС оказывает положительный эффект в тех случаях эксплуатации ТТ (имеющих место, например, в транспортной аппаратуре), когда зоны (места) нагрева тепловых труб могут (или должны) располагаться выше зон их охлаждения (теплоотвода). Решение технической проблемы создания капиллярных структур целевого назначения осуществлено в ИПМ НАН Украины путём создания ТТ с так называемыми «композиционными» пористыми материалами, представляющими собой гибридные капиллярные структуры, в которых определённым образом сочетаются как волоконные, так и порошковые металлические материалы. Технический симбиоз свойств волоконных и порошковых материалов открывает новые возможности конструирования систем охлаждения аппаратов и устройств различного назначения. Целью настоящей работы стало следующее: 1) создание опытных образцов тепловых труб с композиционными КС; 2) экспериментальные исследования теплофизических характеристик и теплопередающих способностей таких ТТ при их различном расположении в пространстве ; 3) анализ полученных экспериментальных данных; 4) сопоставление результатов исследований с аналогичными результатами, полученными для ТТ с волоконными КС.

Экспериментальные исследования выполнены на установке (стенде) ИПМ, предназначенном для разных испытаний тепловых труб. Общий вид установки представлен ниже.

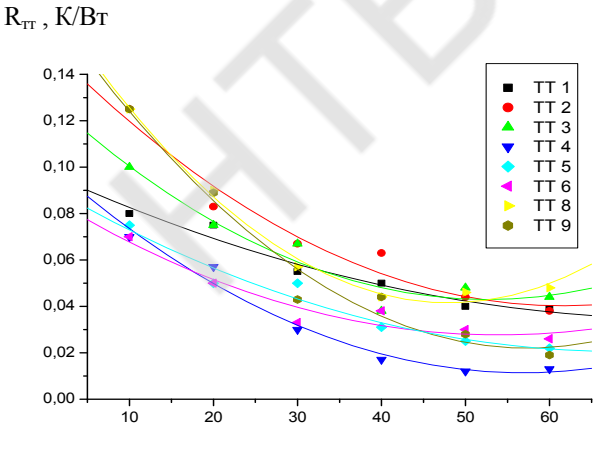


Рис. 2 – Изменение термических сопротивлений опытных тепловых труб с волоконными (ТТ N 9) и композиционными капиллярными структурами (ТТ N 1-8) от величины подводимой мощности при вертикальном расположении ТТ (нагрев ТТ – „снизу”)

В процессе разработки композиционных капиллярных структур созданы и исследованы следующие типы слоистых КС: 1) волоконные КС, состоящие из слоя волокон с диаметром 50 микронов), с толщиной слоя 0,75 мм; также – из слоя волокон с диаметром 30 мкм, с толщиной 0,25 мм; 2) волоконно-порошковые КС – в виде каркасов из волокон с диаметром 50 мкм и толщиной 1 мм, заполненных на глубину 0,25 мм порошком с размером частиц 60 мкм; 3) волоконно-порошковые КС, представляющие собой волоконные

каркасы из волокон с диаметром 30 мкм и толщиной 1 мм, заполненные на глубину 0,25 мм порошком со средним размером частиц (фракций) 40 мкм. Некоторые результаты исследований теплофизических характеристик образцов тепловых труб с волоконными и композиционными КС при их произвольной ориентации в поле массовых сил представлены в виде графических зависимостей изменения температур поверхности транспортной зоны ТТ от величины подводимой к ТТ мощности **Q** (Вт). Также представлены результаты исследований влияния характеристик волоконных и композиционных КС на значения термических сопротивлений теплопроводности $\mathbf{R_{тт}}$ [К/Вт], определяемых путем измерения температуры в контрольных точках на поверхности транспортной зоны каждой исследованной тепловой трубы. Величины термических сопротивлений ТТ определены в виде зависимости $\mathbf{R_{тт}}$ от подводимой мощности, при изменении углов наклона ТТ.

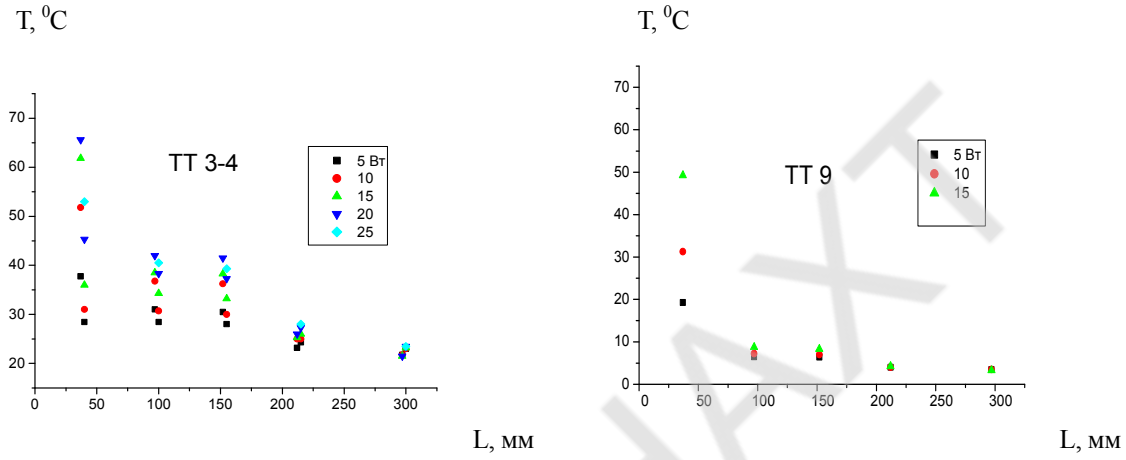


Рис. 3 – Изменение температуры транспортной зоны опытных тепловых труб с композици-онными КС (ТТ N 3-4) и волоконными капиллярными структурами (ТТ N 9) от величины подводимой мощности при вертикальном расположении ТТ (нагрев ТТ – „сверху”)

Выводы

Анализ экспериментальных данных, полученных при исследованиях созданных тепловых труб с новыми типами «композиционных» капиллярных структур, и сравнение характеристик «новых» ТТ с классической волоконной ТТ по передаваемой трубами мощности (**Q** [Вт]), также – анализ величин термического сопротивления теплопроводности ТТ (**R** [К/Вт]), свидетельствует о следующем:
1. Тепловые трубы с композиционными капиллярными структурами обеспечивают лучшие (по сравнению с волоконными КС и, соответственно, ТТ) теплофизические характеристики; особенно при работе ТТ в условиях «нагрев ТТ –сверху».

2. При горизонтальном расположении ТТ и при их вертикальном расположении (подвод теплоты – «снизу») величины термических сопротивлений теплопроводности (**R** [К/Вт]) труб с композиционными КС не превышают значений **R**, типичных для ТТ с волоконными капиллярными структурами. В некоторых диапазонах изменения подводимой к ТТ мощно- сти **Q** значения $\mathbf{R_{тт}}$ для труб с композиционными КС были меньше в 1,5-2 раза, по сравнению с волоконными ТТ.

Литература

1. Ивановский, М.Н. Физические основы тепловых труб / М.Н.Ивановский, В.П.Сорокин, И.В.Ягодкин. – М: Атомиздат, 1978. – 256 с.
2. Косторнов, А.Г. Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов / А.Г. Косторнов – К.: Наукова думка. 2003.,Т.2. – 550 с.
3. Косторнов, А.Г. Теплова труба / А.Г.Косторнов, А.Л.Мороз, А.А.Шаповал, І.В. Шаповал. – К.: Патент України на винахід № 96350. – Бюл. № 20, 25.10.2011.

УДК 637.5

РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗМОРОЖУВАННЯ М'ЯСА В ТУШАХ, ПІВТУШАХ ТА ЧЕТВЕРТИНАХ

Желіба Ю.О.[1], канд. техн. наук, доцент, Желіба Т.О.[2]
[1]Одеська національна академія харчових технологій
[2]Одеський національний політехнічний університет

Розморожування м'яса один із технологічно не чітко визначений та не удосконалений технологічний процес м'ясопереробного виробництва, проте його використання дуже поширене у багатьох виробників, які не мають своєї первинної сировинної бази. Цей технологічний процес визначає енергетичні показники підприємства, якість та втрати маси сировини, тому заслуговує на подальше вивчення та вдосконалення.

Традиційно розморожують заморожене чи приморожене м'ясо, яке відповідає вимогам діючих нормативних документів щодо безпечності й якості та визнане придатним для подальшого використання. М'ясо в тушах, півтушах, четвертинах розморожують на підвісних шляхах у спеціальних для цього технологічних камерах, обладнаних системами технологічного кондиціювання - нагрівання, зволожування та циркуляції повітря, як теплоносія. Камери розморожування м'яса рекомендується розташовувати поза холодним контуром холодильника, як правило, безпосередньо біля приміщень обвалювання та жилування м'яса. Перед завантаженням м'яса в камери розморожування показники температури та відносної вологості повітря в них, як теплоносія, доводять до необхідних запрограмованих значень. Перед завантаженням м'яса в камери розморожування заморожене м'ясо необхідно зважити, відсортувати за видами, категоріями вгодованістю та його подальшим використанням. Завантажування та вивантажування м'яса з камер розморожування краще організовувати за допомогою конвеєрів та вручну на невеликих виробництвах. Відстані між тушами, півтушами, четвертинами на підвісних шляхах мають складати 30–50 мм, що забезпечить проток теплоносія.

Технологічні параметрами камер розморожування повинні вимірюватися в рамках запроектованої системи технологічного контролю, так температура, швидкість руху та відносна вологість повітря (теплоносія) біля стегнових частин (поверхонь) туш, півтуш, четвертин - паспортні характеристики процесу розморожування – в автоматичному режимі, а значення середньомасових температур туш, півтуш чи четвертин на глибині 6 см - протягом процесу, кожні чотири години та наприкінці процесу розморожування в ручному режимі технологом. Відповідні дані вимірювань, результати зважування м'яса перед завантажуванням у камери та після розморожування, причини відхилень від нормованого тепловологісного режиму в камерах необхідно відображати у відповідних технологічних та температурних журналах, а також зберігати (за можливості) в електронному вигляді (комп'ютеризовані засоби ведення технологічної документації). За наявності дистанційного та комп'ютеризованого контролю тепловологісного режиму в камерах розморожування можливо здійснювати вимірювання та аналіз даних вимірювань частіше, ніж через 4 години.

Таблиця 1

Вид м'яса	Тривалість процесу розморожування, годин
Півтуші яловичини, масою до 110 кг	30
Півтуші свинини, масою до 45 кг	24
Туші баранини, масою до 30 кг	15

Результати проведеного авторами математичного прогнозування характеристик тепловологістних процесів під час розморожування м'яса, замороженого в тушах, півтушах, четвертинах, у камерах розморожування підтвердили обґрунтованість традиційних технологічних параметрів повітряного середовища - паспортної температури повітря (20±2) °С, відносній вологості повітря не менше 90 %, швидкості руху повітря від 0,2 м/с (рівень природної конвекції) до 1 м/с (примусова конвекція). Традиційно приймали, що процес розморожування вважається закінченим, коли середньомасова температура туш, півтуш, четвертин, а також в товщі м'язів лопатки досягає (1,0±1,0) °С. Розрахункова та рекомендована тривалість процесу розморожування за швидкості руху нагрівального повітря від 0,2 до 0,5 м/с наведена в таблиці 1, а за швидкості 0,5- 1 м/с в таблиці 2.

Таблиця 2

Вид м’яса	Тривалість процесу розморожування, годин
Півтуші яловичини, масою до 110 кг	24
Півтуші свинини, масою до 45 кг	18
Туші баранини, масою до 30 кг	10

Проте якщо камера розморожування завантажена до 30–50 % і більше півтушами масою, більшою, ніж наведені в таблицях 1, 2, то тривалість процесу розморожування для усієї камери може бути подовжена на 1–3 години (близько 10 % від наведених в таблицях 1, 2). У такому разі слід очікувати, що частина м’яса отеплиться значно більше за вимоги, більшими будуть енерговитрати на процес та можливі наднормативні втрати сировини від усихання та стікання талої води. Це небажаний процес і його необхідно попередити за рахунок якісного сортування м’яса, якщо це можливо, або за рахунок ручного керування процесом розморожування. Рекомендується визначати тривалість розморожування залежно від швидкості руху та температури нагрівального повітря більш точно, за результатами вимірювань середньомасової температури м’яса та використовуючи технологічні програми прогнозування температурних параметрів систем технологічного контролю.

Розморожені туші, півтуші, четвертини, направлені на промислову переробку, повинні зберігатись в камерах розморожування не більше 8 годин. За відсутності примусової конвекції повітря, його температура повинна встановлюватись 4,0±1,0 °С, а відносна вологість не менша 85 %. Ці вимоги стосуються і процесу зберігання розмороженого м’яса на підвісних шляхах камер-накопичувачів відповідних цехів переробки м’яса. У такому разі зберігання розмороженого м’яса може вважаться продовженням процесу розморожування.

Розморожене м’ясо в тушах, півтушах, четвертинах за необхідності допускається помити чистою питною водою, що має температуру не вище ніж 25 °С – для півтуш, четвертин яловичини, конини та туш баранини і не вище ніж 35 °С – для півтуш свинини. Після чого потрібно зачекати не менше 10 хвилин для стікання води і провести зачищення поверхонь туш, півтуш, четвертин від забруднень тощо, та зважити. Результат останнього зважування має бути внесено в журнал, як кінцевий результат процесу розморожування. Вважається, що за чіткого дотримання вимог щодо проведення процесу розморожування маса м’яса не змінюється.

Представлена технологія та відмічені технологічні параметри звісно усереднені та гранично допустимі, сучасне виробництво вимагає індивідуальних диференційованих по технологічним показникам технологічних регламентів, наявності систем технологічного контролю та керування процесом розморожування в режимі реального часу з використанням сучасних систем автоматизації та вимірювальної техніки, алгоритмів та програм прогнозування характеристик, з урахуванням виробничих програм, логістики та ін. У доповіді детально розглядаються основні технологічні вимоги до обладнання індивідуальних систем технологічного контролю камер розморожування для виробничих холодильників м’ясопереробних виробництв, вимоги до систем кондиціювання та їх керування.

Література

1. Оніщенко В.П., Желіба Ю.О., Харченко С.В., Куць О.І., Похалюк В.С., Капканець Ю.М., Попов В.І., Змієвська Т.М. Збірник технологічних інструкцій з холодильного оброблення та зберігання м’яса та м’ясопродуктів. Затв. МАПіП України 18.06.12 р. - с.68.

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Кифоренко В. Є., студентка ф-ту ПЕЕтаНГТ, Кіріяк Г.В., к.х.н., доц..
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Актуальність теми обумовлена тим, що харчування – один з найважливіших факторів зв'язку людини з зовнішнім середовищем. Забезпечення безпеки продовольчої сировини та харчових продуктів – один з основних напрямів, що визначають здоров'я населення та збереження його генофонду.

Проблема полягає у тому, що інтенсивний розвиток сільського господарства та промисловості призвів до збільшення шкідливих для людини викидів в зовнішнє середовище рідких і газоподібних технічних відходів. У даний час в сільському господарстві використовують сотні різних пестицидів хімічного і

біологічного походження. Багато з них потрапляє у продовольчу сировину, а потім і в продукти харчування. Таким чином, домігшись збільшення кількості продовольства, ми сильно програли в його якості.

У організм людини з їжею і напоями надходить до 80% шкідливих речовин. До них належать сполуки, що утворилися в процесі технологічної та кулінарної обробки, харчові добавки, а також побічні забруднювачі. Останні діляться на дві основні групи: екзогенні та ендогенні. До екзогенних належать сполуки, які потрапили в харчові продукти із зовнішнього середовища. Наприклад, у рослинну продукцію – внаслідок застосування понаднормативних доз мінеральних добрив, пестицидів; у тваринницьку – стимуляторів росту тварин, антибіотиків. До цієї ж групи належать екстракти тари, технологічного обладнання, рештки дезінфікуючих або мийних засобів, промислових відходів тощо. При зберіганні сировини, технологічній її обробці утворюються багато шкідливих сполук. Під час виробництва харчових продуктів використовують різні консерванти, барвники, підсолоджувачі, що не завжди корисні для людини. А при приєднанні до них забруднювачів харчових продуктів – загроза для здоров'я людини збільшується.

Чужорідні забруднювачі, які потрапляють у людський організм з продуктами харчування високотоксичні. До них відносять: металеві забруднення (ртуть, свинець, олово, цинк, мідь тощо); радіонукліди; пестициди; нітрати, нітрити; діоксини; метаболіти мікроорганізмів, які розвиваються у харчових продуктах.

Погіршення якості тваринницької та рослинної сировини за екологічних причин змінює технологічні характеристики сировини для переробних галузей. Внаслідок цього різко знижується вихід готової продукції, збільшуються відходи сировини, зменшується термін зберігання. Так, за останні роки знизилась цукристість цукрових буряків, олійність соняшнику, вміст білка та жиру в молоці, вміст сухих речовин в овочах. Крім того, в результаті впливу забруднювачів, що змінюють генетику, дерева багаті на плоди й овочеві культури починають продукувати плоди і бульби неправильної форми, які не підлягають механізованій мийці та очищенню. До 50% виробленої картоплі не відповідає стандарту. Також, через високий вміст шкідливих речовин, що потрапили в молоко з навколишнього середовища, від 20 до 50% сировини не придатно для виробництва продуктів дитячого харчування. Говорячи про безпеку продуктів харчування, необхідно в першу чергу ставити питання про екологічно чисту сировину для їх виробництва.

Все це свідчить про високий рівень забруднення продуктів харчування токсичними хімічними сполуками, біологічними агентами та мікроорганізмами, що пов'язано головним чином з техногенним забрудненням навколишнього середовища, з низькою агротехнічною культурою і порушенням агрохімічних технологій. Харчові продукти мають здатність акумулювати з навколишнього середовища всі екологічно шкідливі речовини і концентрують їх у великих кількостях. Забруднення, що потрапляють із навколишнього середовища, мають різну хімічну структуру. За фізичними властивостями – це стабільні та стійкі у навколишньому середовищі сполуки, які мають здатність до біокумуляції.

До основних принципів охорони навколишнього середовища та харчових продуктів від чужорідних хімічних речовин відносяться:

1. гігієнічне нормування вмісту хімічних речовин в об'єктах навколишнього середовища (повітрі, воді, ґрунті, харчових продуктах) та розробка на їх основі санітарного законодавства (санітарні правила та ін);

2. розробка нових технологій у різних галузях промисловості і сільського господарства, які б мінімально забруднювали навколишнє середовище (заміна особливо небезпечних хімічних речовин менш токсичними і нестабільними в навколишньому середовищі; герметизація і автоматизація виробничих процесів; перехід на безвідходні виробництва, замкнуті цикли тощо);

3. впровадження на підприємствах ефективних санітарно-технічних пристроїв для зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу, знешкодження стічних вод, твердих відходів та ін.;

4. здійснення державного санітарно-епідеміологічного нагляду за об'єктами, де може статися забруднення харчової сировини та продуктів харчування ЧХВ (підприємства харчової промисловості, сільськогосподарські підприємства, продовольчі склади, підприємства громадського харчування та ін.)

Література

1. Берзіна, С. В. Екологічні аспекти виробництва та екологічна сертифікація продуктів харчування / С. В. Берзіна // Бібліотека Всеукраїнської екологічної ліги. – 2011. - № 9: Серія "Стан навколишнього середовища". - С. 6-10
2. Методи контролю продукції тваринництва та рослинних жирів: навч. посіб. / Олександр Черевко [та ін.]; за заг. ред. Л. М. Крайнюк. - 2-ге вид., перероб. і доп. - Суми : Університетська книга, 2009. - 299 с. : табл. - Бібліогр.: с. 297-299
3. Архіпова, Г. І. Особливості екологічних вимог до сировини для продуктів дитячого харчування / Г. І. Архіпова // Екологічний вісник. - 2010. - № 6. - С. 29-30. - Бібліогр. в кінці ст.

4. Берзіна, С. В. Екологічні аспекти виробництва та екологічна сертифікація продуктів харчування / С. В. Берзіна // Бібліотека Всеукраїнської екологічної ліги. - 2011. - № 9: Серія "Стан навколишнього середовища". - С. 6-10

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ВИРОБНИЦТВА

Коваль В.Г., магістр, ф-ту ПЕЕтаНГТ
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Прогнозування є важливою складовою системи управління та регулювання раціонального природокористування та охорони довкілля. Серед інших важелів воно вирізняється насамперед роллю попереджувача негативних наслідків від забруднення навколишнього середовища. Превентивні заходи набагато ефективніші, ніж ліквідація негативних наслідків. В останні роки механізм прогнозування в Україні, в умовах переходу до ринкової економіки, зазнав численних змін, однак його значення для збереження якості середовища проживання в межах окремих районів зростає. Особливо велика роль довгострокових еколого-економічних розробок змін навколишнього середовища під впливом господарської діяльності, оскільки такі розробки дають можливість узгодити антропогенне навантаження з природно-ресурсним потенціалом регіону. До основних видів наукових прогнозних розробок належать: розділи з охорони природи Комплексного прогнозу науково-технічного прогресу та його соціально-економічних наслідків на тривалу перспективу (на 20 років), схем-прогнозів розвитку й розміщення продуктивних сил України та її адміністративних одиниць, державні програми охорони довкілля і раціонального використання природних ресурсів.

У плануванні розвитку території важливим є комплексна оцінка впливу господарської діяльності на навколишнє середовище. В таку оцінку доцільно включати мету й необхідність майбутньої господарської діяльності, способи її здійснення, реальні альтернативи, характер і ступінь впливу на довкілля, в тому числі й аварійних ситуацій, можливості зменшення шкідливого впливу на компоненти природи. З огляду на це у практиці прогнозування передбачається розроблення територіальних комплексних схем раціонального використання природних ресурсів та охорони навколишнього середовища (ТЕРКСОП). Вони мають містити обґрунтування комплексних заходів з охорони природи, мета яких — запобігати забрудненню довкілля регіонів. ТЕРКСОПи розробляються по окремих містах і великих промислових об’єктах, які мають важливе господарське значення.

ТЕРКСОПи дають змогу перейти на проектній стадії до детального розроблення першочергових заходів, спрямованих на охорону здоров’я населення і покращання середовища його проживання, зменшення збитків від утрат основних та оборотних фондів, скорочення втрат від стихійних процесів. Важливими особливостями ТЕРКСОПів є те, що: 1) вони оцінюють стійкість природно-ресурсного потенціалу та його окремих компонентів; 2) об’єднують у єдиному комплексі природні та господарські критерії взаємодії, доповнюючи їх специфічними регіональними критеріями, що дає можливість найбільш збалансовано використати природно-ресурсний потенціал регіонів; 3) регіональна диференціація природних і господарських факторів дозволяє виробити конкретніші критерії якості довкілля, а також доповнити вимоги конкретної території до вдосконалення процесу управління природокористування; 4) схеми репрезентують науково обґрунтовані довгострокові програми заходів із раціонального використання та охорони довкілля з урахуванням її регіональних особливостей. ТЕРКСОПи розробляються в кілька етапів.

І етап — визначення цілей та формулювання завдань територіальної комплексної схеми. Вони формулюються залежно від екологічної ситуації, що склалась у регіоні.

ІІ етап — економічна оцінка природно-ресурсного потенціалу регіону; надання інформації для попереднього аналізу розміщення господарських об’єктів з урахуванням особливостей їх впливу на довкілля.

ІІІ етап — аналіз у єдиному комплексі відповідності антропогенного навантаження природно-ресурсному потенціалові регіону за ретроспективний, існуючий та плановий періоди, як щодо рівня навантаження, так і з урахуванням його специфіки. Відмінною рисою етапу є одночасне врахування техногенного впливу та завданих ним збитків природним компонентам виробничо-територіальних систем і природних комплексів, а також урахування всіх видів збитків і прогнозування втрат на його запобігання або

компенсацію. Крім того, розробляється прогноз змін довкілля за альтернативних антропогенних впливів на природно-ресурсний потенціал регіону.

IV етап — характеристика проблемних ситуацій, які виникли внаслідок взаємодії між природними та господарськими об'єктами, рангування проблемних ситуацій з тим, щоби вирізнити пріоритетні (головні), техніко-економічні обґрунтування альтернативних варіантів їх вирішення.

V етап — розроблення комплексу конкретних заходів з удосконалення механізму управління процесом раціоналізації природокористування та охорони довкілля в кожному конкретному регіоні.

Радикальна перебудова в системі прогнозування раціонального природокористування та охорони довкілля означає поворот до екологізації проектування, будівництва та експлуатації природно-господарських систем, до всебічного врахування природних, економічних і соціальних факторів, які тісно взаємодіють між собою.

Врахування екологічного фактора у плануванні значно розширює та збагачує поняття ефективності виробництва, яку слід оцінювати з певним урахуванням усіх змін, що відбуваються під його впливом у навколишньому середовищі.

УДК 621.573

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ КАМЕРАХ

Лисица А. Ю., канд. техн. наук, Петухов И. И. канд. техн. наук, доцент,
Михайленко Т. П. канд. техн. наук, доцент, Немченко Д. А.
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков

Аннотация. Представлены результаты численного и экспериментального исследования распределения потока воздуха в промышленной холодильной камере с разными вариантами ее геометрии. Результаты расчетов сравнены с экспериментальными данными. Приведена информация по практическому внедрению результатов исследования.

Ключевые слова: *потокораспределение, промышленная холодильная камера, численное и экспериментальное исследование.*

Annotation. The results of numerical and experimental researches of flow distribution air in industrial refrigerators compartment for different geometry were presented. Numeral and experimental research were compared. Practical introduction research results data were presented.

Keywords: *flow distribution, industrial refrigerators compartment, numeral and experimental researches.*

Эффективность работы промышленных холодильных камер определяется множеством факторов. Важнейшими из них являются скорость и температура потока воздуха, которые и обеспечивают процесс замораживания сырья. В общем случае, для улучшения условий охлаждения скорость следует увеличивать, а температуру снижать, однако их одновременное изменение с целью уменьшения продолжительности замораживания связано с увеличением как эксплуатационных, так и капитальных затрат из-за уменьшения холодильного коэффициента и увеличения напорности вентиляторов. Поэтому оптимизация затрат возможна только при рациональном сочетании скорости и температуры потока.

Решение этой задачи требует достоверных данных о распределении потока в камере, которое зависит не только от её геометрии, но и от способа расположения и конструкции стеллажей с лотками, величины зазора между ними, степени заполнения объёма камеры и т.п. При этом важно, чтобы на участке камеры замораживания с самым низким теплосъемом выдерживались минимально-требуемые для качественной заморозки продукта параметры потока.

Результаты детальных расчётов поля скоростей в камере позволили определить положение и протяжённость застойных зон, выявить влияние возможных конструктивных доработок на эффективность циркуляции воздуха. Была сформирована база для рационального выбора холодильного оборудования для конкретно заданных условий. Объектом исследования являлась низкотемпературная стационарная промышленная холодильная камера размерами 8 х 3,3 х 2,2 метра с одним и тремя рядами стеллажей с лотками высотой 1,1 м, а так же разной компоновкой воздухоотбойников внутри.

В ходе работы были выполнены расчеты для одиннадцати вариантов холодильных камер. Кроме того, исследовано влияние структуры потока на выходе из вентилятора и проницаемости поддона, на который

устанавливается стеллаж. Наряду с теоретически обоснованным профилем закрученного потока рассмотрен плоскопараллельный однородный поток на выходе вентилятора.

Скорости на входе и выходе из воздухоохладителя определялись через заданный расход и площадь входа воздухоохладителя. Скорость на входе составила 2,2 м/с. Скорость на выходе имеет как осевую, так и тангенциальную составляющую и определялась теоретическим путем. Для вентилятора рассматриваемого воздухоохладителя осевая составляющая менялась от 4,88 м/с на внутреннем радиусе до 13,72 м/с на периферийном.

Расчеты проводились при помощи CFD-моделирования. Результаты численного моделирования сравнивались с экспериментальными данными, полученными при исследовании потокораспределения в аналогичной (пустой) холодильной камере. Анализ показал, что наиболее приемлемой для данной задачи оказалась k-e модель турбулентности. Последняя и была взята за основу. Расчеты проводились для всего объема камеры с переменным шагом расчетной сетки. Сравнение проводилось в сечениях по оси вентилятора, центру камеры, середине зазора между предпоследним и последним рядами стеллажей, по центру крайнего ряда.

Поле скорости в центральном сечении камеры с тремя рядами стеллажей и продуваемым поддоном представлены на рис. 1, векторы скорости для камеры с одним рядом стеллажей на рис. 2.

Рис. 1 – Поле скорости в центральном сечении холодильной камеры с тремя рядами стеллажей и продуваемым поддоном

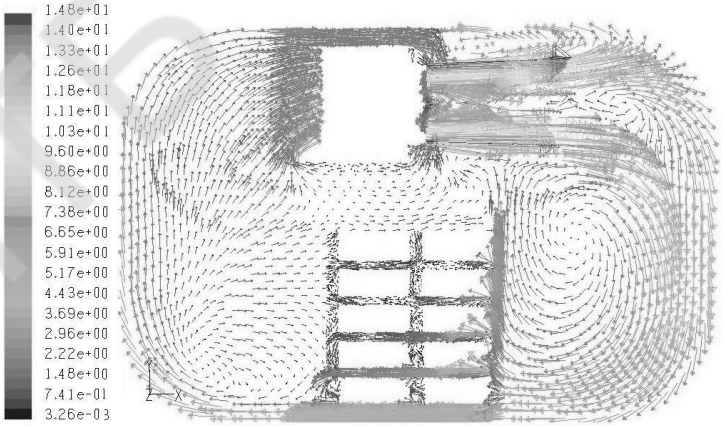


Рис. 2 – Векторы скорости в центральном сечении холодильной камеры с одним рядом стеллажей и продуваемым поддоном

Анализ полей и векторов скорости различных вариантов холодильной камеры позволил сделать выводы об эффективности той или иной геометрии холодильной камеры. Так, наиболее благоприятные условия по скорости потока реализуются для лотков, расположенных на периферии стеллажа, наименьшие значения скорости наблюдается между лотками, расположенными в центре стеллажа, особенно в верхней его части. Скорость потока между лотками в основном находится в пределах от 0,2 до 1,8 м/с. Было показано, что обтекание лотков сильно неравномерное. Это обуславливается наличием вихревых зон и эффектом «запирания потока».

Оценивая эффективность применения воздухоотбойников в различных частях камеры, было показано, что применение воздухоотбойников, расположенных в нижней части камеры и перед вентилятором, практически не влияет на скорость движения воздуха между лотками и оказывает лишь незначительное воздействие на поле скорости в верхней части камеры. Наличие отбойника за вентилятором (на рис.1 и 2 вверху и справа) уменьшает вихревую область и в большинстве сечений увеличивает скорость между лотками на 0,1-0,4 м/с.

Для всех рассматриваемых вариантов компоновки холодильной камеры наблюдалась существенная неоднородность скорости по высоте. Причём, чем выше расположены лотки, тем меньше скорость между ними. Например, для крайних стеллажей для варианта со всеми воздухоотбойниками скорость изменяется от 1,6 м/с в нижней части до 0,8 м/с в верхней части. Наличие и расположение вихревых зон определяется в первую очередь геометрией камеры. Характерными местами являются область под воздухоохладителем и перед лотками.

Выводы

Проведено численное и экспериментальное исследование потокораспределения в промышленной холодильной камере с разными вариантами ее геометрии. На основании полученных результатов были подготовлены рекомендации по конструктивной доработке данной и подобных промышленных холодильных камер.

УДК 536.242

РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЛЬОДОАКАМУЛЯТОРІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ТА ПЛАВЛЕННЯ ЛЬОДУ

Пилипенко О.Ю., Засядько Я.І., Форсюк А.В., Грищенко Р.В.
Національний університет харчових технологій, м. Київ

Наведені у сучасній літературі методики розрахунку та підбору акумуляторів холоду різного типу базуються виключно на балансових співвідношеннях. Тобто, визначальними параметрами є: необхідна кількість акумульованого тепла і час витрачений на процес накопичення холоду. Додатково для знаходження площі теплообміну, на якій буде відбуватися накопичення льоду, задаються певною товщиною льоду. Не враховуються енерговитрати на зниження температури кипіння при збільшенні шару льоду та доцільність намороження саме паспортної товщини, оскільки є ймовірність що накопичений затовстий шар льоду не встигне розтанути в період пікових теплових навантажень.

Виходячи з зазначеного, видається доцільним розробити методику розрахунку та підбору акумуляторів холоду з накопиченням шару льоду на теплообмінній поверхні, яка б враховувала динаміку кристалізації за сталої температури кипіння холодоагенту або температури проміжного теплоносія та швидкість танення накопиченого шару льоду.

В [1] пропонується розраховувати зміну товщини льоду в часі за співвідношенням:

$$\frac{dx}{d\tau}=\frac{\left\{\dfrac{\theta_0-t_0}{\dfrac{1}{2\cdot\lambda_л}\cdot ln\dfrac{d_{зов}+2\cdot x}{d_{зов}}+\dfrac{1}{2\cdot\lambda_м}\cdot ln\dfrac{d_{зов}}{d_{вн}}+\dfrac{1}{\alpha_0\cdot d_{вн}}}-\alpha_w\cdot\left(d_{зов}+2\cdot x\right)\cdot\left[\left(t_w-\theta_0\right)+\dfrac{\omega^2\cdot\left(2+\dfrac{1}{Pr_w}\right)}{3\cdot C_{p,w}}\right]\right\}}{\rho\cdot\left(d_{зов}+2\cdot x\right)} \quad (1).$$

Оскільки наведене співвідношення не враховує зміну теплового потоку до холодильного агенту що випаровуєтья, в [1] пропонується використовувати корегіюючі коефіцієнти. Також запропоновано методику розрахунку швидкості льодоутворення на теплообмінній поверхні за безпосереднього охолодження і з охолодженням проміжним теплоносієм.

В [2] розглянуто частковий випадок процесу кристалізації льоду на горизонтальній теплообмінній трубі з проміжним охолодженням та початковою температурою води близькою до 0 ºС. Співвідношення (1) з високою точністю описує дослідні дані представлені в [2].

Оскільки (1) описує тепловий баланс процесу кристалізації водного льоду, то його можливо використовувати і для визначення динаміки танення.

На основі матеріалів, наведених в [1], розроблено методику розрахунку та вибору льодоакамуляторів із врахуванням динаміки накопичення льоду за сталої температури охолодного середовища, вартості електроенергії у різних зонах тарифікації та динаміки плавлення накопиченого шару льоду.

Методика включає в себе: визначення необхідної кількості закумульованого холоду (за стандартними розрахунками), побудову та аналіз добових графіків споживання холоду та електроенергії, вибір режимних параметрів процесу та конструктивних особливостей акумуляторів, розрахунок динаміки накопичення льоду з визначенням максимальної її товщини, визначення швидкості плавлення накопиченого шару льоду, розрахунок конструктивних розмірів та вибір моделі льодоакумуляторів.

Висновки

Розроблена методика розрахунку та підбору льодоакумуляторів дає змогу оптимізувати витрати на оплату спожитої електроенергії холодильною установкою на діючому виробництві та обрати оптимальний акумулятор холоду при проектуванні нового підприємства, що заощадить кошти на придбання обладнання.

Література

1. Пилипенко, О. Ю. Динаміка кристалізації льоду на вертикальних охолоджувальних трубах в елементах акумуляторів теплової енергії систем охолодження та кондиціювання повітря [Текст] : автореф. дис. … к-та тех. наук : 26.058.05 / О. Ю. Пилипенко; [НУХТ]. – Київ, 2012. – 25 с.
2. Fertelli, A. Air-conditioning System with Ice Thermal Storage [Текст] : dissert. ... Doctor of Philosophy Mechanical Engineering / Ahmet Fertelli. – Adana, 2008. – 191 p.

УДК 641.539:664

ВИМОГИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО АПАРАТА ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ МОЛОКА

Постнов Г.М., канд.. техн. наук, проф., Червоний В.М., канд. техн.. наук, доц..
Шипко Г.М., магістрант
Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків

Було запропоновано використання ультразвукової обробки для ефективного проведення процесу відновлення сухого молока, проведено дослідження щодо вивчення впливу ультразвукової обробки на ефективність процесу. За результати досліджень сформульовані основні технологічні, експлуатаційні та екологічні вимоги для ефективного проведення процесу відновлення сухого молока, а також запропоновано принципову схему для апаратурного оформлення відповідного процесу.

Ключові слова: *ультразвук, сухе молоко, відновлення, модель, вимоги*

У технології виробництва відновлених продуктів переробки молока найбільш значущим чинником, що обумовлює ступінь переходу компонентів і визначальним повноцінність виробляється продукту, є процес відновлення.

Етап відновлення при виробленні відновленої молочної продукції є визначальним, тому що дотримання умов його здійснення є основним фактором забезпечення максимального переходу компонентів сухого молока в відновлений продукт переробки молока і формування однорідного складу молочного продукту з властивостями, наближеними до властивостей натурального молока. З урахуванням обсягів переробки сухого молока в Україні актуальним є питання підвищення ефективності процесу відновлення, який представляє собою гетерогенну хімічну реакцію, що протікає між твердою речовиною і рідиною і супроводжується переходом речовини в розчин.

Сутність процесу розчинення полягає у взаємодії сухих молочних продуктів з водою і включає кілька етапів: розчинення лактози і мінеральних речовин, розподіл білка і жиру в розчині, гідратація дисперсної фази, виділення з продукту надлишкового повітря [1]. Інтенсивність процесу і його ефективність, звичайно ж, визначається властивостями обох компонентів. Воду в зазначеній системі поділяють на ту, що розчиняє

(в якій йде процес розчинення окремих компонентів), і на ту, що не розчиняє (вода, яка за рахунок молекулярно-поверхневих сил збирається на поверхні тих чи інших компонентів (жиру, білка тощо).

На основі відновленого молока-сировини виробляються молочні продукти за стандартною схемою: підготовка і складання суміші, нормалізація, гомогенізація, пастеризація, охолодження, розлив, доохолодження і зберігання. При відновленні проводять розрахунки щодо компонентного складу відповідно до вироблюваної молочною продукцією.

Використання ультразвукових інноваційних підходів в технології відновлення дозволить забезпечити коригування недоліків сухого молока з низькими показниками якості, а, отже, і сприятиме отриманню відновленого молочного продукту з високими споживчими властивостями.

На кафедрі устаткування харчової і готельної індустрії проводять дослідження з вивчення впливу ультразвукових хвиль на ефективність процесу відновлення сухого молока. Універсальність і високу швидкість процесу ультразвукової обробки можна пояснити тим, що при накладанні ультразвукових коливань порушується прикордонний шар часток середовища, що збільшує активну поверхню речовини.

Для розробки проекту апарату для ультразвукової обробки молока необхідно сформулювати вимоги, щодо його характеристик. Процес відновлення сухого молока ефективно проводиться за умов питомої потужності ультразвукової обробки 15 Вт/дм^3 [2]. Продуктивність ультразвукової установки повинна відповідати вимогам, що висуває сучасний розвиток господарства. Тому, для проведення процесу відновлення сухого молока потрібно досягти продуктивності 100 дм^3/год.

Загальні вимоги безпеки при експлуатації ультразвукового пристрою повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ 12.2.124-90 і «Правилам устрою та безпеки експлуатації посудин, що працюють під тиском ПБ-10-115-96». В установці повинні бути присутніми справні вентилі, що відключають подачу в установку води та сировини. Вони повинні забезпечувати можливість швидкого та надійного перекриття трубопроводу. Пристрій, зміст і експлуатація трубопроводу по гарячій воді повинні відповідати вимогам «Правил устрою та безпечної експлуатації трубопроводів пари і гарячої води». Пускова апаратура повинна бути надійно заземлена. Стан заземлення при експлуатації підлягає систематичній перевірці.

Виходячи з того, що в ультразвуковій установці планується використання магнітострикційних випромінювачів, необхідно перед включенням установки забезпечити пуск води для охолодження випромінювачів. У пускової кнопки установки повинна бути табличка з написом, що нагадує про необхідність включення подачі води. При проектуванні установки необхідно врахувати максимальну можливість її розбирання для проведення санітарної обробки або розробити конструкцію, що зможе забезпечити можливість її ефективної безрозбірної мийки.

За умови, що в установці будуть протікати теплові процеси з метою зменшення енерговитрат необхідно в якості термоізоляції застосувати високоефективний екологічно чистий малогорючий матеріал, захищений спеціальною обшивкою.

Лабораторні дослідження базувалась на використанні ультразвукового диспергатора УЗДН-2Т за частоти обробки 22 кГц та кількості суміші, що обробляється, 0,6 дм^3. З метою інтенсифікації процесу відновлення сухого молока та збільшення продуктивності пристрою необхідно досягти умови, за якої в оброблювальну камеру під впливом тиску буде подаватися суміш і через 145… 160 с буде надходити нова порція суміші.

Грунтуючись з розподілу акустичного поля ультразвукових коливань у рідині з розвинутою кавітацією необхідно досягти, щоб діаметр випромінювальної поверхні робочого інструмента повинен мати діаметр 1…3 см, а поздовжній розмір робочого об'єму акустичного апарата не повинен перевищувати 10...20 см.

Оскільки робочий інструмент ультразвукової коливальної системи виконується звичайно у вигляді диска необхідного діаметра та має дві протилежні випромінюючі поверхні (тобто одночасно випромінює ультразвукові коливання убік дна робочого об'єму та поверхні рідини в об'ємі) оптимальним буде занурення робочого інструмента в оброблюване середовище на глибину, близьку до половини поздовжнього розміру робочого об'єму.

Основними факторами для вибору параметрів при розробці ультразвукового апарата є: інтенсивність і частота коливань; час озвучування, продуктивність апарата, температура, тиск і інші умови проведення процесу в ультразвуковому полі. На основі цих даних було запропоновано принциповий устрій ультразвукового апарата для відновлення молока. Він складається з ультразвукового перетворювача з випромінювачем, зовнішнього елементу, внутрішнього елементу, ущільнювача, патрубків введення сировини та виведення відновленого молока, кришки. В середину зовнішнього елемента встановлено з зазором 0,5…2 мм внутрішній елемент, внаслідок чого утворюється камера ультразвукової обробки. Розмір зазору змінюється при використанні внутрішніх елементів різного діаметра. Регулювання зазору дозволяє обробляти різноманітну сировину з підвищеною в'язкістю. Виготовлені зовнішній та внутрішній елементи з матеріалів, що мають високі відбивні властивості ультразвукових коливань. Ультразвуковий перетворювач

з випромінювачем введено через отвір в основі зовнішнього елемента безпосередньо в камеру ультразвукової обробки.

Для кріплення ультразвукового перетворювач з випромінювачем до зовнішньої камери використовують гвинти, герметичність досягається використанням ущільнювачів. На внутрішніх стінах зовнішнього елемента для інтенсифікації процесу відновлення сухого молока знаходиться гвинтоподібний канал. Кришка кріпиться з допомогою болтів через отвори з елементами. Для герметизації використовують ущільнювачі.

Устаткування працює наступним чином. Вмикається ультразвуковий перетворювач з випромінювачем. Через патрубок введення підготовлена сировина потрапляє в камеру ультразвукової обробки. За рахунок виконання зовнішнього та внутрішнього елементів з матеріалів, що мають високі показники відбивання ультразвуку, проходить інтенсивний процес відновлення сухого молока. В процесі відновлення сировина наповнює камеру та поступає в міжстінний простір елементів. Потік сировини розподіляється на потоки, один з яких продовжує рух в гвинтоподібному каналі, а другий – вздовж бічної поверхні внутрішнього елемента. Внаслідок того, що вектори швидкостей потоків направлені під кутом 90° відбувається турбулізація загального потоку, що підвищує якість отримуваного відновленого молока та інтенсифікує процес відновлення. Відновлене молоко через патрубок виведення потрапляє в ємність для збору продукту.

Висновки

За результати досліджень сформульовані основні технологічні, експлуатаційні та екологічні вимоги для ефективного проведення процесу відновлення сухого молока, а також запропоновано принципову схему для апаратурного оформлення відповідного процесу.

Література

1. Перцевий В.Ф. та ін. Промислові технології переробки м’яса, молока та риби : підручник. – К. : ІНКОС, 2014. – 340 с.
2. Дейниченко Г.В. Отримання водно-жирових емульсій за допомогою ультразвуку / Г.В. Дейниченко, Г.М. Постнов, М.А. Чеканов, В.М. Червоний та ін.. – Х.: Факт, 2013. – 192 с.

УДК 628.81

ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯМ БУДІВЛІ

Басок Б.І., д-р техн. наук, професор, Давиденко Б.В., д-р техн. наук, старший науковий співробітник, Лисенко О.М., канд. техн. наук
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

В статті показано результати дослідження ефективного управління теплоспоживанням адміністративної будівлі при використанні індивідуального теплового пункту. Встановлено, що при використанні оптимального управління в реальних кліматичних умовах можна досягнути до 15 % економії споживання теплової енергії у порівнянні з традиційною нерегульованою системою з елеваторним вузлом.

Ключові слова: *управління, теплоспоживання, індивідуальний тепловий пункт, енергозбереження.*

The article shows the results of the study of effective manage heat consumption of administrative building using individual heat point. Found that when using optimal control under real environmental conditions can reach up to 15% savings of heat consumption compared to the traditional unregulated system with elevator node.

Key words*: management, heat consumption, individual heat point, energy saving.*

На сьогодні, в Україні ще гостро стоять проблеми щодо значних витрат і втрат теплоти. Навіть мінімальне зменшення витрат теплоти за рахунок її ефективного використання дає можливість суттєвої економії енергетичних ресурсів, що в свою чергу впливає на зменшення забруднення довкілля продуктами згорання. Одним із рішенням даної проблеми, особливо в житлово-комунальному господарстві, є впровадження індивідуальних теплових пунктів, за допомогою яких можливе ефективне управління теплоспоживанням будівлі в залежності від кліматичних умов саме там, де розташована дана будівля.

В Інституті технічної теплофізики (ІТТФ) НАН України була розроблена та впроваджена схема експериментального індивідуального теплового пункту (ІТП), що приєднується до системи теплопостачання за залежною гідравлічною схемою [1]. Дана схема ІТП забезпечує автоматизоване управління теплоспоживанням одного з корпусів Інституту (а саме корпусу №1) розташованого по вул..

Булаховського, 2 у м. Києві. Особливість конструкції полягає в поєднанні в одному ІТП трьох теплолічильників, триходового (двоходового) клапана, гідравлічної стрілки зі зворотним клапаном, гідравлічної перетинки для вузла змішування, що дозволяє реалізувати різноманітні варіанти побудови гідравлічної схеми ІТП і режими його експлуатації. Всього їх існує шість (можливість переходу з однієї схеми на іншу здійснюється за допомогою переключення ручної арматури), а саме: режим № 1 – температурний режим регулюється за допомогою триходового клапану, який працює в режимі двоходового клапану, насос ввімкнено в подавальній магістралі опалювального контуру, який здійснює подачу теплоносія з гідравлічної стрілки з підмішуванням його із зворотного трубопроводу; режим № 2 – триходовий клапан виконує функцію підмішування в залежності від погодних умов, насос розташований в подавальному трубопроводі; режим № 3 – температурний режим регулюється за допомогою триходового клапану, який працює в режимі двоходового клапану, насос розташований в зворотному трубопроводі і здійснює підмішування зворотного теплоносія за допомогою гідравлічної стрілки; режим № 4– триходовий клапан виконує функцію підмішування в залежності від погодних умов, насос розташований в зворотному трубопроводі; режим № 5 – регулювання подачі теплоносія з тепломережі здійснюється триходовим клапаном, який працює в режимі двоходового, насос розташований в перемичці і здійснює підмішування теплоносія із зворотного трубопроводу в подавальний; режим № 6 – триходовий клапан працює в режимі двоходового і здійснює подачу зворотного теплоносія в залежності від температурного графіку, підмішування зворотного теплоносія відбувається через перетинку, за допомогою насосу, що знаходиться в подавальному трубопроводі. Для кожного режиму роботи ІТП були проведені експериментальні дослідження в реальному часі в реальних кліматичних умовах. За допомогою впровадженого вимірювального комплексу визначалися і фіксувалися в автоматичному режимі всі основні параметри теплоспоживання (температура теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах, температура повітря в контрольному приміщенні та навколишнього середовища, витрати теплоносія та теплової енергії в подавальному та зворотному трубопроводах, а також тиск у різних точках трубопроводів). Регулювання параметрів теплоносія в ІТП здійснювалося за заданим оптимальним алгоритмом теплоспоживання, а саме за температурою зовнішнього повітря та за добово-тижневим графіком регулювання, при якому в будні дні з 5:00 год. до 16:00 год. (в понеділок з 3:00 год.) – за денним графіком, а з 16:00 год. до 5:00 год. (в п'ятницю з 15:00 год.), а також у вихідні дні – за нічним графіком регулювання. Для нічного графіку задавалася температура позитивного зміщення зовнішнього повітря $t_{зм}$ в інтервалі від 3°С до 9 °С.

Розглянемо та детально опишемо отримані залежності експериментального дослідження ІТП на прикладі режиму № 3, що був відпрацьований у лютому місяці 2013 року (рис. 1-2). Для даного режиму температура зміщення зовнішнього повітря для нічного графіку регулювання задавалась $t_{зм.}$ = +3,0 °С. На рис. 1 показані графічні залежності температури теплоносія та зовнішнього повітря (шкала ліворуч) і температури повітря в приміщенні (шкала праворуч) за 7 діб. Дата на графіках в рамці по осі абсцис відповідає вихідним дням. В залежності від температури зовнішнього повітря (крива 4 рис. 1) відбувається регулювання температури теплоносія, який подається в систему опалення (крива 2 рис. 1), за допомогою регулятора температури, шляхом підмішування теплоносія із зворотного трубопроводу (крива 3 рис. 1) до теплоносія, що надходить із зовнішньої тепломережі (крива 1 рис. 1). При цьому фіксувались температури в двох контрольних приміщеннях, а саме: на другому поверсі з частковою термомодернізоцією зовнішньої огороджувальної конструкції (без утеплення, але із заміною старого вікна на однокамерне металопластикове вікно) (крива 5 рис. 1) та на третьому поверсі без термомодернізації (крива 6 рис. 1).

Як видно з рис. 1, температура зовнішнього повітря $t_{зовн.}$ коливається від -6,5 °С до +2,5 °С. При мінімальній температурі зовнішнього повітря (-6,5 °С) температура теплоносія, який поступає з зовнішньої тепломережі становить 72,4 °С, а температура теплоносія після підмішування, який надходить в систему опалення, згідно графіка регулювання становить 65,1 °С. При цьому температура теплоносія в зворотному трубопроводі дорівнює $t_{звор.}$ = 45,0 °С.

На рис. 2 показані графічні залежності витрати теплоносія (шкала ліворуч) та теплової енергії (шкала праворуч). Максимальна витрата теплоносія до ІТП дорівнює G = 3,3 т/год. (крива 1 рис. 2), а після підмішування в ІТП витрата становить G = 6,1 т/год. (крива 2 рис. 2), і залишається майже незмінною протягом всього режиму роботи ІТП, тобто спостерігається якісне регулювання. Максимальні витрати теплової енергії до ІТП і після підмішування в ІТП становлять E = 0,11 Гкал/год. і E = 0,10 Гкал/год. відповідно. Слід відмітити, що різниця у витратах теплової енергії з'являється в результаті того, що її значення розраховується двома тепловими лічильниками, один з яких знаходиться в рамці управління системою опалення корпусу № 2, що з'єднується з корпусом № 1 за допомогою коридорного перешийку, в якому і відбуваються втрати теплової енергії.

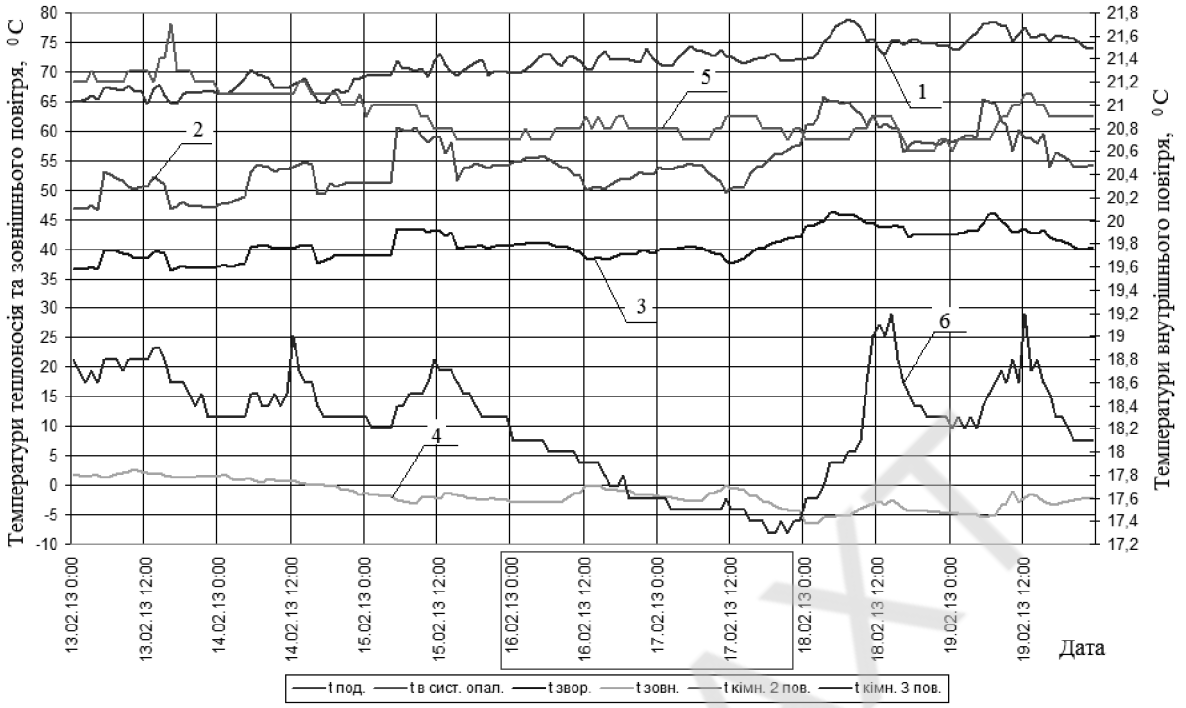


Рис. 1 – Залежності температур теплоносія та повітря від часу: 1 – температура подавального теплоносія із зовнішньої тепломережі; 2 – температура теплоносія після підмішування, який подається в систему опалення; 3 – температура теплоносія в зворотному трубопроводі; 4 – температура зовнішнього повітря; 5 – температура повітря в приміщенні на 2-му поверсі (частково термомодернізованого); 6 –температура повітря в приміщенні на 3-му поверсі (без термомодернізації)

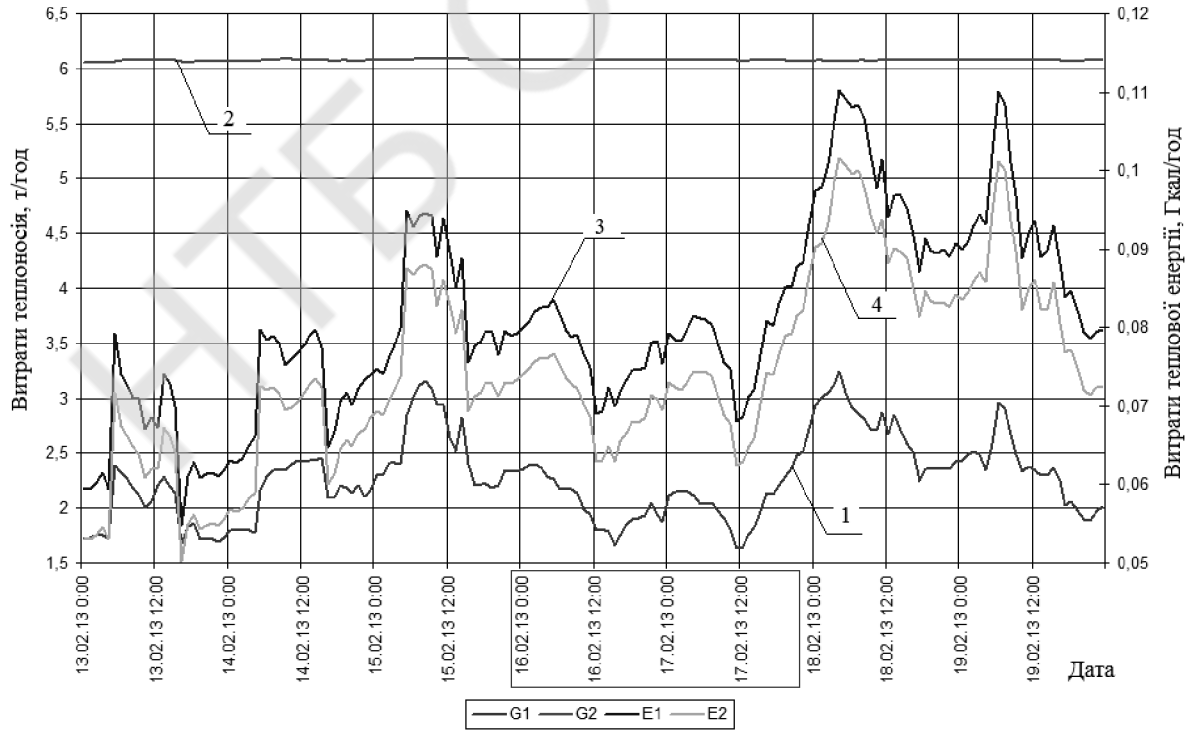


Рис. 2 – Залежності від часу витрат теплоносія та теплової енергії: 1, 2 – витрати теплоносія до ІТП і після підмішування в ІТП відповідно; 3, 4 – витрати теплової енергії до ІТП і після ІТП відповідно

У вихідні дні відбувається зниження витрат теплової енергії, в результаті запрограмованого алгоритму управління ІТП. Відповідно, це призводить до зниження температури в приміщенні на третьому поверсі від 18,8 °С до 17,3 °С (крива 6 рис. 1), що цілком прийнятно, оскільки в цей час відсутні люди на робочих місцях. Різниця температур в приміщені на другому і третьому поверхах (в межах 2,0 ºС) полягає в тому, що на другому поверсі була проведена заміна старого вікна на сучасне металопластикове вікно. Як результат, в такому приміщенні температура повітря в середньому становить 21,0 ºС, а приміщення на третьому поверсі значно швидше охолоджується, особливо у нічний час. Різкі стрибки на рис. 1-2 відповідають переходам з денного графіка регулювання на нічний і навпаки.

На основі проведених експериментальних досліджень було визначено економію теплової енергії від впровадження ефективного управління теплоспоживанням будівлі за допомогою ІТП у порівнянні з нерегульованою системою теплопостачання елеваторного типу. Для цього визначались питомі тепловитрати на опалення для двох систем теплопостачання і відповідно розраховувалась економія тепловитрат [2].

Висновки

Звичайно, впровадження оптимального управління теплоспоживанням будівлі на основі використання ІТП дали свої позитивні результати. Як показали довготривалі детальні експериментальні дослідження, таким чином вдалося зекономити споживання теплової енергії в середньому за опалювальний період до 15 %.

Література

1. Пат. 70590 Україна, МПК (2012.01), F24D 15/00, F24D 3/02 (2006.01). Індивідуальний тепловий пункт / А. А. Долінський, Б. І. Басок, О.М. Лисенко, А.О. Авраменко, А.Р. Коба, А.І. Тесля, М.А. Хибина; заявник та власник Інститут технічної теплофізики НАН України. – № u 201109780; заявл. 08.08.2011; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12. – 3 с.
2. Лисенко О. М., Кужель Л. М., Божко І. К. Управління теплопостачанням будівлі на основі використання індивідуального теплового пункту оригінальної конструкції // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – Т. 1, N 8(73). – С. 61-67.

УДК 697.91.94.97

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Жихарєва Н. В., канд. техн. наук, доцент
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Рассмотрены вопросы особенности оптимального управления системами кондиционирования воздуха. При проектировании систем кондиционирования воздуха необходимо решать актуальную задачу энергосбережения с учетом оптимального управления обеспечивая - поддержание комфортных параметров.

Ключевые слова: *кондиционирование воздуха, оптимальное управление, тепло-влажностная нагрузка, энергентические затрата*

The questions of particular optimal control of air conditioning systems. When designing air conditioning systems need to solve the actual problem of energy saving in view of ensuring optimal control - maintaining comfort settings.

Создание микроклимата в помещении одной из наиболее сложных задач при разработке и реализации системы кондиционирования. Системы кондиционирования воздуха (СКВ) являются одними из самых энергоемких систем инженерного оборудования зданий и сооружений. Энергетические затраты на кондиционирование составляет 30 - 50 % от стоимости эксплуатации зданий [1]. Поэтому проблема энергосбережения является одной из самых важных задач эффективности использования энергии в процессах кондиционирования воздуха.

Эффективность работы СКВ возможно значительно увеличить, если неотъемлемой частью системой кондиционирования воздуха является оптимальное управление.

В задачи оптимального управления системы кондиционирования входит: оптимизация параметров системы кондиционирования воздуха, автоматическая стабилизация параметров воздуха; программное изменение этих параметров; местный и оперативный контроль; защита и устранение аварийных ситуаций.

В настоящее время СКВ и системы общей вентиляции потребляют до 40% энергоресурсов страны из них 10% электроэнергии. Капитальные затраты на СКВ составляют 20% общей стоимости зданий, а эксплуатационные – от 30% до 50% всей стоимости эксплуатации. Энергосбережение в СКВ представляет собой сложную задачу, которая должна решаться комплексно на всех стадиях при проектировании, монтаже, наладке и эксплуатации. [2]

Системы комфортного и технологического кондиционирования воздух являются сложными техническими комплексами и имеют особенности :

1. Широкий диапазон изменения исходных данных (параметров внешней среды, нагрузок, отклонений регулируемых параметров);
2. Разнородность регулируемых параметров (термодинамические, аэродинамические, химические);
3. Объекты управления системы кондиционирования помещения имеют сложные нелинейные характеристики, обладающие разной инерционностью (существенной в тепловых процессах и незначительной в аэродинамических).

При оптимизации процессов обработки воздуха в системах кондиционирования воздуха имеют дело с информационно-управляемой системой, как совокупностью технических средств автоматизации и комплекса оборудования, обеспечивающего данный процесс.

Управляемая система функционально состоит из установки кондиционирования воздуха: фильтр, воздухонагреватель, воздухоохладитель, вентилятор и помещения. (рис.1).

В характеристику системы входят:

1. Нагрузки помещения: *Q*-тепловая нагрузка, Вт*;W*- влажностная нагрузка, кг/с*, G*-расход воздуха, кг/с*;*
2. Регулируемые параметры воздуха в помещении: $t_{в}$-температура*, °C ;* $\varphi_{в}$,- относительная влажность воздуха, %*,* $d_{в}$-влагосодержание,кг/кг$_{с.в.}$, $h_{в}$ – энтальпия кДж/кг*;* $\omega_{в}$- скорость воздуха, м/с;
3. Гигиенические и технологические показатели, а именно: тепловой комфорт, различные физические параметры изделий, выпускаемых в процессе производства.

Всю эту гамму характеристик оценивают через соответствующие параметры воздуха. Например, для создания комфортных условий необходимо сочетание определенных значений температуры $t_{в}$, влажности $\varphi_{в}$ и подвижности воздуха $\omega_{в}$.

Для обеспечения технологии производства по отклонениям контролируемых технологических параметров определяют допустимые отклонения температуры $\Delta t_{в}$ и влажности $\Delta\varphi_{в}$ из модели.

Основными уравнениями модели являются; уравнения полной теплоты(Q), влаги(W) , газов (M) и явной теплоты (Qя)в помещении: [1,5]

Таким образом, перевод допустимых отклонений технологических параметров в отклонения параметров воздушной среды - является ответственным начальным этапом работ по оптимальному управления систем кондиционирования воздуха. Этот этап должен решаться совместно специалистом и специалистом – технологом.

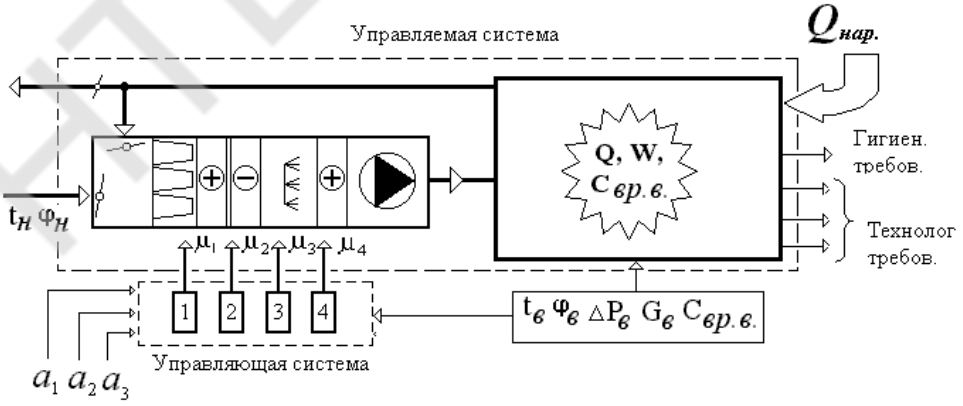


Рис.1 – Принципиальная схема управления системой технологического кондиционирования воздуха

$$G_{n1} + G_{Y1} - G_p + \sum_{i=2}^{n} G_{ni} - \sum_{j=2}^{m} G_{yj} = 0 \qquad (1)$$

$$G_{n1} \cdot h_{n1} - G_{y1} h_{y1} - G_p h_p + \sum_{i=2}^{n} G_{ni} h_{ni} - \sum_{j=2}^{m} G_{yj} h_{yj} + \Delta Q + \Delta Q' = 0 \quad (2)$$

$$G_{n1} d_{n1} - G_{y1} d_{y1} - G_p d_p + \sum_{i=2}^{n} G_{ni} d_{ni} - \sum_{j=2}^{m} G_{yj} d_{yj} + \Delta W + \Delta W' = 0 \quad (3)$$

$$G \frac{\chi_{n1}}{\rho_{n1}} - G_{y1} \frac{\chi_{y1}}{\rho_{y1}} - G_p \frac{\chi_p}{\rho_p} + \sum_{i=2}^{n} G_{ni} \frac{\chi_{ni}}{\rho_{ni}} - \sum_{j=2}^{m} G_{yj} \frac{\chi_{yj}}{\rho_{yj}} + M_{\Gamma} = 0 \quad (4)$$

$$CpG_{n1} t_{n1} - CpG_{y1} t_{y1} - CpG_p t_p + Cp \sum_{i=2}^{n} G_{ni} t_{ni} - Cp \sum_{j=2}^{m} G_{yj} t_{yj} + \Delta Qя + \Delta Q' = 0 \quad (5)$$

где *Gn, Gy, Gp* - расходы приточного, удаляемого и рециркуляционного воздуха кг/с; *hn, hy hp* – энтальпия приточного, удаляемого и рециркуляционного воздуха кДж\кг; dп, dy, dp влагосодержание приточного, удаляемого и рециркуляционного воздуха кг/кг $_{с.в.}$; tп, ty, tp – температура приточного, удаляемого и рециркуляционного воздуха, °С х/рп х/ру х/рр, концентрация и плотность приточного, удаляемого и рециркуляционного воздуха.; ΔGм, ΔQм , ΔWм, ΔMгм, ΔQям - десбалансы местной вентиляции по воздуху, полной теплоте, влаги, газам и явной теплоте.

На объект оптимального управления оказывают влияние с одной стороны нагрузки в помещении, с другой стороны – внешняя среда через ограждения и с наружным воздухом, поступающим в СКВ. Кроме возмущающих воздействий на объект управления воздействует управляющая система. Управляющие (регулирующие) воздействия (на схеме: μ_1 μ_2 μ_3 μ_4) определяются положением регулирующих органов на воздушной линии, линиях тепло - и хладоносителя. [2,3].

Нами показано, что существует задача решения оптимального управления комплексная. Погрешность такой системы максимальна, а ее стоимость минимальна. Улучшая характеристики оптимального регулирования, переходя на более совершенные законы регулирования погрешность регулирования можно уменьшить. При этом увеличатся капитальные затраты и уменьшаться эксплуатационные расходы на энергию, необходимую для обработки воздуха.

Приведенные затраты имеют свой минимум, который соответствует экономически оправданный выбор средств оптимального уравления.

При работе над созданием оптимальной системы управления систем кондиционирования воздуха следует придерживаться основного принципа технической организации управления СКВ, а именно выделение трех уровней: 1 уровень – определение оптимальных параметров; 2 – регулирование; 3 – управление

Методы регулирования достаточно хорошо разработаны, и они детально нами рассмотрены Реализация 3 уровня – оптимального управления системы кондиционирования воздуха требует постоянной работы в плане создания новых способов и устройств, отвечающих требованиям

Используя данные исследования возможно подобрать энергосберегающую систему кондиционирования, позволяющую поддерживать параметры воздуха, имеющий важное значение для здоровья людей и технологического кондиционирования воздуха. [6].

Литература

1. Грачев Ю.Г. Основы оптимизации систем кондиционирования микроклимата. – Пермь, изд. Перм, политехн,ин-та, 1987. – 80с.+ 1 вкл..
2. Богословский В.Н. Три аспекта создания здания с эффективным использованием энергии. //АВОК 1998 , – С. 32– 36.
3. Табунщиков Ю.А. Бродач. М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС. – 2002. – 194 с
4. Жихарєва Н.В. Осоливості розрахунку теплопипливів в приміщення при кондиціюванні повітря // Холодильна техніка і технологія 2015. –№8. –С. 53 – 57
5. Жихарєва Н.В. Хмельнюк М.Г. Оценка энергетической эффективности системы охлаждения плодоовощехранищ // Холодильна техніка 2015. –Том.51 №3. –С. 22 – 25
6. Жихарєва Н.В . Моделювання і оптимізація системи кондиціювання повітря – Одеса: «ТЭС», 2016. – 170 с + додатки

УДК 621.039

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ УСТАНОВКИ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ НАСОСОВ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК

Скалозубов В.И.[2] , д-р техн. наук, профессор, Чжоу Хуиюй[1]
[1] Межведомственный центр фундаментальных научных исследований в области энергетики и экологии, г. Одесса
[2] Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса

В статье представлен анализ целесообразности установки регуляторов для повышения надежности работы насосов высокого и низкого давления систем аварийного охлаждения активной зоны реактора ВВЭР. В результате проведенного анализа определена нецелесообразность установки таких регуляторов, так как это может привести к возникновению автоколебательных процессов и неэффективно в отношении устранения термоудара на корпус реактора, а также к возможному снижению показателей.

***Ключевые слова**: регуляторы, насосы, системы безопасности, реактор, надежность.*

В рамках повышения эффективности и надежности управления авариями с течами 1-го контура реакторных установок (РУ) малосерийных ВВЭР-1000/В-302, 338, для которых критичной является работоспособность системы аварийного охлаждения активной зоны высокого давления (САОЗ ВД), разработаны технические обоснования и решения [1] о необходимости модернизации этой системы путем регулирования подачи охлаждающей воды в 1-й контур. Основная цель регулирования расхода САОЗ ВД заключается в установке запорно-регулирующих клапанов (ЗРК) для обеспечения необходимого запаса температуры теплоносителя до кипения на выходе из активной зоны (ΔT_S) при поддержании допустимого давления P в 1-м контуре. По мнению разработчиков [1] осуществление такого регулирования позволит существенно повысить эффективность и надежность управления авариями с течью теплоносителя (в том числе и межконтурными течами): сократить время подключения системы аварийного охлаждения активной зоны низкого давления (САОЗ НД) после отключения САОЗ ВД, ограничить потери теплоносителя, исключить отказы проектных арматур, исключить термошок и т.д. Непосредственное регулирование расхода САОЗ ВД предполагается осуществлять ЗРК, установленными на байпасе проектной арматуры на напорной линии САОЗ ВД и предназначенными для поддержания необходимого запаса температуры теплоносителя до кипения и давления 1-го контура.

Примером таких регуляторов может быть система автоматического регулирования первой управляющей системы безопасности (УСБ-1) [2], в которой предполагается поддержание запасов до кипения ΔT_S = 10, 15 и 20 °С и фиксированного значения давления в трех режимах по выбору оператора: стерегущий режим (РСТ), режим поддержания запаса до кипения (ΔT_S), режим поддержания давления (РПД). Входными сигналами регуляторов являются – давление теплоносителя в 1-м контуре P; температуры теплоносителя в разных местах 1-го контура T_{1k} и положение импульсного механизма регулятора H.

Контраргументами установки на байпасе регуляторов САОЗ ВД может быть следующее.

1. ЗРК САОЗ ВД являются дополнительными активными элементами СБ, что определяет возможность возникновения дополнительных отказов, связанных с выполнением процесса регулирования. В частности, установка ЗРК САОЗ ВД противоречит современным принципам приоритета развития пассивных систем/элементов СБ.

2. Установка ЗРК требует пересмотра всего проекта САОЗ ВД (в том числе связанных с изменением гидравлических характеристик системы, с условиями регулирования и т.д.). Представленные, например в [1], технические обоснования являются недостаточными для необходимости и возможности установки регулятора на ВВЭР-1000/В-320.

3. Регулирование расхода САОЗ ВД требует субъективного вмешательства операторов (в том числе идентификация исходных событий (ИС), выбор режимов регулирования, выбор статуса расхолаживания 1-го контура и т.д.), что снижает при прочих равных условиях надежность управления из-за возможных ошибок персонала и др.

ЗАЭС совместно с научными организациями был проведен расчетный анализ кодом RELAP5 целесообразности установки ЗРК САОЗ ВД на серийных энергоблоках с ВВЭР-1000 (В-320). Расчеты проводились для аварий с течами 1-го контура и межконтурными течами, в которых критичной является работоспособность САОЗ ВД, в проектном режиме и при установке ЗРК.

Анализ полученных результатов не позволяет сделать однозначный вывод о целесообразности установки ЗРК САОЗ ВД на ВВЭР-1000 (В-320), что определяет актуальность этой работы.

Анализ целесообразности установки регуляторов

В режиме ΔT_s регулятор САОЗ ВД поддерживает запас температуры до вскипания теплоносителя. Уставка по запасу температуры может принимать фиксированное значение, равное 10, 15 или 20 °С [2]. В данном режиме регулятор поддерживает равное нулю рассогласование

$$EPS = P_s - P_{1к} - \alpha H, \quad (1)$$

где EPS − рассогласование регулятора; $P_s = f(T_{1к} + dT)$ − давление насыщения как функция преобразования температуры насыщения; $T_{1к}$ − температура теплоносителя 1-го контура; dT − уставка по запасу температуры; $P_{1к}$ − давление теплоносителя 1-го контура; H − положение ЗРК, %; α − коэффициент.

В режиме РПД регулятор САОЗ ВД поддерживает равное нулю рассогласование

$$EPS = P_{зад} - P_{1к} - \alpha H, \quad (2)$$

где EPS − рассогласование регулятора; $P_{зад}$ − заданное значение давления; $P_{1к}$ − давление теплоносителя 1-го контура; H – положение ЗРК, %; α − коэффициент.

Алгоритм введения режима регулирования предполагается следующим (ЗРК в начальном положении «открыто» или полностью открывается перед началом работы).

1. Открытие по уставкам срабатывания отсечной проектной арматуры на напоре САОЗ ВД в 1-й контур.

2. Идентификация ИС и снятие запрета на закрытие отсечной проектной арматуры.

3. Закрытие оператором отсечной проектной арматуры на напоре САОЗ ВД и направление всего расхода канала САОЗ ВД через открытый ЗРК.

4. Перевод оператором регулятора из РСТ в режим ΔT_S или РПД и начало работы насосов ВД через регулятор на байпасе.

Таким образом, по отношению к проектному режиму (без регуляторов) в режиме регулирования могут возникнуть следующие дополнительные отказы/ошибочные действия оператора:

1) ошибочные действия по выводу регулятора из РСТ при отказе автоматики на снятие запрета по закрытию отсечной проектной арматуры (некритичный отказ для выполнения ФБ);

2) ошибочные действия по открытию байпасируемой арматуры после вывода регулятора из РСТ (некритичный отказ для выполнения ФБ);

3) ошибочные действия по включению РПД с потерей контроля запаса температуры до кипения теплоносителя в активной зоне (критичный для безопасности отказ);

4) ошибочные действия или отказы автоматики по закрытию байпасируемой арматуры при работе регулятора в РСТ (критичный для безопасности отказ);

5) ошибочные действия по выбору режимов регулирования и/или связанные с потерей контроля регулирования процесса (критичные для безопасности отказы).

Вероятности возникновения критичных для выполнения САОЗ ВД ФБ отказов могут быть значимыми, так как связаны с действиями персонала («человеческий фактор»). Поэтому при неэффективной работе ЗРК общие показатели безопасности (частота повреждений активной зоны) могут быть (при прочих равных условиях) хуже, чем в проектном режиме. Однако, этот вопрос требует дополнительных обоснований и здесь не рассматривается.

Некритичные для безопасности отказы не влияют (при прочих равных условиях) на общие показатели безопасности, но работа регуляторов при таких отказах является неэффективной.

При реализации проектного алгоритма регулирования ЗРК САОЗ ВД на напорной магистрали целесообразно рассмотреть отдельно режимы ΔT_S и РПД.

Исходя из гидравлических характеристик трубопроводов САОЗ ВД, на которых установлены дроссельные и сужающие устройства, эффективное регулирование путем изменения положения штока ЗРК будет осуществляться при создании коэффициента гидравлического сопротивления ЗРК, сравнимого или большего, чем коэффициент гидравлического сопротивления напорного трубопровода. Для этого необходимы небольшие степени открытия ЗРК. Очевидно, что при уменьшении проходного сечения клапана даже в два раза при изначальном коэффициенте гидравлического сопротивления около 35 для клапана с условным диаметром 125 мм [3] это увеличит коэффициент гидравлического сопротивления ЗРК до 22 × 35 = 140, что меньше, чем суммарный коэффициент гидравлического сопротивления дроссельного и сужающего устройства 245 + 49 = 294 [4]. Таким образом, в области открытия клапана ориентировочно от 40 до 100 % регулирование не будет эффективным. Это означает, что использование одного закона алгоритма регулирования для всего интервала изменения положения клапана 0 – 100 % также является нецелесообразным. Для исправления данного эффекта необходимо «сдвинуть» начальное положение штока ЗРК в область эффективного регулирования.

Для этого в алгоритме регулятора необходимо предусмотреть блокировку принудительного закрытия при повышении запаса до насыщения сверх определенной уставки. Данный алгоритм реализован на 1-м энергоблоке РАЭС [5]. При повышении запаса выше ΔT_S (high) блокировка отключает регулятор и выдает команду на закрытие ЗРК с уменьшенной скоростью (например, 5 с «ход» и 5 с «стоп» до момента снятия сигнала). Повторное включение регулирования производится при снижении ΔT_S менее значения уставки минус зона нечувствительности. На момент включения запоминается текущее положение ЗРК в качестве «0» отсчета, от которого будет отсчитываться обратная связь по положению клапана. Данный алгоритм позволяет перевести регулятор из полностью открытого положения в положение, когда его регулирование будет эффективно, т.е. ближе к небольшим степеням открытия.

Последовательность развития событий при регулировании в режиме поддержания ΔT_S приведена схематично на рис. 1.

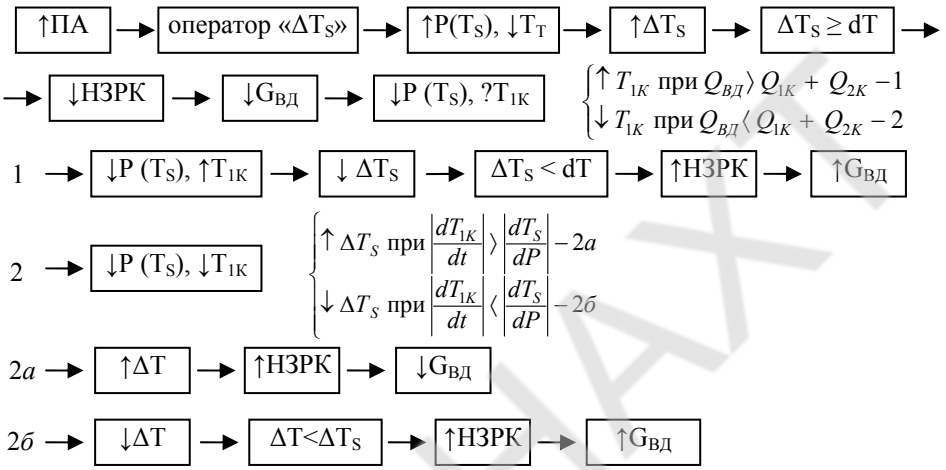


Рис. 1 – Процессы регулирования ЗРК САОЗ ВД

В случае срабатывания уставок на включение подачи воды от САОЗ ВД в 1-й контур (в том числе и при авариях с течью теплоносителя) оператор должен включить «режим ΔT_S» и регулятор осуществляет контроль за выполнением рассогласования (1). В начальные моменты происходит увеличение давления ($\uparrow P$) и снижение температуры теплоносителя ($\downarrow T_{1K}$), что приводит к увеличению запаса до кипения ($\uparrow \Delta T_S$). При достижении уставки dT (1) регулятор начнет закрываться ($\downarrow H$ ЗРК), что должно привести к уменьшению общего расхода от насосов САОЗ ВД в 1-й контур ($\downarrow G_{ВД}$) а соответственно и к снижению давления ($\downarrow P$) при прочих равных условиях. В зависимости от условий охлаждения в 1-м и 2-м контурах Q_1, Q_2, а также влияния на температуру теплоносителя непосредственно расхода от САОЗ ВД $Q_{ВД}$ возможны два разных состояния:

температура теплоносителя увеличивается ($\uparrow T_{1K}$) – при определяющем влиянии сокращения подачи охлаждающей воды от САОЗ ВД;

температура теплоносителя уменьшается ($\downarrow$T$_{1K}$) – при определяющем влиянии условий охлаждения по 1-му и 2-му контурам другими системами.

В случае первого состояния дальнейшее регулирование по рассогласованию (1) приведет к росту расхода от САОЗ ВД ($\uparrow G_{ВД}$). Таким образом, в этих условиях действия регулятора приводят к автоколебательному процессу в системе, а работа регулятора неэффективна и снижает общую надежность САОЗ ВД по выполнению проектных функций (отсутствует возможность устойчивого снижения давления в 1-м контуре до уставок включения насосов САОЗ НД, частые противоположные перемещения рабочего органа ЗРК, циклические термодинамические нагрузки на корпус и конструкции реактора и т.п.).

Во втором случае ($\downarrow P$, $\downarrow T_{1K}$) в дальнейшем процессе также возможны два разных состояния:

увеличение ΔT_S при условии большей скорости снижения температуры теплоносителя, чем скорости снижения давления, $\left|\frac{dT_{1K}}{dt}\right| \rangle \left|\frac{dT_S(P)}{dt}\right|$;

уменьшение ΔT_S – в противном случае.

В дальнейшем эти два разных состояния (см. рис. 1) приведут или к автоколебательному процессу (при $\downarrow \Delta T_S$), или к устойчивому регулированию (при $\uparrow \Delta T_S$).

Таким образом, эффективное регулирование ЗРК САОЗ ВД при последовательной схеме подключения возможно только при дополнительных настройках в режиме поддержания ΔT_S:

$$\frac{dT_S}{dt}\left[\frac{dP}{dt}\left(\frac{dH}{dt}\right), P\right] < \frac{dT_{1K}}{dt}\left(Q_{1K}, Q_{2K}\right), \quad (3)$$

$$\left|\frac{dT_{1K}}{dt}\right|\left(\frac{dH}{dt}\right) < \left|\frac{dT_{1K}}{dt}\right|\left(Q_{1K,}\, Q_{2K}\right). \quad (4)$$

Условия (3) и (4) означают, что для эффективного регулирования необходимо не только текущее положение рабочего органа ЗРК (условие (1)), но и скорость его перемещения, а также условия охлаждения в 1-м и 2-м контурах (в том числе конфигурации систем, их осуществляющих).

В РПД работа регулятора также может приводить к автоколебательному процессу: начальный рост давления $\uparrow P$ приводит к уменьшению рассогласования ΔP (условие (2)) и закрытию регулятора ($\downarrow H$ ЗРК) с последующим снижением расхода САОЗ ВД ($\downarrow G_{ВД}$) и снижению давления в 1-м контуре. Снижение давления в 1-м контуре при прочих равных условиях может привести к последующему увеличению расхода от САОЗ ВД ($\uparrow G_{ВД}$), связанному с уменьшением противодавления. Эффективность регулирования в этом случае будет связана с обеспечением дополнительных условий преобладания фактора изменения давления 1-го контура за счет изменения гидравлического сопротивления регулятора перед фактором изменения противодавления для работы насосов САОЗ ВД.

Более того, РПД вообще нецелесообразен, так как в этом случае регулирование осуществляется только по давлению в 1-м контуре (без контроля запаса температуры до кипения теплоносителя в активной зоне (АЗ), являющегося одним из критериев безопасности).

Подтверждением возможности возникновения колебаний основных регулируемых параметров в процессе аварий с течами 1-го контура являются известные расчетные обоснования эффективности работы ЗРК САОЗ ВД, полученные ЗАЭС с партнерами для серийных энергоблоков с ВВЭР-1000/В-320. Так, для характерного исходного события аварии (ИСА) с малой течью 1-го контура, компенсируемой работой САОЗ ВД (непреднамеренное открытие ПК КД с расхолаживанием через БРУ-К со скоростью 30 °С/ч при отключении ГЦН с учетом работы ЗРК САОЗ ВД по сигналу запаса температуры теплоносителя до насыщения в «горячих» петлях – сценарий № 11), установлены существенные колебания основных регулируемых параметров (давления в 1-м контуре P, минимального запаса температуры до кипения теплоносителя на выходе из АЗ ΔT_S, расхода теплоносителя через АЗ и в течь в диапазоне времени работы регуляторов от 900-й секунды процесса (открытие оператором ЗРК САОЗ ВД в режиме поддержания запаса до кипения $\Delta T_S = 20$ °С в «горячих» петлях) до 3000-й секунды (последовательное отключение по критерию запаса более 15 °С оператором двух каналов САОЗ ВД с ЗРК).

Последовательность событий в процессе развития указанного ИСА (сценарий № 11), а также соответствующее поведение основных регулируемых ЗРК САОЗ ВД параметров приведены на рис. – 5.

На рис. 6 показано соответствующее поведение положения штоков ЗРК САОЗ ВД в процессе аварии.

Выводы

1. На начальных этапах аварии работа регулятора не только является неэффективной, но и вредной, так как приводит к дополнительным циклическим динамическим и термическим нагрузкам. Так, например, в процессе колебаний положения штока регулятора, определяющего динамику поведения параметров теплоносителя в реакторе, амплитуды колебаний температуры теплоносителя достигают десятков градусов при скоростях изменения температуры более 300 – 400 °С/ч. Такие условия способствуют возникновению термошока на корпус и ВКУ реактора.

Возникновение высокочастотных и высокоамплитудных колебаний давления теплоносителя в АЗ приводит к дополнительным высокоцикличным нагрузкам на оболочки твэлов, которые могут привести к недопустимым нарушениям их целостности [6].

2. В процессе одновременной работы всех трех регуляторов каналов САОЗ ВД может возникнуть асинхронность (или противофазность) движений штоков ЗРК (например, случайно или при ошибочных действиях оператора), следствием которой может быть возникновение межканальной теплогидродинамической неустойчивости, способствующей развитию недопустимых автоколебательных процессов в РУ (см., например, [6, 7]). В приведенных расчетных обоснованиях эти вопросы не анализировались, но возможность возникновения межканальной теплогидродинамической неустойчивости при работе трех ЗРК вполне очевидна.

3. Эффективность работы ЗРК САОЗ ВД осуществляется на более поздних стадиях аварии (когда процесс становится стабильным) в отношении «экономного» использования запасов баков САОЗ ВД до подключения САОЗ НД и сокращения расхода в течь. Однако, для серийных ВВЭР-1000 (В-320) эти факторы не являются критичными, так как в этих проектах предусмотрено автоматическое переключение

насосов САОЗ ВД на приямок гермообъема, а влияние суммарного выброса теплоносителя за весь период аварии в течь на безопасность практически одинаково для проектного режима и при установке ЗРК.

4. В отношении условий возникновения термоудара (термошока) на корпус реактора установка ЗРК САОЗ ВД ВВЭР-1000/В320 также неэффективна, так как наиболее вероятными условиями термоудара являются начальные моменты подачи охлаждающего раствора от САОЗ ВД (максимальные градиенты температур и скорости расхолаживания при относительно высоких давлениях). Подключение же ЗРК осуществляется оператором после открытия проектной арматуры на напоре САОЗ ВД (в данном случае через 600 с). Также, как следует из результатов расчетного моделирования, на начальных этапах открытия ЗРК возникают существенные колебания теплогидродинамических параметров (см. рис. 2 – 5), способствующие возникновению дополнительных циклических динамических и термических нагрузок на корпус реактора и ВКУ, а также условиям возникновения термошока (скорость изменения температуры теплоносителя составляет сотни градусов в час).

На более поздних стадиях развития аварийного процесса установка ЗРК САОЗ ВД также не исключает возможности возникновения термошока, так как в потенциальной области возможного возникновения термошока (температура теплоносителя ниже 140 °С при давлениях 40 – 20 кгс/см^2) происходит относительно резкое снижение температуры теплоносителя при подключении насосов САОЗ НД со скоростью более 400 °С/ч.

5. При проектных условиях протекания аварии установка ЗРК также не является эффективной в отношении сокращения срабатываний систем 1-го и 2-го контуров для расхолаживания и регулирования давления. Кроме того, установка ЗРК предполагает различные действия оператора (идентификация события, выбор режимов регулирования и т.п.), а вероятность ошибочных действий персонала в относительно короткий промежуток времени (в данном случае несколько минут) может быть существенно выше вероятности отказов систем в автоматических режимах, что в конечном итоге отразится на показателях надежности и безопасности.

На основе представленных выше обоснований разработано и внедрено концептуальное техническое решение ГП НАЭК «Энергоатом» о нецелесообразности установки дополнительных регуляторов насосного оборудования САОЗ высокого давления на серийных энергоблоках с ВВЭР-1000.

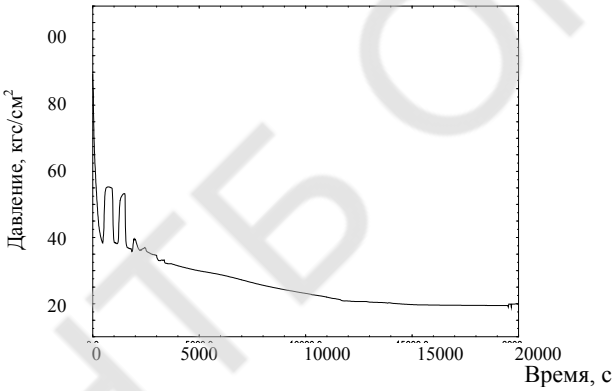


Рис. 2 – Давление на выходе из реактора

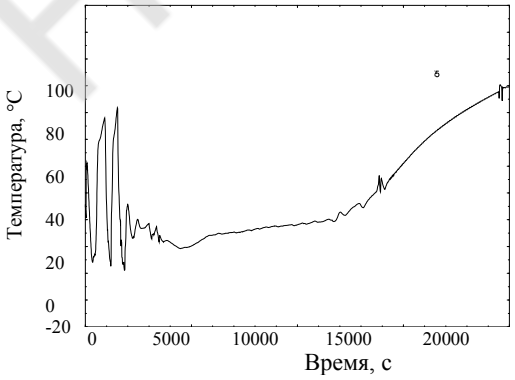


Рис. 3 – Минимальный запас до насыщения на выходе из АЗ

НТБ ОНАХТ

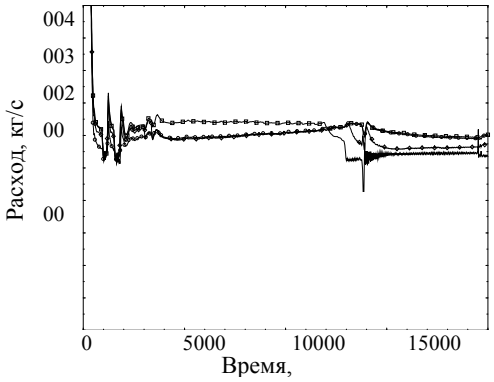


Рис. 4 – Расход теплоносителя в петлях ГЦТ на входе в реактор

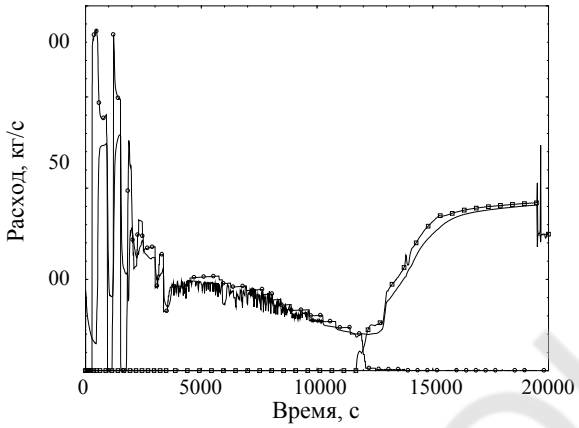


Рис. 5 – Расход теплоносителя в течь и расход подачи от САОЗ ВД и НД

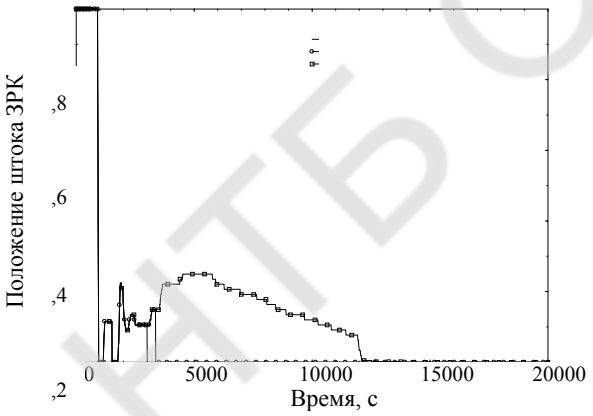


Рис. 6 – Положение штока ЗРК на напоре насосов САОЗ ВД

Литература

1. ТР.0.38.01.1656. О регулировании расхода впрыска в 1-й контур от насосов САОЗ ВД при компенсируемых течах теплоносителя 1-го контура на РУ В-302 и В-338 энергоблоков № 1 и № 2 ЮУАЭС: Концептуальное техрешение. – 2008.
2. УСБ1.21001.ПБ.01.2-1.М. Программно-технический комплекс системы аварийных регуляторов первой управляющей системы безопасности энергоблока № 1 ЮУАЭС на базе ПТК «Вулкан-М-АР-1/1». – Львов: ОРГРЭС. – 2009.
3. ТУ У 29.1-24930577-002-2004. Арматура энергетическая. Клапаны регулирующие типа «Диск» DN 50-700.
4. 38-223.203.007.БД.01-09. Ровенская АЭС. Энергоблок № 4. Окончательный отчет по анализу безопасности. Глава 15. Анализ проектных аварий. База данных по ЯППУ.
5. 804.17833618.070481.С1.21.1-1М. Система автоматического регулирования реакторного отделения РАЭС. Альбом алгоритмов САР УСБ2 бл. № 1 РАЭС. – ТЕХЭНЕРГО, 2008.

НТБ ОНАХТ

6. Герлига В.А., Хабенский В.Б. Нестабильность потока теплоносителя в энергооборудовании АЭС. – М.: Атомэнергоиздат, 1994. – 288 с.
7. Коврижкин Ю.Л., Скалозубов В.И. Термоакустическая неустойчивость теплоносителя в активной зоне ВВЭР. – Одесса: ТЭС, 2003. – 172 с.

УДК 621.575

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛОВ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Озолин Н.Е.[1], аспирант, Титлов А.С.[1], д-р техн. наук, профессор, Краснопольский А.Н.[2], главный менеджер научных проектов
1- Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса
2 - Ариельский университет, Израиль

Показаны перспективы применения теплоиспользующих абсорбционных водоаммиачных холодильных агрегатов (АВХА) в системах кондиционирования на базе солнечных коллекторов. Предложена новая оригинальная конструкция АВХА периодического действия. Разработана методика расчета таких периодических циклов и определены энергетически эффективные режимы работы в зависимости от температуры охлаждающей среды, температуры объекта охлаждения, температуры греющего источника.

Ключевые слова: *водоаммиачный абсорбционный холодильный агрегат периодического действия, солнечные коллектора*

The prospects of using heat absorption water-ammonia refrigeration units (AWRU) in air conditioning systems based on solar collectors. A new original design of periodic operation AWRU. A method for calculating such periodic cycles and energy-efficient modes of operation depending on the temperature of the cooling medium, the temperature of the cooling facility, the temperature of the heating source.

Keywords: *water-ammonia absorption refrigeration unit, solar collectors*

Циклы АВХМ реализованные в насосной и безнасосной схеме. Насосные схемы имеют более высокую энергетическую эффективность, но имеют в своем составе циркуляционный насос и не автономны. Безнасосные схемы автономные, но недостаточно эффективны.

Рабочее тело насосных АВХМ – ВАР, безнасосных – ВАР с добавкой инертного газа (водорода).

Одной из особенностей АВХМ является взаимозависимость температур в характерных процессах цикла – температуры греющей среды t_h, температуры охлаждающей среды t_w, температуры объекта охлаждения t_{ob}. Из трех температур произвольно могут быть заданы только две [1-4].

Как показывает практика, работа холодильной установки должна обеспечивать заданный уровень охлаждения (t_{ob}, ºС), а сама установка работать в соответствующих климатических условиях, то есть при заданной температуре охлаждающей среды. Поэтому, реальным параметром, который может изменятся является только температура греющего источника.

Современные методики расчета [5-7] не учитывают такую взаимозависимость температур в абсорбционном холодильном цикле, так как допускают наличие источника тепловой энергии с необходимым температурным потенциалом.

В то же время, анализ параметров источников бросовой и альтернативной тепловой энергии показывает, что значительная их часть не может быть использована для реализации традиционных циклов АВХМ из-за недостаточно высокого температурного потенциала. К этим источникам относятся отходные газы ДВЗ, геотермальные источники и солнечные коллекторы.

Для работы с низкопотенциальными источниками тепловой энергии разработан алгоритм расчета циклов АВХМ насосного типа.

Проведение вариантных и оптимизационных расчетов циклов АВХМ невозможно без использования данных о свойствах водоаммиачного раствора (ВАР). На сегодня не существует единого уравнения состояния ВАР, которое удовлетворительно описывает его свойства в широком диапазоне температур и давлений, что связано с физико-химической аномальностью системы вода-аммиак. Поэтому использование табличных данных до сих пор не утратило актуальности.

Выбор системы MathCAD для расчета цикла АВХМ связан с простотой использования графического интерфейса системы. Была разработана подсистема библиотечных функций термодинамических и теплофизических свойств чистого аммиака и ВАР, основанная на использовании стандартных функций аппроксимации (линейной либо сплайновой) системы MathCAD.

Возможно использование табличных данных в зависимости от набора двух произвольных параметров состояния термодинамической системы вода-аммиак. Такое расширение базового набора позволяет проводить расчет цикла АВХМ при различных вариациях исходных данных.

Алгоритм расчета циклов АВХА ПД

Схема потоков в АВХА ПД в различные периоды его работы приведена на рис.1.

В период зарядки АВХА ПД, на генератор (красный цвет на рис. 1.а)) поступает тепловой поток $Q_{гр}$, при температуре t_h .В начальный период, когда зоны АВХА ПД находятся при одинаковых температурах, равных температуре окружающей среды, состав рабочего тела (ВАР) одинаков в обоих зонах. Абсорбер-испаритель (зелёный цвет на рис.1.а)) находится при температуре атмосферного воздуха (t_w) и отводит теплоту абсорбции Q_a.

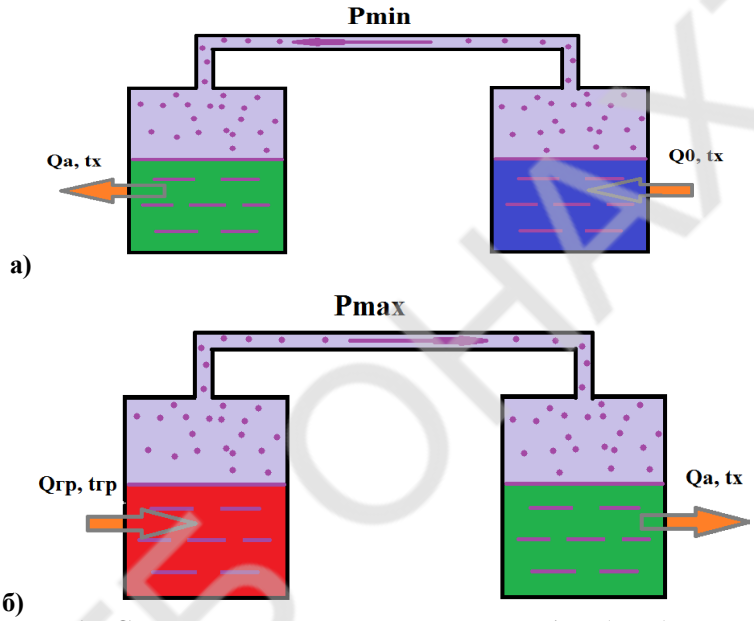


Рис. 1 – Схема потоков тепла и массы при работе АВХА ПД:
а) – работа в период зарядки; б) – работа в период охлаждения

В период зарядки (рис. 1.а)), происходит перемещение преимущественно легкокипящего компонента (аммиака) из генератора-абсорбера (Г-А) в зону абсорбера-испарителя (А-И). Температура при этом в Г-А увеличивается от температуры окружающей среды до некоторой температуры t_h, значение которой определяется начальным составом ВАР. В конце процесса выпаривания, температура в Г-А $t_h \Rightarrow \max$, давление в системе также максимально, а температуру А-И принимаем постоянной и равной t_w. В это же время, максимальная доля аммиака в ВАР находится в А-И, а минимальная – в Г-А.

В период охлаждения (рис. 1.б)), зона Г-А переходит в область температур окружающей среды, т. е. тепловой поток от источника тепла блокируется, а на внешнюю поверхность подаётся наружный воздух. За счёт смещения равновесия в ВАР, при понижении температуры в Г-А система переходит в зону пониженных давлений. Во внутреннем объёме АВХА ПД, давление падает до минимального (в первоначальный момент) значения P_{min}. Насыщенный аммиаком ВАР в А-И в этот момент вскипает с отводом тепла от потока наружного воздуха. При охлаждении ВАР, в Г-А из окружающей среды за счёт разности температур возникает тепловой поток Q_0, который и представляет собой холодопроизводительность АВХА ПД. Образующийся пар аммиака абсорбируется в зоне Г-А с отводом теплоты абсорбции Q_a в окружающую среду с температурой t_x. В этом процессе происходит монотонное увеличение давления с соответствующим ростом температуры в зоне А-И. Воздушный поток, который омывает наружную поверхность А-И, охлаждается до температур ниже точки росы, и из него выпадает

конденсат воды. Процесс охлаждения происходит до установления температурного равновесия в зонах Г-А и А-И.

Для практической реализации предложенного способа получения воды из атмосферного воздуха необходимо оценить холодопроизводительность АВХА ПД при работе в различных климатических условиях, с перспективой максимального использования в засушливых жарких зонах планеты. Эта холодопроизводительность будет определяться количеством тепла, отобранного от воздуха при его охлаждении ниже температуры точки росы. В

связи с этим, исходные данные будут включать температуру и влагосодержание атмосферного воздуха и возможную максимальную температуру греющего источника t_h .

На начальном этапе расчёта необходимо задаться равновесным начальным составом ВАР – $x_{нач}$ (в жидкой фазе) и $y_{нач}$ (в паровой фазе). При расчёте примем количество ВАР в Г-А и А-И одинаковым. При равенстве температур $t_x^{Г\text{-}А}=t_x^{А\text{-}И}$, состав фаз будет определяться как:

а) для жидкой фазы:

$$x_{Г-А}{}^{нач} = \frac{m_{Г-А(x)}{}^{A}}{m_{Г-А(x)}{}^{A} + m_{Г-А(x)}{}^{B}} = x_{А-И}{}^{нач} = \frac{m_{А-И(x)}{}^{A}}{m_{А-И(x)}{}^{A} + m_{А-И(x)}{}^{B}} \quad (2.1)$$

а) для паровой фазы:

$$y_{Г-А}{}^{нач} = \frac{m_{Г-А(y)}{}^{A}}{m_{Г-А(y)}{}^{A} + m_{Г-А(y)}{}^{B}} = y_{А-И}{}^{нач} = \frac{m_{А-И(y)}{}^{A}}{m_{А-И(y)}{}^{A} + m_{А-И(y)}{}^{B}} \quad (2.2)$$

В период зарядки (рис. 1.а)) из зоны Г-А в зону А-И переходит некоторое количество пара аммиака и пара воды. Максимально возможное значение доли аммиака в жидкой фазе в А-И будет определяться следующей зависимостью:

$$x_{А-И}{}^{max} = \frac{m_{А-И(x)}{}^{A} + \Delta m_{(x)}^{A}}{m_{А-И(x)}{}^{A} + \Delta m_{(x)}^{A} + m_{А-И(x)}{}^{B} + \Delta m_{(x)}^{B}} \quad (2.3)$$

Соответственно, в Г-А произойдёт убыль этой массы:

$$x_{Г-А}{}^{min} = \frac{m_{Г-А(x)}{}^{A} - \Delta m_{(x)}^{A}}{m_{Г-А(x)}{}^{A} - \Delta m_{(x)}^{A} + m_{Г-А(x)}{}^{B} - \Delta m_{(x)}^{B}} \quad (2.4)$$

где $\Delta m_{(x)}{}^{A}$ и $\Delta m_{(x)}{}^{B}$ – соответственно, масса аммиака и воды в жидкой фазе, перешедшая из Г-А в А-И.

Значения $x_{Г\text{-}А}{}^{min}$ и значения $x_{Г\text{-}А}{}^{max}$ связаны между собой при помощи термодинамических параметров (P, t).

Задачей термодинамического расчёта АВХА ПД является определение рабочего диапазона с оценкой холодопроизводительности, которая и определяет производительность установки по извлечению воды из атмосферного воздуха методом механического осушения (обеспечения в зоне контакта стенки и воздуха температуры ниже точки росы).

Расчёт проведён для диапазона режимных параметров:

а) температура греющего источника (на стенке генератора) $t_h = 65..95$ °С;

б) температура «холодного» источника (температура атмосферного воздуха) $t_w = 25..45$ °С;

В качестве рабочего тела использован водоаммиачный раствор (ВАР).

В расчётах принимаем максимальную рабочую температуру в зоне охлаждения равной 10 °С;

Результаты расчета и анализ

На рис. 2 (а, б, в) приведены зависимости максимального и минимального состава (по ВАР) от температур греющей среды t_h =65..95 °С при фиксированной температуре атмосферного воздуха, равной t_w = 25, 35, 45 °С.

Анализ зависимостей на рис. 2 показывает, что при увеличении температуры греющего источника снижается доля аммиака в зоне генерации, что позволяет в период охлаждения получить более высокий движущий потенциал поглощения в процессе абсорбции, т. е. имеется возможность увеличить холодопроизводительность АВХА ПД и производительность установки по воде.

На рис. 3 приведены зависимости максимального состава в зоне А-И от температуры греющего источника $t_{гр}$ при фиксированных температурах атмосферного воздуха t_w = 25, 35, 45 °С, соответственно.

Анализ рис. 3 показывает, что с увеличением температуры греющего источника во всех случаях увеличивается доля аммиака в зоне охлаждения, а это увеличивает производительность установки по воде.

На рис. 2.б приведены зависимости максимального давления в системе от минимального состава в зоне Г-А и температуры греющего источника (t_h =65, 75, 85, 95 °С) при температуре атмосферного воздуха 35 °С. Анализ рис. 2.б показывает, что с увеличением температуры и доли аммиака в ВАР в зоне генерации, давление в АВХА ПД растёт, причём этот рост наиболее заметен при максимальных значениях X_{min}.

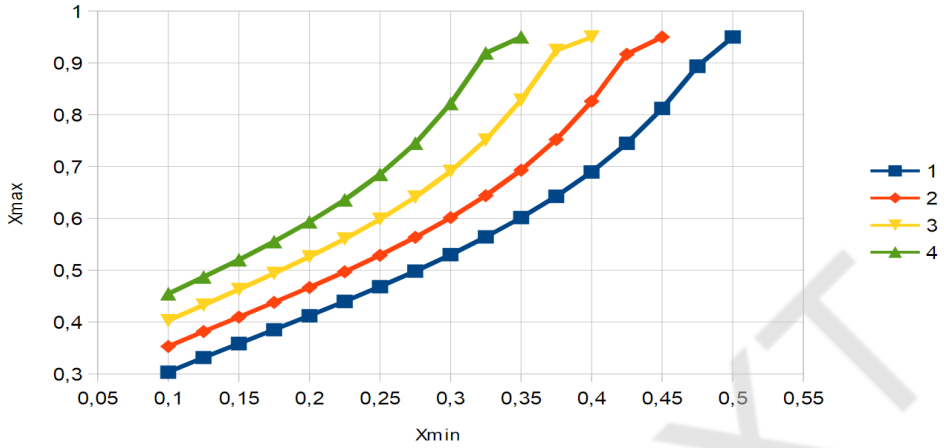


Рис.2.а)

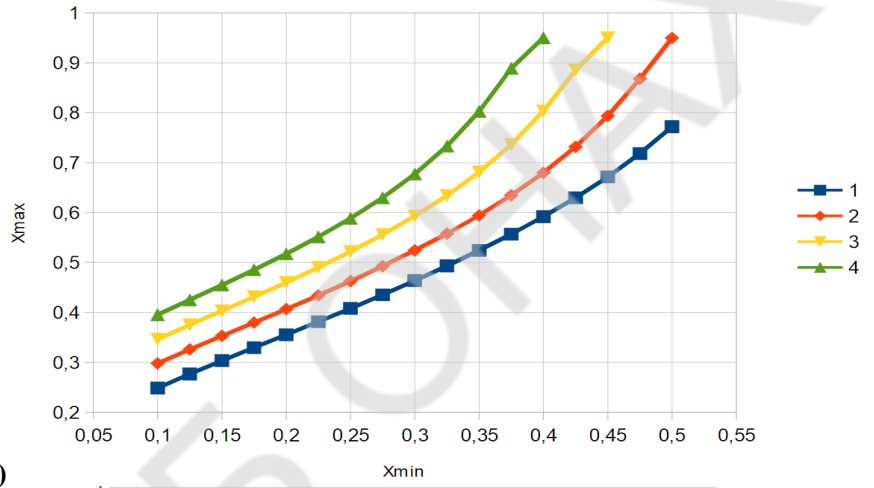


Рис.2.б)

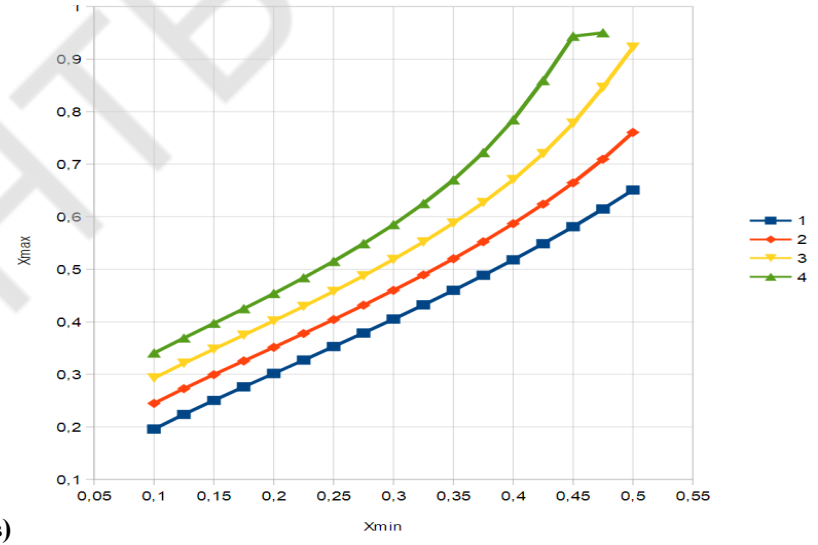


Рис.2.в)

Рис. 2 – Соотношение между максимальным и минимальным составом ВАР при фиксированной температуре атмосферного воздуха и различных температурах греющего источника: а) t_w = 25 °С б) t_w = 35 °С в) t_w = 45 °С; 1, 2, 3, 4 – температура греющего источника, соответственно: 65, 75, 85, 95 °С.

НТБ ОНАХТ

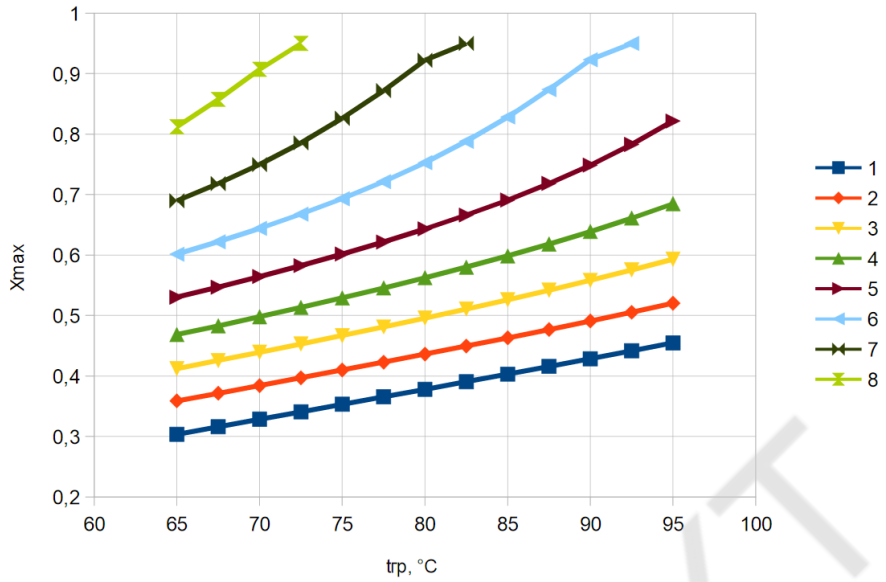


Рис. 3.а)

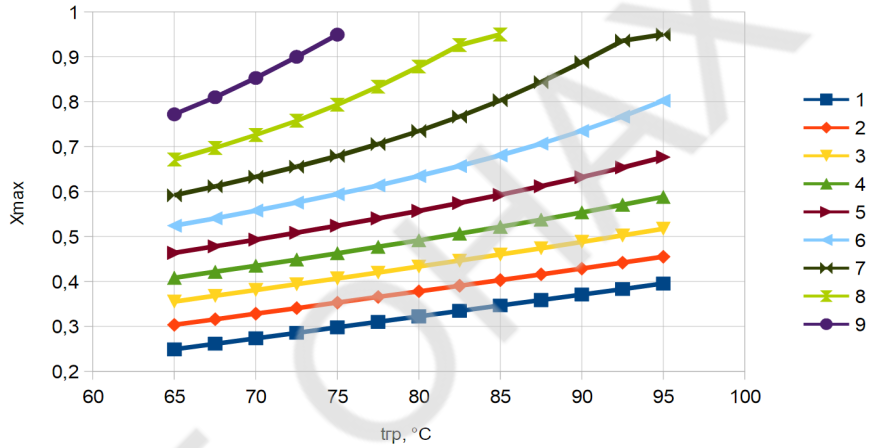


Рис. 3.б)

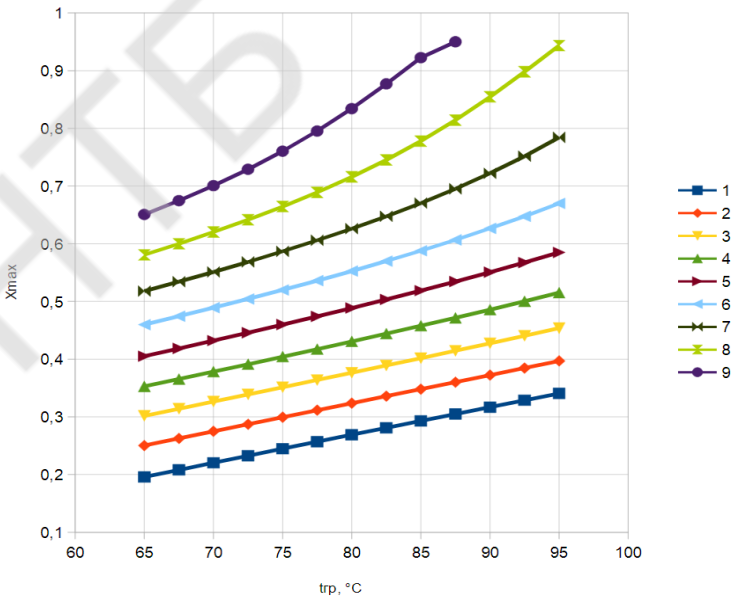


Рис. 3.в)

Рис. 3 – Влияние температуры греющего источника на состав ВАР в зоне охлаждения при различных составах ВАР в генераторе-абсорбере и фиксированной температуре атмосферного воздуха: а) t_w = 25 °С б) t_w = 35 °С в) t_w = 45 °С; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 – состав ВАР при минимальной доли аммиака X_{min}, соответственно: 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5

НТБ ОНАХТ

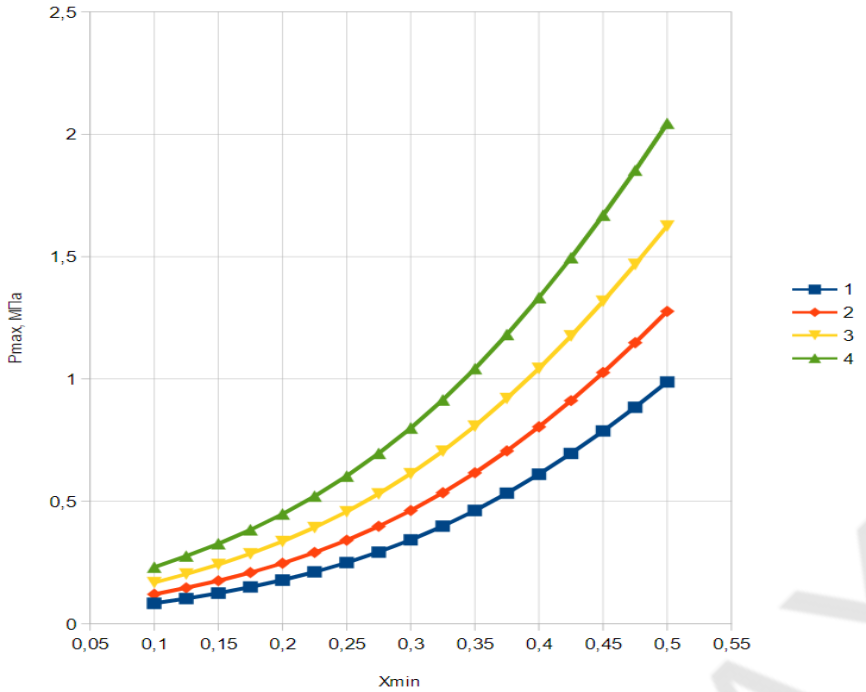


Рис. 4 – Зависимость максимального давления в АВХМ ПД от минимального состава ВАР в зоне генерации и температуры греющего источника для всего диапазона температур атмосферного воздуха: 1, 2, 3, 4 – температура греющего источника, соответственно: 65, 75, 85, 95 °С

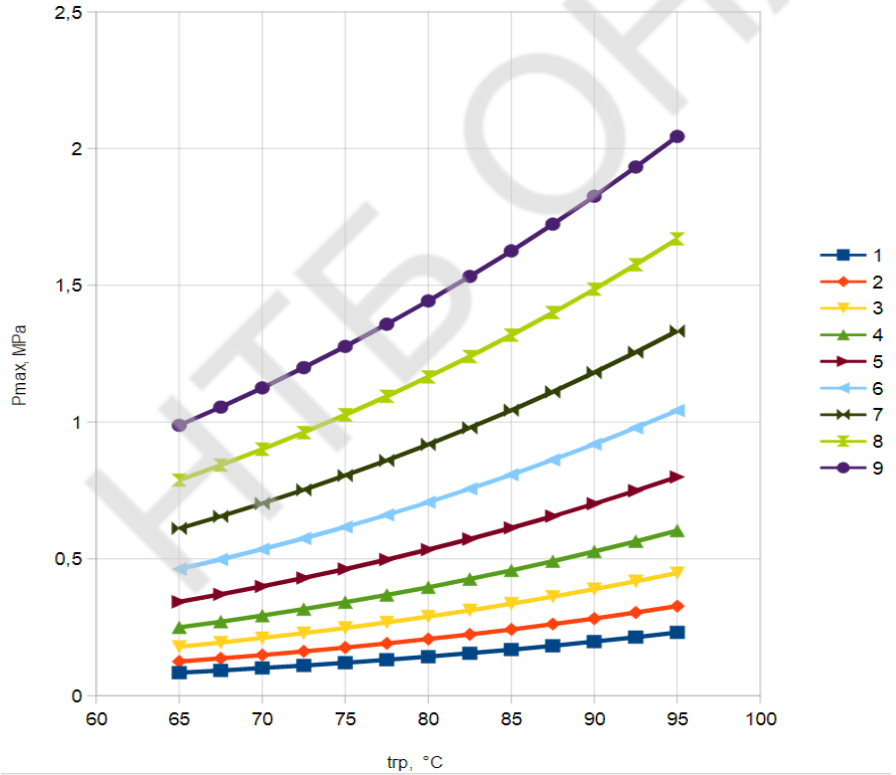


Рис. 5 – Зависимость максимального давления в АВХМ ПД от минимального состава ВАР в зоне генерации и температуры греющего источника для всего диапазона температур атмосферного воздуха: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 – состав ВАР при минимальной доли аммиака X_{min}, соответственно: 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5.

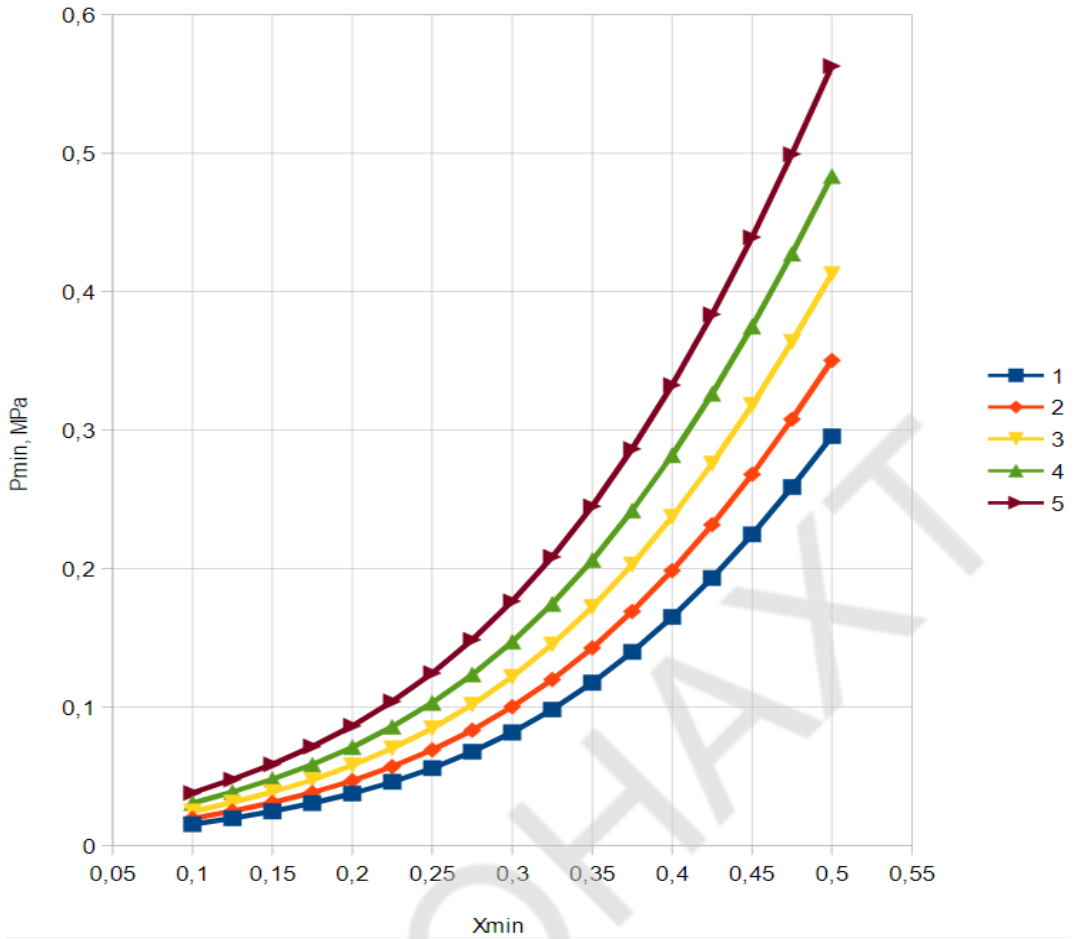
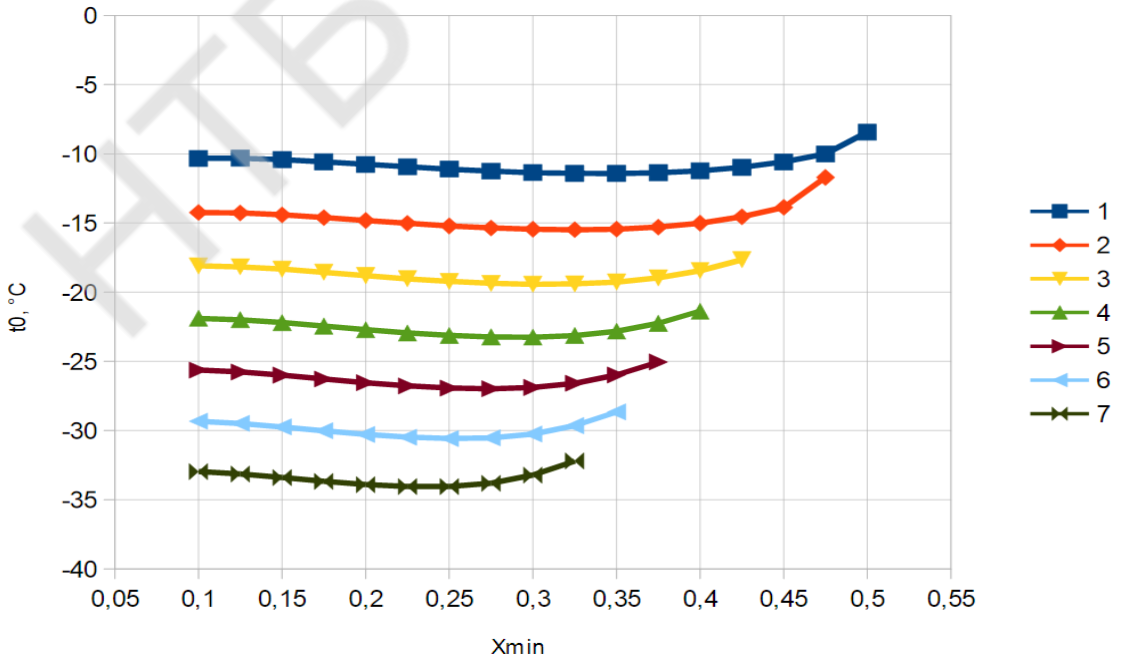
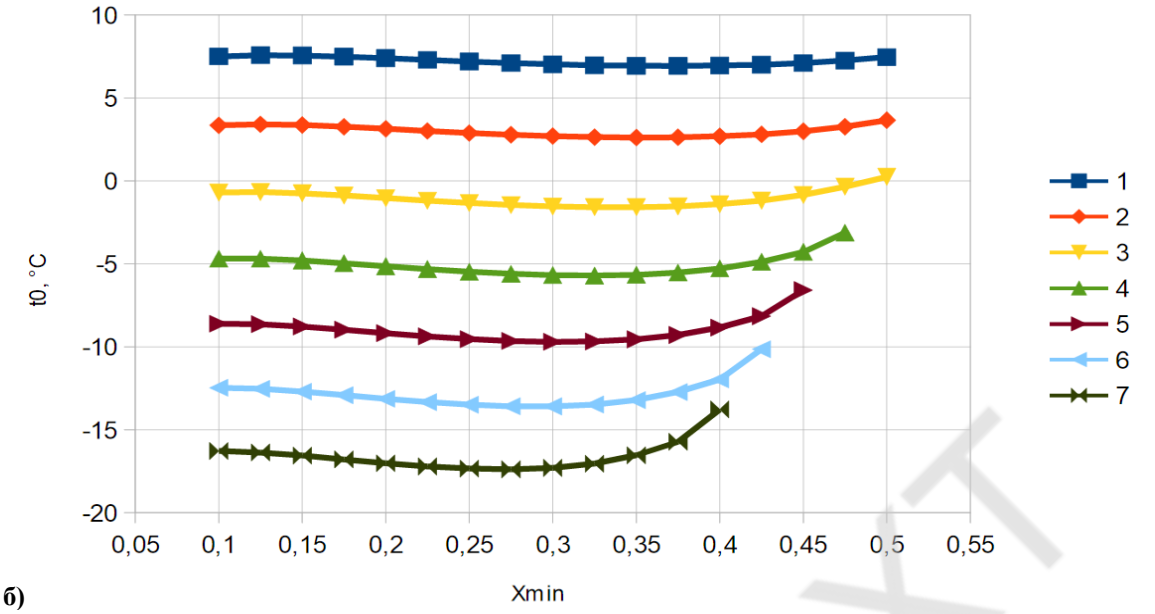


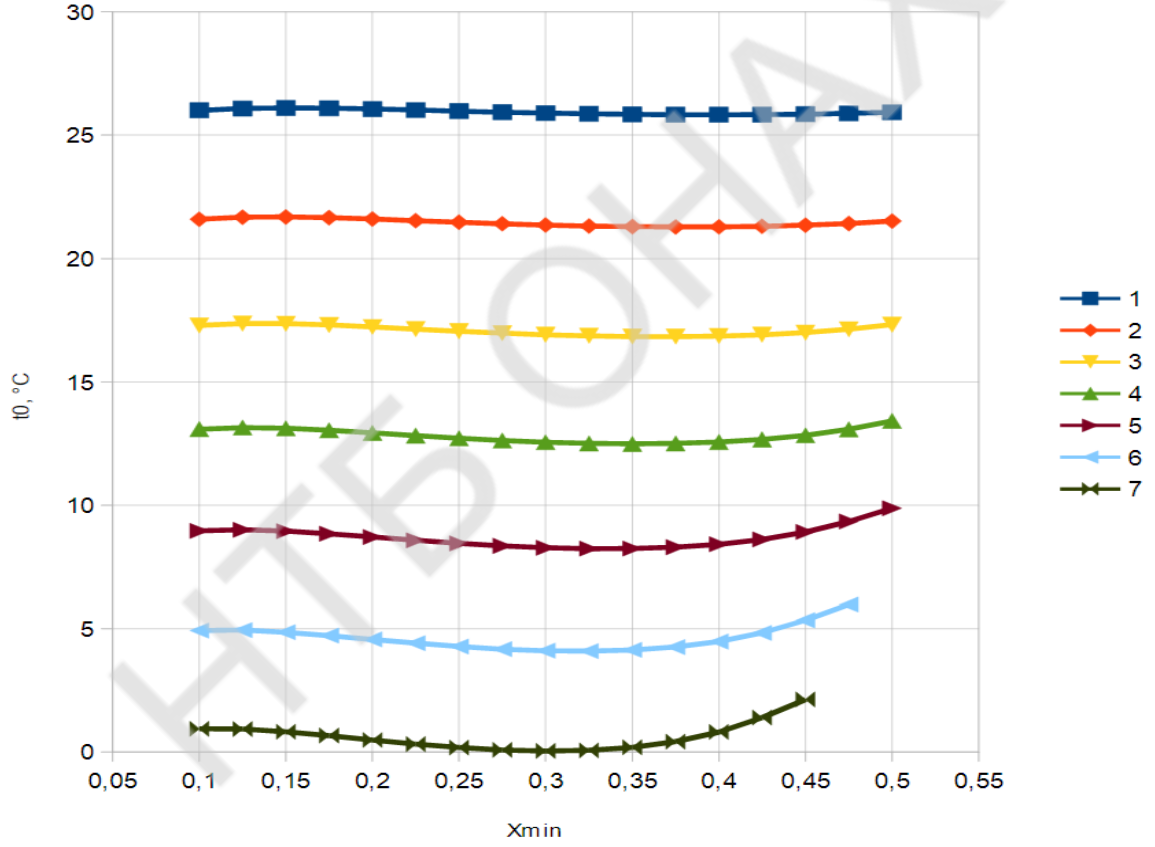
Рис. 6 – Зависимость минимального давления в АВХА ПД от минимального состава смеси в зоне генерации и температуры атмосферного воздуха для всего диапазона греющих температур: 1, 2, 3, 4, 5 – температура атмосферного воздуха, соответственно: 25, 30, 35, 40, 45 °С



а)



б)



в)

Рис. 7 – Зависимость минимальной температуры в зоне охлаждения от состава ВАР в зоне генерации и температуры греющего источника при фиксированной температуре атмосферного воздуха: а) t_w = 25 °С б) t_x = 35 °С в) t_w = 45 °С: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – температура греющего источника, соответственно: 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 °С

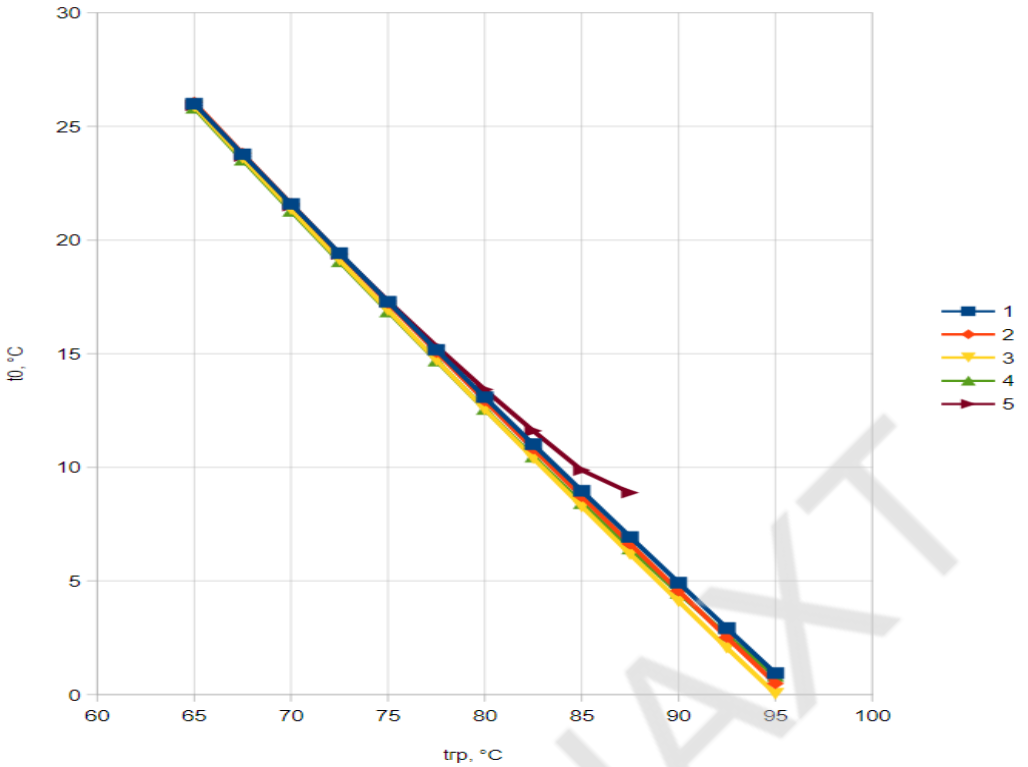
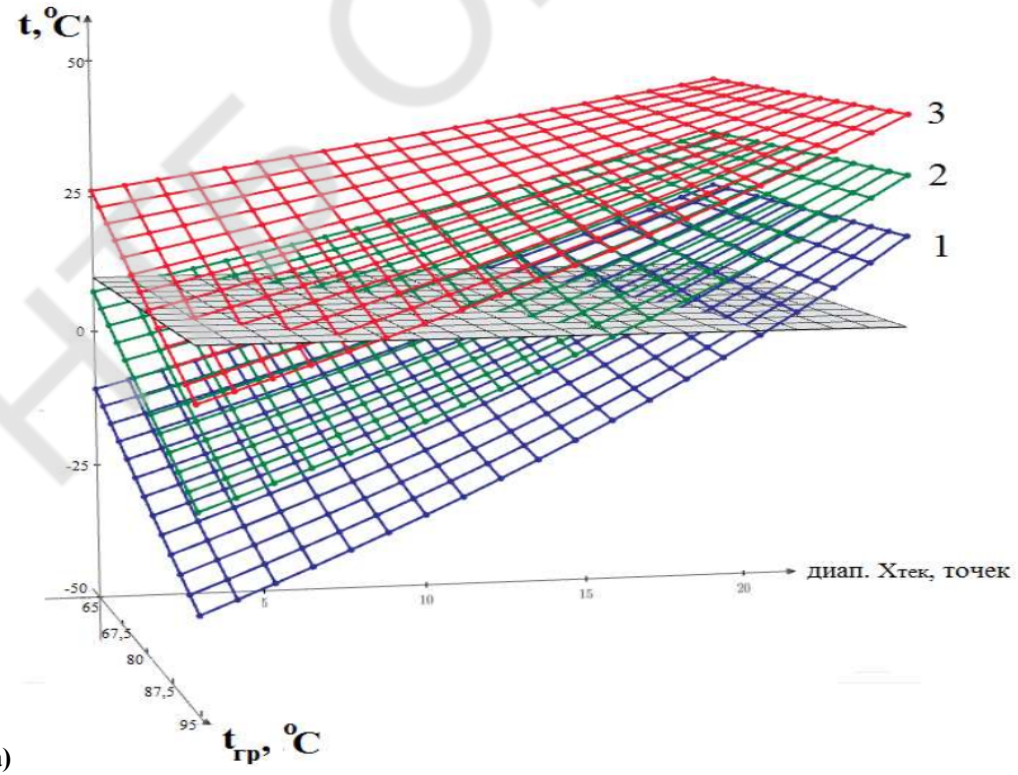


Рис. 8 – Зависимость минимальной температуры в зоне охлаждения от температуры греющего источника и состава ВАР в зоне генерации при фиксированной температуре атмосферного воздуха t_w = 35 °С: 1, 2, 3, 4, 5 – состав ВАР при минимальной доле аммиака X_{min}, соответственно: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5



а)

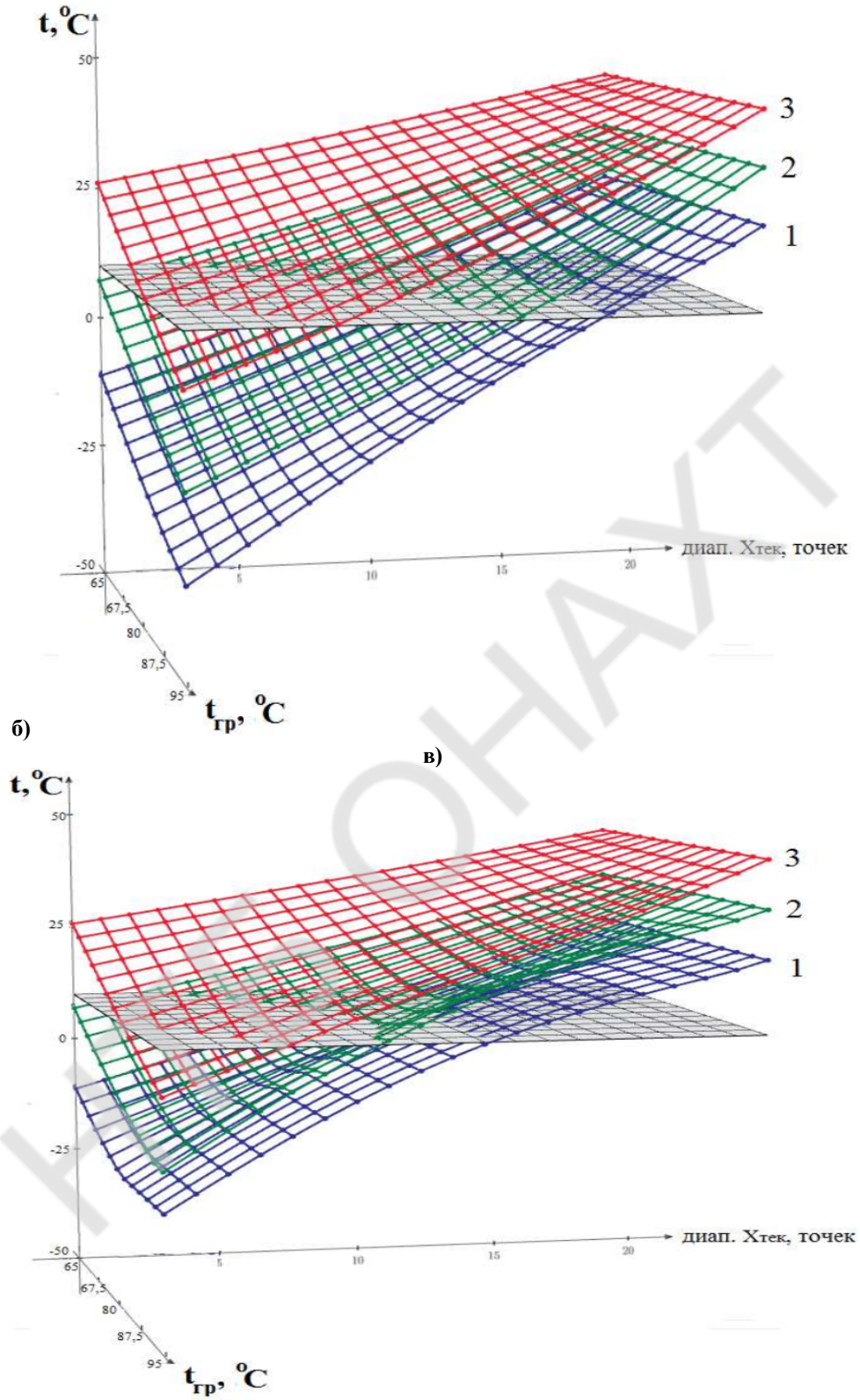


Рис. 9 – Зависимость текущей температуры в зоне охлаждения от состава ВАР и температуры греющего источника при фиксированном составе ВАР в зоне генерации: а) X_{min} = 0,2 б) X_{min} = 0,3 в) X_{min} = 0,4; (а, б, в) плоскости 1, 2, 3, – температура атмосферного воздуха, соответственно: 25, 35, 45, °С

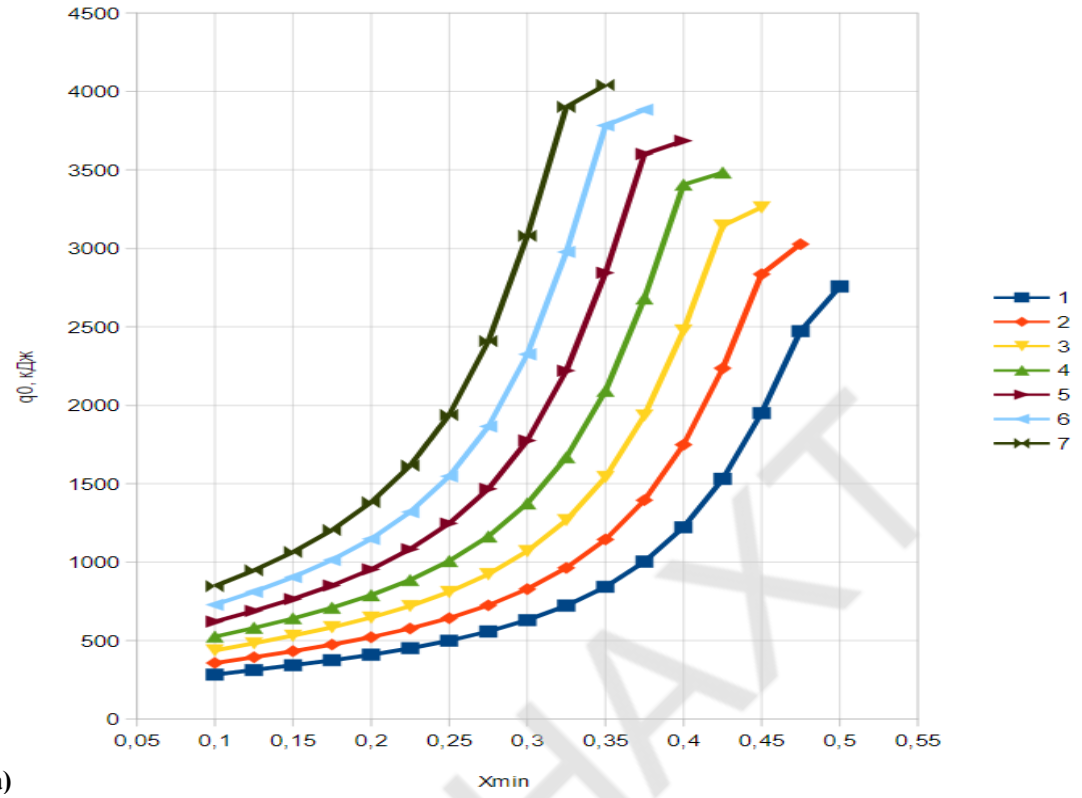


Рис.10. а)

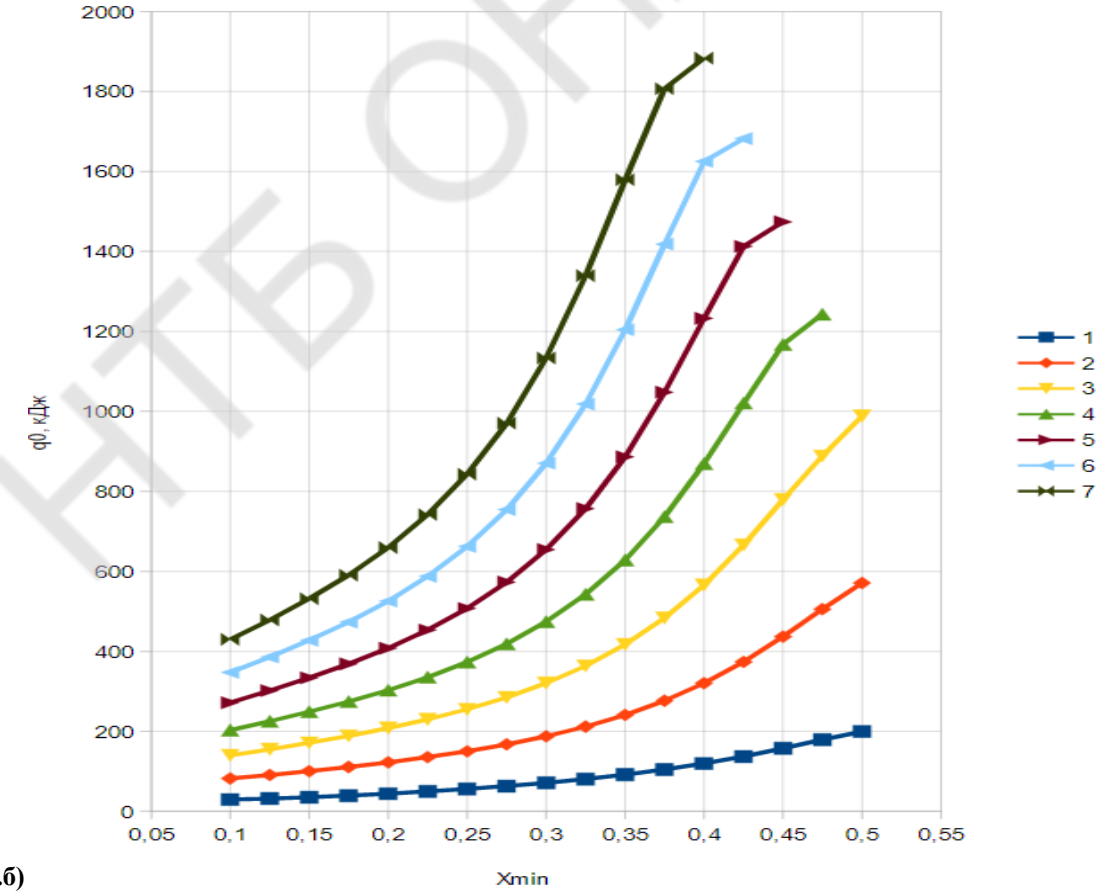


Рис. 10.б)

НТБ ОНАХТ

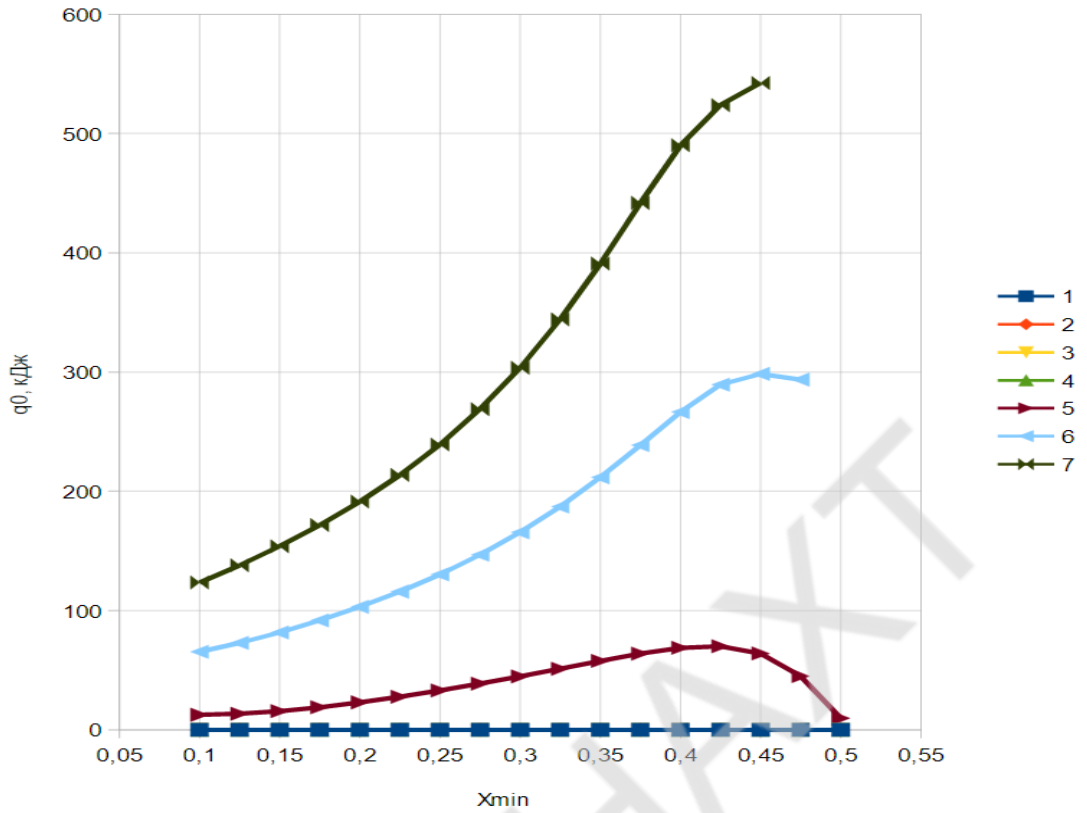


Рис. 10.в)

Рис. 10 – Зависимость холодопроизводительности АВХА ПД от состава смеси в зоне генерации и температуры греющего источника при фиксированной температуре атмосферного воздуха t_w = 35 °С: а) t_w = 25 °С б) t_w = 35 °С. в) t_w = 45 °С: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – температура греющего источника, соответственно: 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 °С

На рис. 4 – 5 приведены зависимости максимального давления в АВХА ПД от температуры греющего источника и состава ВАР в зоне генерации. Анализ этих зависимостей показывает, что с увеличением температуры греющего источника давление в системе также увеличивается, при этом максимальный рост давления отмечается при увеличении доли аммиака в зоне генерации. Так, при X_{min} = 0,1 при росте t_h от 65 °С до 95 °С, давление увеличивается на 0,12 МПа, тогда как при X_{min} = 0,5 рост давления составляет 1,1 МПа.

На рис. 6 приведена зависимость минимального давления в системе от состава смеси в зоне А-И (X_{min}) и температуры атмосферного воздуха (t_w = 25, 35, 45 °С).

Анализ рис.6 показывает, что с ростом температуры атмосферного воздуха минимальное давление в системе (при фиксированном составе в зоне генерации) возрастает, причём этот рост больший при больших значениях X_{min}. Это говорит о том, что при увеличении температуры атмосферного воздуха, и росте давления в системе повышается и температура в зоне охлаждения, т. е. холодопроизводительность АВХА ПД снижается. Особенно заметен этот эффект при больших численных значениях X_{min}.

Анализ зависимости на рис. 7 показывает, что с ростом температуры греющего источника, температура в зоне охлаждения снижается. Так, при t_h = 65 °С, t_{ob} = 7 °С, а при t_h = 95 °С, t_{ob} = минус 17 °С. При этом состав ВАР в зоне генерации незначительно влияет на минимальную температуру в зоне охлаждения, что иллюстрируется на рис 8.

Для оценки холодопроизводительности АВХА ПД проведён расчёт текущих параметров ВАР в рабочих зонах в процессе зарядки и разрядки. Используя формулы (3) и (4) и пренебрегая количеством амиака в паровой фазе, получаем зависимость текущих параметров (в первую очередь, температуры в зоне А-И) в период разрядки.

На рис. 9 (а, б, в), горизонтальной плоскостью изотермы 10 °С = const, отделена область наиболее вероятных значений температур точки росы. Ниже этой плоскости расположена область «полезных» значений параметров АВХА ПД в системах получения воды из атмосферного воздуха, выше – «рабочих»

параметров, которые не позволяют получать воду из воздуха, но необходимы для завершения термодинамического цикла АВХА ПД.

Для оценки холодопроизводительности АВХА ПД в области «полезных» параметров был проведен расчёт среднеинтегрального за рабочий период «зарядки-разрядки» значения теплоты парообразования аммиака ($r_{ср00}$). Значение $r_{ср00}$ в зависимости $r_{ср00} = f(P_{тек}, t_{тек})$. За рабочий период рассчитывается масса испарившегося аммиака $\Delta m^{A}_{(x)}$ и холодопроизводительность

$$q_o = \Delta m^{A}_{(x)} \cdot r_{cpoo} \tag{5}$$

На рис. 10 полученные зависимости холодопроизводительности АВХА ПД рассчитаны по формуле (5). Анализ зависимостей на рис. 10 показывает, что холодопроизводительность возрастает с увеличением температуры греющего источника. Так, при t_w = 25 °С и X_{min} = 0,3, при росте t_h от 65 до 95 °С, рост q_o составляет от 650 до 2800 кДж. При t_w = 35 °С, q_o увеличивается от 50 кДж до 1200 кДж. При t_w = 45 °С режим работы АВХМ не реализуется при температурах греющей среды ниже 95°С.

При низких температурах атмосферного воздуха получить достаточно высокие значения холодопроизводительности можно, увеличив количество аммиака в ВАР в зоне генерации. Так, аналогичные значения q_o = 2650 кДж при t_w = 25 °С можно получить и при t_h = 95 °С и X_{min} = 0,3, и при t_h = 65 °С и X_{min} = 0,5.

Выводы

1. При увеличении температуры греющего источника снижается доля аммиака в зоне Г-А, что позволяет в период охлаждения получить более высокий потенциал процесса абсорбции, т.е. можно увеличить холодопроизводительность АВХА ПД и производительность по извлечению воды из атмосферного воздуха. Так при росте температуры греющего источника от 65 °С до 95 °С минимальная температура в зоне охлаждения снижается от 7 °С до минус 17 °С.
2. При увеличении температуры атмосферного воздуха холодопроизводительность АВХА ПД снижается, причем особенно заметна эта тенденция при больших долях аммиака в зоне генерации.
3. Проведенная оценка холодопроизводительности АВХА ПД показала, что она возрастает с увеличением температур греющего источника, причем при более низких значениях температуры атмосферного воздуха эта тенденция более явная.
4. При низкой температуре атмосферного воздуха можно получить максимальные значения холодопроизводительности АВХА ПД, увеличив количество аммиака в зоне генерации.

Литература

1. Бадылькес И.С., Данилов Р.Л. Абсорбционные холодильные машины [Текст] / И. Бадылькес, Р. Данилов. – М.: Пищевая пром-сть, 1966. – 356 с.
2. Блиер Б.М. Теоретические основы проектирования абсорбционных термотрансформаторов / Б.М.Блиер, А.Б. Вургафт – М.: Пищ. пром-сть, 1971, - 202 с., ил.
3. Галимова Л.В. Абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы [Текст] : монография / Л.В. Галимова. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 1997. – 226 с.
4. Ищенко И.Н. Перспективы применения абсорбционных водоаммиачных холодильных машин в системах получения воды из атмосферного воздуха / И.Н. Ищенко, А.С.Титлов, А.Н. Краснопольский / Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: технічні науки. Випуск 7, С. 92-97.
5. Ищенко И.Н. Разработка систем получения воды из атмосферного воздуха на базе теплоиспользующих холодильных машин / И.Н. Ищенко, А.С.Титлов, А.Н. Краснопольский // Збірник тез доповідей науково-технічної конференції студентів, аспірантів, молодих учених «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» (Додаток до журналу «Холодильна техніка і технологія»). – 2010. – С. 45-47.
6. Ищенко И.Н. Моделирование циклов насосных и безнасосных абсорбционных холодильных агрегатов / И.Н. Ищенко // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2010. – № 38. – Т. 2. – С. 393-404.
7. Ищенко И.Н. Инженерные методы расчета термодинамических параметров и теплофизических свойств рабочего тела абсорбционного холодильного агрегата / И.Н. Ищенко, А.С. Титлов, Г.М. Олифер // Харчова наука і технологія. – 2010. – № 4. – С.100-103.

УДК 621.575:620.91:662.997

НОВЫЕ СХЕМЫ АБСОРБЦИОННЫХ ВОДОАММИАЧНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ РАБОТЫ В СИСТЕМАХ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Осадчук Е.А., ассистент, Васылив О.Б., канд. техн. наук, доцент, Кирилов В.Х., д-р техн. наук, профессор, Мазуренко С.Ю., аспирант
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В наше время, основной объем рынка оборудования по выделению воды из воздуха приходится на системы, имеющие в своем составе компрессионную холодильную установку с электрическим приводом, которые гарантировано обеспечивают температуру ниже точки росы. Для получения 1 литра воды требуется затратить около 1 кВт·ч электроэнергии, а в среднем из потока воздуха 1 кг/с выделить ~ 10 г/с воды. При холодильном коэффициенте компрессионной холодильной машины, равном 3, на производство 1 литра воды будет затрачивается энергия порядка ~ 0,33 кВт·ч. Вместе с тем применение компрессионных установок перспективно только для производительности до 3–4 литров воды в час. При более высокой производительности происходит существенное возрастание габаритов установки.

Несравненно большая, по сравнению с компрессионными аналогами, производительность систем получения воды из атмосферного воздуха может быть достигнута при адиабатном расширении в турбодетандере воздушной холодильной машины. Такие машины успешно применяются в космической технике при организации запуска летательных аппаратов.

Однако, в мире насчитывается немало мест, а это страны Африки, Юго-Восточной Азии, Южной Америки, где помимо проблем с водой есть проблемы и с электроэнергией, да и в свете глобальных проблем с истощением нефтяных и газовых ресурсов планеты – расходование электричества на решение этой проблемы становится проблематичным. Эти проблемы характерны и для южного региона Украины.

В этой связи разработчики систем получения воды из атмосферного воздуха уделяют значительное внимание теплоиспользующим холодильным установкам, источником тепла в которых является солнечная энергия. Одним из многообещающих направлений является возможность использования существующей инфраструктуры солнечных нагревателей воды, суммарный объем площадей коллекторов которых в мире более 200 млн.м^2.

Тем не менее, абсорбционные водоаммиачные схемы с воздушным охлаждением теплорассеивающих элементов (абсорбционно-диффузионные холодильные агрегаты – АДХА) в большинстве случаев не могут быть напрямую использованы в системах получения воды из атмосферного воздуха при работе с солнечными коллекторами. Это связано с тем, что в настоящее время основной парк солнечных коллекторов составляют конструкции с водой в качестве теплоносителя. Максимальная температура нагрева в таких системах не превышает 100 ºС, а этого недостаточно для полноценной реализации абсорбционного водоаммиачного холодильного цикла даже в зоне умеренного климата, как для насосной схемы (оптимальный рабочий диапазон 120-140 ºС), так и для безнасосной (оптимальный рабочий диапазон 150-170 ºС). Повышенный уровень температур в безнасоной схеме связан с наличием инертного выравнивающего газа (традиционно – водорода), позволяющего избавится от перекачивающих элементов конструкции.

Необходимо отметить и тот факт, что рабочим телом абсорбционных водоаммиачных холодильных агрегатов, как насосного и безнасосного типа, служит природное рабочее тело – водоаммиачный раствор (ВАР), не оказывающий неблагоприятное техногенное воздействие на экосистему планеты. К тому же аммиак позволяет расширить область применения абсорбционных холодильных систем в части снижения температуры холодного источника ниже 0 ºС, например, для решения кондиционирования воздуха или холодильного хранения пищевых продуктов и сырья.

Таким образом, исследования и разработки теплоиспользующих абсорбционных водоаммиачных холодильных агрегатов (АВХА) с солнечными водяными коллекторами для систем получения воды из атмосферного воздуха в части расширения их области применения можно считать актуальными. С учетом приведенного выше анализа, а также с учетом простоты конструкции и способа реализации для дальнейшей разработки был выбран вариант традиционной АВХА с теплообменником растворов и с бустер-компрессором на магистрали подачи пара аммиака в конденсатор (рис.1).

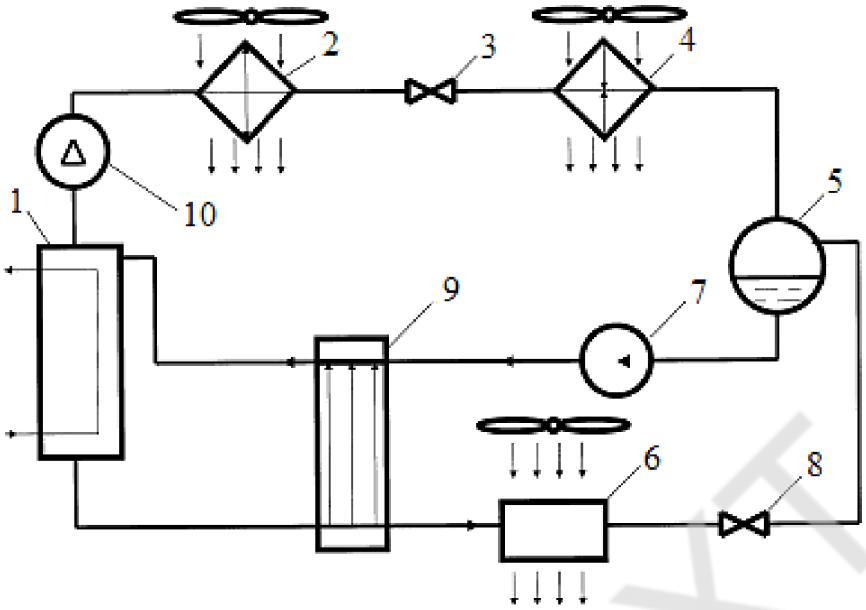


Рис. 1 – Схема АВХА с поджимающим бустер-компрессором:
1 – генератор-кипятильник; 2 – воздушный конденсатор; 3 – дроссель жидкого аммиака; 4 – воздухоохладитель; 5 – абсорбер; 6 – воздушный охладитель слабого раствора; 7 – насос крепкого раствора; 8 – дроссель слабого раствора; 9 – теплообменник растворов; 10 – бустер-компрессор

С помощью оригинального алгоритма расчета циклов АВХА был проведен анализ циклов АВХА с поджимающим бустер-компрессором перед конденсатором. Интерес представлял своеобразный «модифицированный холодильный коэффициент» (МХК) цикла АВХА (η), который представляет собой отношение полезного эффекта (искусственного холода) с затраченной в циркуляционном насосе 7 и бустер-компрессоре электрической мощности. С учетом того, что тепловая энергия греющего источника поступает от СК, ее, как бы полученную даром, мы не учитывали.

Анализ показал, что с повышение температуры греющего источника от 80 °С до 100 °С эффектность АВХА возрастает почти в 2 раза.

Интерес представляет и сравнение цикла АВХА с бустер-компрессором и цикла парокомпрессионной холодильной машины (ПКХМ), работающей в том же диапазоне параметров температур объекта охлаждения и наружного воздуха.

Показано, что имеют место энергетические преимущества (от 11 до 24 %) у АВХА с бустер-компрессором даже перед идеальным холодильным циклом Карно, начиная с уровня температур греющего источника 100 °С .

Проведенный расчет АДХА показал невозможность их прямого использования в системах получения воды из атмосферного воздуха из-за повышенных требований к температуре греющего источника.

С учетом требований к температуре греющего источника была предложена следующая система получения воды из атмосферного воздуха на базе АДХА (рис.2).

Установка содержит АДХА, в состав которого входят: генератор 1, дефлегматор 2, конденсатор 3, испаритель 4, опускной 5 и подъемный 6 каналы парогазового контура, абсорбер 7, ресивер раствора рабочего тела 8, теплообменник типа «труба в трубе» 9 растворов рабочего тела, каналы слабого 10 и крепкого 11 растворов рабочего тела. Генератор 1 АДХА установлен в фокусе параболического зеркального концентратора солнечного теплового излучения 12. АДХА заправлен ВАР и водородом в качестве выравнивающего инертного газа. ВАР частично заполняет генератор 1 и ресивер 8, а теплообменник 8 и каналы 10 и 11 – полностью. Контур естественной циркуляции воздушного потока представляет собой U – образный канал с опускными 13 и подъемными 14 частями. В опускном канале 13 установлена емкость 15 для сбора конденсата, стекающего с испарителя 4. Из емкости 15 конденсат отводится для дальнейшего хранения в сосуде 16. В верхней части опускного канала 13 размещен испаритель 4 АДХА, а в нижней и верхней части подъемного канала 14, соответственно, абсорбер 7 и конденсатор 3.

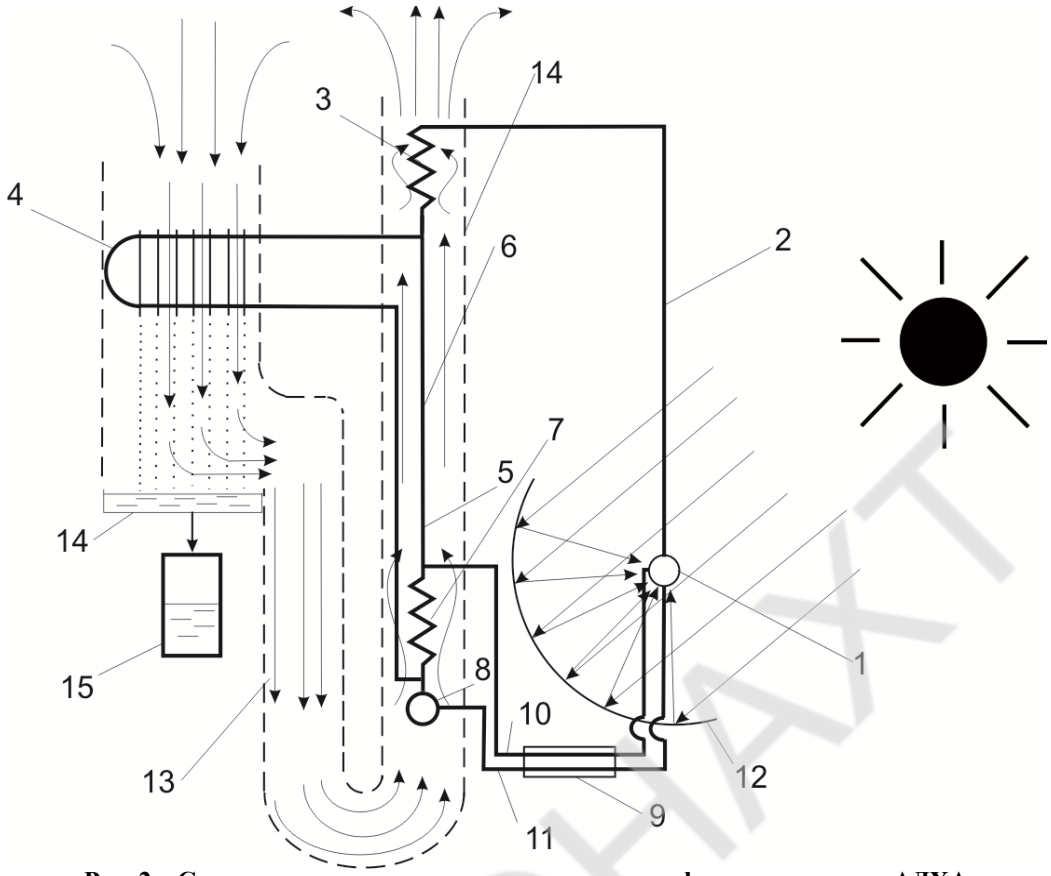


Рис. 2 – Схема установки получения воды из атмосферного воздуха с АДХА

Выводы

1. Предложена схема АВХА с поджимающим бустер-компрессором перед конденсатором для работы в составе системы получения воды из атмосферного воздуха с источником тепла от солнечных коллекторов с водой в качестве теплоносителя, которая несмотря на дополнительные затраты энергии на привод компрессора, может обеспечить работу АВХА с источниками тепла от 80 °С, причем с повышением температуры греющего источника от 80 °С до 100 °С энергетическая эффектность АВХА возрастает в 2 раза.

2. Сравнительный анализ энергетических характеристик цикла АВХА с поджимающим бустер-компрессором и цикла ПКХМ, работающей по идеальному циклу Карно, показал преимущество АВХА, начиная с уровня температур греющего источника 100 °С.

3. Применение безнасосного АДХА позволяет реализовать абсолютно автономный способ получения воды из атмосферного воздуха, повышенная производительность которого зависит только от интенсивности солнечного теплового излучения и постоянна в течение светового дня.

РЕПОЗИТОРИЙ ОНАХТ

УДК 621.575:620.91:662.997

МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ЗЕРНА МЕЛКОСЕМЕННЫХ КУЛЬТУР

Петушенко С.Н., преподаватель, Олейник Е.В., магистр
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Зерно – это один из важнейших основных продуктов питания человека, для выращивания и сбора которого привлекаются обширные ресурсы. По данным продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, в мире ежегодно портится около 20 % собранных зерновых [1]. Основная задача хранения зерна – сохранить зерно без потерь в массе или с минимальными потерями.

Потери, обусловленные ухудшением качества хранящегося зерна, приводят и к количественным потерям. Как показал многолетний опыт в технологии первичной обработки свежеубранного зерна, одной из актуальных задач является его охлаждение до температур, обеспечивающих безопасное хранение. Многочисленными физиологическими, биохимическими и технологическими исследованиями установлено, что понижение температуры зерна ниже 8…10 °С резко снижает интенсивность физиолого-биохимических процессов, способствует сохранению исходного качества зерна и увеличивает сроки его хранения как при длительном хранении зерна, так и при его временном хранении до возможной дополнительной обработке в сушилке.

Таким образом, проблема разработки систем первичной холодильной обработки мелкосеменного зерна являются актуальными.

Целью настоящего исследования является оценка перспектив применения различных типов холодильных машин для низкотемпературного хранения зерна и разработка таких систем для мелкосеменного зерна.

Несмотря на широкое применение в настоящее время ПКХМ, можно говорить и об определенных перспективах теплоиспользующих холодильных машин абсорбционного (АХМ) и пароэжекторного (ПЭХМ) типа в стационарных системах охлаждения зерна. АХМ и ПЭХМ используют, как правило, теплоту низкого температурного потенциала, например теплоту выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания, бросового тепла газотурбинных установок и котельных агрегатов.

Электрическая энергия в АХМ и ПЭХМ используется только для привода насосов и в системах автоматики, причем в АХМ в суммарном подводе энергии доля электричества составляет от 0,5 % (бромисто-литиевые установки) до 2,3 % (водоаммиачные), в ПЭХМ ~0,6 %.

Рассольные бромисто-литиевые АХМ обеспечивают охлаждение объектов до 6…12 °С с тепловым коэффициентом 0,64…0,69.

Тепловой коэффициент серийных ПЭХМ в диапазоне температур охлаждения 4…8 °С составляет 0,06…0,13 при холодопроизводительности 350…1150 кВт.

Проведем сравнение ПКХМ с компрессором П220 и аммиаком в качестве холодильного агента.

Расчеты показывают, что холодильный коэффициент такой ПКХМ при температуре кипения 5 °С и температуре конденсации 30 °С составляет 7,5, а холодопроизводительность 650 кВт. При этом в рассмотренном ПКХМ затраты электроэнергии на производство 1 кВт искусственного холода составляют 0,13 кВт; в бромистолитиевых АХМ – 0,008 кВт, водоаммиачных АХМ – 0,04 кВт; ПЭХМ – 0,1 кВт.

Эти результаты позволяют сделать вывод о том, что при наличии бросовых энергоресурсов эксплуатационные затраты при работе всех типов теплоиспользующих холодильных машин (АХМ и ПЭХМ) ниже, чем у ПКХМ.

Для решения поставленной задачи были проведены экспериментальные исследования режимов низкотемпературной обработки мелкосеменных культур

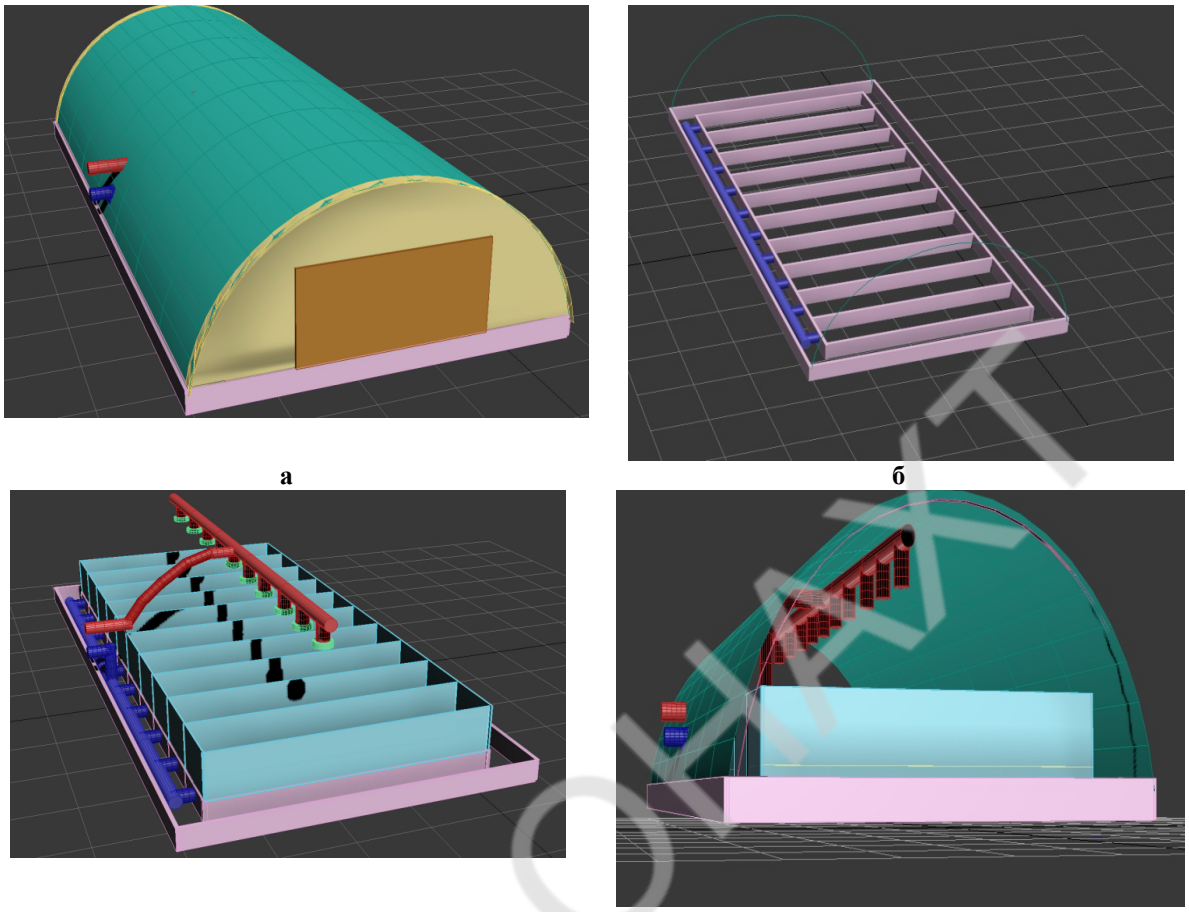
Исследования проводились на специально изготовленной лабораторной установке. Объектом исследований было выбрано зерно рапса.

Получено уравнение для определения коэффициента конвективного теплообмена при холодильной обработке зерен рапса [2]:

$$Nu = 2 + 0.2 \cdot Re_{Э}^{0.5} \cdot Pr^{0.33} \cdot \left(\frac{d}{h}\right)^{1.423}.$$

Диапазон изменения симплекса: $1{,}1 \le \left(\frac{d}{h}\right) \le 0{,}37$.

Разработанная система охлаждения склада для напольного хранения влажного зерна мелкосеменных культур приведена на рис. 1, а-г [3].



а **б** **в** **г**

Рис. 1 – Система охлаждения склада для напольного хранения влажного зерна мелкосеменных культур: а – общий вид; б – система распределения воздушных потоков; в – система отвода отработанного нагретого воздуха; г – вид со снятой торцовой перегородкой

Конструкцию предполагается устанавливать в местах непосредственной заготовки зерна. Зерно загружается в отдельные перегородки, в нижней части которых расположены каналы для подачи охлажденного воздуха. Для недопущения просыпки зерна в нижней части перегородок установлены перфорированные решетки. Отвод отработанного воздуха осуществляется воздуховодами из верхней части хранилища.

Выводы

1. Проведенная оценка перспектив применения холодильных машин, реализующие различные способы получения искусственного холода показала, что:

а) в качестве стационарных холодильных установок на элеваторах и зерноскладах Украины и стран СНГ можно рекомендовать бромисто-литиевые и водоаммиачные АХМ (бромисто-литиевые и водоаммиачные) и ПЭХМ, причем в связи с высокой стоимостью стационарных систем на базе ПКХМ применение дешевых экологически чистых теплоиспользующих аппаратов представляется перспективным уже в ближайшее время;

б) наибольшие перспективы в мобильных системах охлаждения зерна на базе ПКХМ имеет природный хладагент – аммиак, обладающий к тому же превосходными экологическими характеристиками;

в) в ближайшей перспективе в системах охлаждения зерна стационарного типа могут быть использованы ПЭХМ с холодильным агентом R134a – они обеспечивают возможность использования низкопотенциального тепла на уровне температур плюс 70...80 ºС, конструкции их компактны, а давление в системе поддерживается выше атмосферного, что исключает подсос воздуха в испаритель.

2. Проведенные экспериментальные исследования процессов конвективного теплообмена при продувке неподвижного слоя мелкосеменного зерна показали, что

а) охлаждение зерна до 8...10 ºС сопровождается частичным его осушением: для рапса – 1,13 %, для проса – 0,98 %, при этом максимальная интенсивность уноса влаги наблюдается вначале термообработки, так, например, при снижении температуры на 50 % от начальной температуры зерна унос влаги составляет для рапса – 90 %, проса – 80 %;

б) найденный эффект осушения зерна при его охлаждении позволяет исключить из технологической цепочки процесс высокотемпературной сушки, а это не только сократит энергозатраты при хранении мелкосеменного зерна, но и повысит его качество.

3. На основе проведенного анализа и результатов экспериментальных исследований процессов конвективного теплообмена предложены две схемы системы первичного охлаждения зерна – контейнерного (мобильного) и стационарного типа, каждая из которых может быть использована в фермерских и крестьянских хозяйствах Украины в зависимости от объема перерабатываемой продукции.

Литература

1. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций (FAO) [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.fao.org/home/ru.
2. Петушенко, С.Н. Современное состояние техники и технологии низкотемпературной обработки и хранения зерна мелкосеменных культур [Текст] / С. Н. Петушенко // Холодильна техніка та технологія. – 2013. – № 2. – С. 71-74.
3. Петушенко С.Н. Разработка систем охлаждения для первичной низкотемпературной обработки и хранения зерна мелкосеменных культур / С.Н. Петушенко, А.С. Титлов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 3/8(75). – С. 50-56. DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44139.

УДК 621.575.932

РАЗРАБОТОК ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АБСОРБЦИОННЫМИ ХОЛОДИЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ (АХП)

Титлова О.А., канд. техн. наук, доцент, Ольшевская О.В., канд. техн. наук, ст.преп.
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В состав АХП входит абсорбционный холодильный агрегат (АХА), который реализует безнасосный абсорбционно-диффузионный холодильный цикл. Рабочее тело АХА состоит из природных компонентов – водоаммиачного раствора (ВАР) с добавкой инертного газа.

Исследования и разработки, позволяющих снизить энергопотребление в бытовых холодильных приборах абсорбционного типа, выполняются в направлениях: совершенствования термодинамических циклов, режимов работы и конструкций элементов АХП; рационального использования искусственного холода; совершенствования режимов работы, способов и систем управления АХП [1,2]. Разработки, выполненные в рамках первых двух направлений, могут быть реализованы исключительно на этапе проектирования, т.к. предполагают изменение конструкции АХА, тогда, как в третьем – реализуемы как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации. Поэтому, рассмотрим подробнее именно последнее направление. Современные исследования в данном направлении связаны с работами отечественных [3-6] и зарубежных ученых.

Основной акцент в них сделан на решение проблемы энергоэффективности АХП при эксплуатации в широком диапазоне температур наружного воздуха. Известно [3,4], что АХП, как и другие холодильные приборы проектируются, в первую очередь, для поддержания заданного уровня охлаждения в охлаждаемых камерах в «жестких» условиях эксплуатации (для Украины это 32 °С). И если для компрессионных аналогов снижение температуры наружного воздуха до 10 °С (при более низкой температуре есть опасность поломки компрессора при пуске из-за загустевания масла) только увеличивает энергетическую эффективность холодильного прибора, то для абсорбционных моделей ситуация неоднозначна. В АХП, как и в компрессионных аналогах, снижение температуры наружного воздуха способствует уменьшению теплопритоков в охлаждаемые камеры и улучшает условия отвода холодильного цикла в окружающую среду. Однако в АХП хорошие условия отвода тепла с теплорассеивающих элементов негативно влияют на подачу аммиака из генератора АХА в конденсатор.

Проведенные исследования ставили целью анализ влияния подводимой в генераторном узле АХА тепловой мощности на режимы работы и энергетическую эффективность АХП в комплексе.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– изучить особенности конструкции кипятильника-генератора и их влияние на нормальное функционирование в составе АХП;

– провести экспериментальные исследования работы АХП и отдельных его элементов в условиях «жесткой» эксплуатации (при повышенной температуре воздуха окружающей среды 25...32 ºС) при различных значениях величины подводимой к генератору тепловой мощности.

В качестве объекта исследования был использован двухкамерный АХП «Киев-410» типа АШ-160. Для проведения экспериментальных исследований влияния на работу АХП и его элементов подводимой в генераторном узле тепловой мощности было использовано автоматизированное рабочее место (АРМ) [7]. Для изучения статических свойств АХП при помощи АРМ были организованы автоматизированные эксперименты, которые можно рассматривать как получение квазистатических характеристик.

Первоначально в результате автоматизированного эксперимента был получен набор квазистатических характеристик АХП по каналам «подводимая к генератору АХА тепловая мощность – температуры поверхности элементов АХА в контрольных точках» для исследуемого АХП. На следующем этапе исследований были получены квазистатические характеристики АХП по тем же каналам, но при других условиях работы подъемного участка дефлегматора АХА:

1) при интенсивном отводе тепла с поверхности дефлегматора в окружающую среду при помощи воздушного вентилятора, мощностью 3 Вт;

2) в квазиадиабатном режиме – с тепловой изоляцией дефлегматора по всей длине его подъемного участка.

Тепловая изоляция и обдув дефлегматора вентилятором позволили промоделировать различные условия окружающей среды.

В современных конструкциях АХА кипятильник-генератор, в дальнейшем генератор, выполнен в виде перекачивающего термосифона – трубки с небольшим внутренним диаметром (4,0…4,2 мм) – капилляра. В нижней части генератора, заполненной крепким ВАР, подводится тепловая мощность. Значение тепловой мощности в зоне нагрева подбирается таким образом, чтобы во внутренней части капилляра происходил процесс парообразования в режиме пузырькового течения [8]. Образующаяся в результате подвода тепла парожидкостная смесь (ПЖС) обладает меньшей, по сравнению с жидким ВАР плотностью и, в соответствии с законом Архимеда, поднимается в верхнюю част термосифона.

В верхней (подъемной или транспортной) части генератора (длиной 0,35…0,45 м) при постоянном подводе тепла формируется динамический парожидкостный столб, состоящий из частиц жидкого ВАР, захваченного при подъеме паровыми пузырьками, и самих паровых пузырей. В паровой фазе находится преимущественно пар аммиака, а жидкая фаза представляет собой слабый ВАР с массовой долей аммиака 0,10…0,15.

Выбор внутреннего диаметра и высоты подъемной части генератора производится разработчиками АХП на основе опыта проектирования. Приведенные выше значения внутреннего диаметра и высоты подъемной части генератора соответствуют расчетному режиму снарядного течения при подводе тепловой мощности от 40 до 110 Вт. В диапазоне указанных режимных и конструктивных параметров обеспечивается режим работы перекачивающего термосифона с производством пара и с подъемом жидкости на заданную высоту.

Из этого диапазона для различных конструкций и режимов работы можно найти оптимальные соотношения между массой поднятой жидкости и массой полученного пара – массовый коэффициент подачи термосифона.

В случае увеличения внутреннего диаметра при неизменной тепловой нагрузке и высоте подъемной части генератора режим снарядного течения, сопровождающийся захватом частиц жидкости, реализован не будет. В этом случае возникает режим пузырькового кипения с подъемом отдельных пузырьков пара, практически без подъема жидкости.

В случае уменьшения внутреннего диаметра генератора наблюдается обратная картина – происходит выброс жидкости незначительным количеством пара, т.е. режим работы перекачивающего термосифона также не реализуется.

Влияние высоты подъемной части генератора имеет следующий характер. Этот участок при течении ПЖС определяет гидравлическое сопротивление и пьезометрический напор. В соответствие с законами гидравлики – чем меньше эти величины, тем меньше подводимой тепловой энергии следует затратить. Кроме этого, высота подъемной части определяет поверхность теплообмена с окружающей средой. Несмотря на установку теплоизоляционного кожуха, имеют место потери. Поэтому и с позиции теплообмена наиболее предпочтителен генератор с минимальной высотой подъемной части.

В то же время высота подъемной части определяет режим работы абсорбера АХА, который в современных конструкциях представляет собой наклонные трубки, по внутренним поверхностям которых

стекает слабый ВАР, а противотоком ему поднимается поток насыщенной водородоаммиачной парогазовой смеси (ПГС) из испарителя.

Фактически высота подъемной части генератора определяет поверхность тепло-и массообмена в процессе абсорбции и в значительной мере – холодопроизводительность испарителя АХА. В связи с таким положением и выбираются размеры генераторов в современных моделях АХА.

Оптимальное соотношение ($b_{опт}$) между количеством поднятой жидкости и количеством полученного пара для реализации цикла АХА имеет место в диапазоне подводимых тепловых мощностей в генераторе от 70…80 Вт до 100…110 Вт. В этом режиме наблюдается максимальная холодопроизводительность испарителя АХА и, соответственно, достигается максимальные значения теплового коэффициента цикла АХА.

Средняя часть указанного диапазона соответствует значениям оптимальных тепловых мощностей при работе в условиях температур воздуха окружающей среды 24…26 ºС.

В сторону меньших значений тепловых мощностей $b_{опт}$ сдвигается при снижении температуры воздуха окружающей среды до 18… 20 ºС, а в сторону больших значений 100…110 Вт – при температурах 28… 32 ºС. Такое движение b_o связано с изменением условий работы АХП, т.е. как уже было отмечено выше – с изменением теплопритоков в охлаждаемые камеры и условий теплоотдачи в окружающую среду. Эти результаты, полученные в процессе экспериментальных исследований, подтверждаются и теоретическим анализом циклов как безнасосных, так и насосных АХА.

Таким образом, с точки зрения энергетической эффективности реализации цикла АХА целесообразно изменять значение подводимой тепловой мощности в генераторе АХА в соответствии с изменением температуры воздуха окружающей среды.

Режим II лежит в стороне меньших, по сравнению с оптимальным режимом, значений подводимой тепловой мощности. Его диапазон составляет от 35…40 Вт до 70…80 Вт. В этом режиме происходит преимущественно перекачка жидкой фазы ВАР минимально возможным количеством пара. В этих условиях работы в конденсатор и далее в испаритель поступает меньшее количество пара аммиака, что приводит к снижению холодопроизводительности.

При меньшей генерации пара, в потоке слабого ВАР на входе в абсорбер не достигается массовая концентрация 0,15…0,18. Однако, за счет высокой кратности циркуляции между генератором и абсорбером ВАР, абсорбер справляется с задачами очистки ПГС, поступающей из испарителя. Холодопроизводительность испарителя и энергетическая эффективность цикла АХА в режиме II убывает при уменьшении значения подводимой тепловой мощности в генераторе от 70…80 Вт до 35…40 Вт.

С точки зрения управления АХП в позиционном режиме, режим II можно рассматривать как «ждущий» режим при отключении основной (номинальной) тепловой мощности. «Ждущий» режим АХА обеспечивает минимальную генерацию пара и циркуляцию раствора таким образом, чтобы из большей части подъемного участка дефлегматора был вытеснен инертный газ. В этом режиме АХА находится как бы в состоянии «готовности» к быстрому запуску конденсатора и испарителя при переходе на большую тепловую мощность, подводимую в генераторе.

Анализ результатов экспериментальных исследований позиционных режимов управления показал, что «ждущий» режим целесообразно применять при работе только в диапазоне температур воздуха окружающей среды от 19…20 до 26…27 ºС. При низких температурах воздуха снижается коэффициент рабочего времени (КРВ) АХА, т.е. время работы АХА уменьшается и становятся нецелесообразными затраты энергии для длительного поддержания генератора в состоянии «готовности». При повышенных температурах воздуха окружающей среды (больше 26…27ºС) КРВ АХА возрастает, время нерабочего периода соответственно снижается и элементы генераторного узла постоянно находятся в нагретом состоянии. В этом случае также энергетически невыгодно использовать «ждущий» режим.

Режим IV находится в стороне больших, по сравнению с оптимальным режимом III, тепловых мощностей в генераторе – от 100…110 Вт до 180… 190 Вт. Режим IV характеризуется преимущественным производством пара перед количеством перекачиваемого жидкого ВАР, т.е. $b < b_{опт}$. Кратность циркуляции жидкого ВАР между генератором и абсорбером минимальна, но слабый ВАР обеднен по аммиаку ниже оптимальных значений до 0,10…0,12.

В генерируемом паровом потоке больше, чем в оптимальном режиме III, содержится пара воды. Только при низких температурах воздуха окружающей среды (10…15 ºС) дефлегматор справляется с очисткой парового потока, поступающего в конденсатор и далее в испаритель. На нижней границе тепловых мощностей в генераторе холодопроизводительность испарителя еще значительна. С ростом же подводимой тепловой мощности в испаритель начинает поступать вода, а в абсорбер приходит недостаточно охлажденный слабый ВАР. Оба этих фактора приводят к снижению холодопроизводительности.

Режим IV характеризуется низкой энергетической эффективностью из-за значительного количества выпаренной воды. Как показано, паровой поток с повышенным содержанием пара воды обладает более высоким удельным объемом, чем поток пара чистого аммиака. Такой поток может значительно быстрее вытеснить из дефлегматора инертный газ и произвести запуск испарителя. Режим IV можно рекомендовать в качестве «форсажного» при запуске АХА, но при его реализации необходимо помнить об ограничении температуры греющей поверхности трубки термосифона значением 180…190 ºС из-за опасности возникновения процесса активной коррозии.

Выводы.

1. Наиболее перспективным направлением энергосберегающих разработок АХП является совершенствованием способов и систем автоматического управления. Это связано, в первую очередь с тем, что полученные разработки могут быть внедрены не только в процессе проектирования новых АХП, но и на уже эксплуатирующихся моделях.

2. В штатных системах автоматического управления в качестве управляющего воздействия используется величина мощности, подводимой к генератору АХА. Все разработки, так или иначе, связанные с повышением энергетической эффективности АХП, предлагают эксперименты с этим управляющим воздействием. Однако, чрезмерное занижение или завышение величины мощности может привести к срыву процесса производства искусственного холода в АХП или даже к выходу из строя его составляющих. Поэтому был проведен комплексный анализ процессов тепломассообмена, проходящих в генераторе АХА.

3. В результате проведенных исследований из всего диапазона значений подводимой тепловой мощности было выделено 5 типов режимов работы генератора (I-V). Выделен энергетически эффективный режим II. Показано, что при режимах I и V холодильный цикл АХА не реализуется. Режим III обычно использовался разработчиками при работе с позиционными алгоритмами управления в качестве «ждущего» режима, обеспечивающего состояние «готовности» к быстрому запуску, а режим IV – в качестве «форсажного» при запуске АХА из нерабочего состояния.

Литература

1. Zohar A. The influence of diffusion absorption refrigeration cycle configuration on the performance / A. Zohar et al. // Applied thermal engineering. – 2007. – №27. – P. 2213–2219.
2. Dincer I. Developments in Absorption Refrigeration Systems / I. Dincer, T.A. Ratlamwala. // Integrated Absorption Refrigeration Systems. Springer International Publishing. – 2016. – С. 241–257.
3. Ищенко И.Н. Усовершенствование режимных параметров водоаммиачных абсорбционных холодильных агрегатов, работающих в широком диапазоне температур окружающей среды : дис. канд. техн. наук : 05.05.14 / Ищенко И.Н. – Одесса, 2013. – 178 с.
4. Селиванов, А.П. Абсорбционные холодильные аппараты сезонного типа. Современное состояние и тенденции развития / А.П. Селиванов // Збірник наукових праць НУК. – 2013. – № 5-6. – С.82–88.
5. Мазур А.В. Повышение энергетической эффективности тепловых процессов пищевых технологий средствами гарантирующего управления : дис. канд. техн. наук : 05.13.07 / Мазур А.В. – Одесса, 2006. – 208 с.
6. Мазур А.В. Тепловые процессы пищевых технологий как объекты управления: общность особенностей и принципов повышения энергетической эффективности / А.В. Мазур / Збірник наукових праць ОНАХТ. – 2007. – Вип. 30. – Т. 1. – С. 237–241.
7. Тітлова О.О. Автоматизированное рабочее место исследователя тепловых процессов в абсорбционных холодильных приборах / О.О. Тітлова. // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – 2011. – С. 60–64.
8. Титлов А.С. Энергосберегающие режимы работы перекачивающих термосифонов АДХМ / А.С. Титлов, Д.С. Тюхай // Промышленная теплотехника. – 2003. – Т. 25.– № 4. – С.76–79.

УДК 622.691

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ХОЛОДА НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Титлов А.С., д-р техн. наук, профессор, Дьяченко Т.В., канд. техн. наук, доцент,
Артюх В.Н., аспирант, Альсаид Хекмат, магистр
Одесская национальная академия пищевых технологий (ОНАПТ)

При магистральной транспортировке природного газа на компрессорных станциях для работы газоперекачивающих агрегатов используется и часть перекачиваемого газа. При сгорании газа образуется высокотемпературный поток газовоздушной смеси, который направляется в турбокомпрессор, где совершает полезную механическую работу сжатия и при температурах 350…450 °С выбрасывается в атмосферу.

Разработчики ОНАПТ рассматривают перспективу использования этого высотемпературного потока для работы теплоиспользующей холодильной машины, установленной в зоне расположения компрессорной станции магистрального трубопровода.

Полученный при работе такой холодильной машины искусственный холод может быть использован для предварительного (перед компремированием) охлаждения потока природного газа низкого давления.

Проведенные авторами оценки энергетического эффекта процесса сжатия в адиабатном приближении показали, что при предварительном охлаждении газа на 10 С, удельная работа сжатия снижается до 2…3 %. Здесь следует обратить внимание и на такой положительный момент предварительного охлаждения, как и пониженные температуры сжатого потока, что, в свою очередь, снимет часть проблем неблагоприятного термического воздействия сжатого горячего потока на гидроизоляционные материалы трубопровода.

Очевидно, что примерно на эту же величину можно будет снизить и эксплуатационные потери природного газа, что, учитывая масштабы отрасли, позволит получить и значительный экономический эффект.

Для практической реализации такого предложения необходимо провести термодинамический анализ циклов известных теплоиспользующих холодильных машин и определится с наиболее подходящей схемой для условий работы компрессорных станций магистральных трубопроводов.

При анализе перспектив использования искусственного холода необходимо разработать и системы предварительного (перед сжатием) охлаждения газа, которые в настоящее время не нашли еще своего применения на компрессорных станциях магистральных трубопроводов.

УДК 664.8

ЗАСТОСУВАННЯ ПОБУТОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ, НАПІВФАБРИКАТІВ І СИРОВИНИ

Тітлов О.С., д-р техн. наук, професор, Приймак В.Г., здобувач
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Перспективним, з погляду енергозбереження [1], напрямом в сучасній техніці є створення побутових приладів, об'єднуючих функції холодильного зберігання і теплової обробки харчових продуктів, напівфабрикатів і сільськогосподарської сировини.

Разом з тим до сьогодні відсутні не тільки розробки конструкцій комбінованих побутових холодильних абсорбційних приладів, але і рекомендації по технологічних можливостях в побуті.

Аналіз функціональних можливостей показав, що додаткова ТК може бути використана для [2]:

а) підігріву продукту до заданої температури;

б) різних видів технологічної обробки, в результаті якої може бути отриманий новий продукт (сушка, в'ялення, бродіння та ін.).

Одним з найбільш поширених видів технологічної обробки харчових продуктів, вживаних в домашньому господарстві, є отримання кислого молока. Її отримують з молока, сквашеного молочнокислими бактеріями, оптимум життєдіяльності яких знаходиться в межах 30...55 °С (залежно від виду мікроорганізму).

Широко поширено приготування в домашніх умовах сиру. При приготуванні кислотно-сичужного сиру пастеризоване молоко охолоджують до температури 30...34 °С і додають 5 % закваски, яку ретельно перемішують з молоком, додають в розчин хлористого кальцію і сичужного порошку. Щільний згусток, що утворився через 6...8 годин, розрізають на частини, після годинної витримки сироватку видаляють, а згусток підвішують в бязевих мішечках для самопресування.

Крім молочних і кисломолочних продуктів харчування ТК можуть бути використані для приготування тіста при випічці кулінарних виробів. Дріжджове тісто готують опарним і безопарним способами. При приготуванні опари з дріжджами змішують частину муки і води і залишають для бродіння на 2...3 години при температурі 27...30 °С. Після цього в опару додають всі інші компоненти, що залишилася по рецептурі, замішують тісто і залишають його на 1,0...1,5 години для бродіння. При безопарному способі всі компоненти вносять одночасно з дріжджами, після чого тісту дають бродити 3...4 години. При цьому хоча і скорочується час, необхідний для приготування тіста, але вироби виходять не завжди високої якості.

Надалі ТК може бути використана і для расстойки сформованих виробів перед їх випічкою. Расстойка проводиться при температурі 30...32 °С протягом 25...120 хв залежно від маси тестової заготівки. Кінець расстойки визначають по збільшенню тестових заготовок і придбанню ними правильної форми.

При зберіганні хліб усихає і черствішає. При черствінні в першу чергу відбувається зміна стану крохмалю. У свіжому хлібі крохмаль знаходиться в аморфному поляганні в білковій структурі. При зберіганні крохмаль віддає вологу і переходить в кристалічний стан, зменшується в об'ємі, між білками і зернами крохмалю з'являються повітряні прошарки, і м'якуш стає крихким. Вода, що виділяється крохмалем, частково утримується білками, частково насичує повітряні прошарки, що утворилися, внаслідок чого кірка хліба розм'якшується. У ТК можливе освіження хліба при підігріві до 60 °С — крохмальні зерна знову набухають і відновлюється еластичність м'якуша.

Процес черствіння характерний і для страв з круп'яних і макаронних виробів навіть при нетривалому зберіганні при кімнатній температурі. Підігрів цих страв до температури близько 60 °С відновлює їх первинні властивості.

Разом з підігрівом страв з круп'яних і макаронних виробів ТК можуть бути використані для підігріву перших і других страв. При цьому підігрів їжі не пов'язаний з небезпекою використання відкритого вогню, що дозволяє проводити його дітьми молодшого шкільного віку.

Одним з важливих напрямів застосування ТК може бути сушка плодів, овочів, риби, лікарських трав, ягід, грибів при температурах 40...70 °С. В процесі сушки відбувається значне зменшення вологовмісту продуктів, яке сприяє продовженню термінів їх зберігання. Мінімум вологості, при якому можливий розвиток бактерій, складає 25...30 %, а цвілеві гриби вимагають не менше 10 % вологи. При сушці вологість овочів і плодів доводять до 8...25 %, тобто до рівня, який перешкоджає розвитку мікроорганізмів.

Перед сушкою багато овочів і плоди подрібнюють. Залежно від виду сировини овочі і плоди ріжуть кружечками, часточками, кубиками, стовпчиками. Деякі плоди сушать в цілому вигляді.

Особливий інтерес в домашніх умовах представляє сушка білого коріння, зелені, грибів і інших овочів, сушка яких в осінній період особливо раціональна в нагрівальній камері.

Сушка плодів і ягід дозволяє не тільки зберегти що тривалий час містяться в них біологічно активні речовини, але і отримати делікатесні продукти. Сушці піддають яблука, груші, абрикоси, сливи, вишні, персики, виноград і інші ягоди, у тому числі і дикорослі, дині, інжир. Крупні і середні яблука і груші сушать половинками або четвертинками. Сушені абрикоси готують з абрикос сушильних сортів з яскраво забарвленими плодами, щільною м'якоттю і кісточкою, що легко відділяється. Сушені абрикоси підрозділяють на урюк (цілі плоди з кісточкою), кайсу (цілі плоди з видавленою кісточкою) і курагу (половинки плодів). Сушені сливи готують з угорок і ренклодів. Найбільш цінним є чорнослив, який отримують при сушці угорок. Для сушки використовують і інші місцеві сорти. Сушені вишні отримують з темно забарвлених м'ясистих сортів з високим вмістом сухих речовин. Сушений виноград готують з винограду сушильних сортів з високим вмістом сухих речовин і тонкою шкіркою. Сушений виноград, отриманий з безнасінних сортів, називають кишмишем, а з насінних — родзинками. Кишмиш використовують при випічці булочних виробів, здоби і кексів, а родзинки — для приготування компотів.

У ТК можна проводити також сушку і в'ялення риби. Сушену рибу заготовлюють шляхом значного її обезводнення холодною природною або штучною сушкою при температурі не вище 35 ° С. При холодній сушці в рибі не відбуваються глибокі зміни, і вона краще зберігає свої властивості. Сушать тільки худу солону або несолону рибу, що містить до 2...3 % жиру.

Практично повсюдно спостерігається заготівка в домашніх умовах лікарських рослин, які відразу ж після їх заготовляння необхідно висушити. Рослини, які містять ефірні масла, сушать при температурі не вище 25...30 °С, ті рослини, які містять алкалоїди і глікозиди, — при 50...60 °С. Для сушки соковитих плодів використовують вищі температури, біля 70...80 °С, а коріння сушать при 40...50 °С. Найбільшого поширення набула заготівка плодів шипшини, глоду, ромашки аптечної, звіробою, деревію, материнки, календули і інших трав.

Не виключено також використання ТК для розм'якшення масла і маргарину при замісі тіста різних видів (33...35 °С), підсушування насіння, сушки дріжджів, підсушування круп для видалення жучка, запарювання настоїв трав і ін.

Для проведення вище згаданих технологічних процесів, максимальна температура не перевищує 70 °С, тобто при розробці ТК у складі апарату необхідно орієнтуватися на даний температурний рівень.

Висновки

Встановлено, що перспективним напрямом енергозбереження в побутовій техніці є розробка приладів, що суміщають функції холодильного зберігання і теплової обробки харчових продуктів, напівфабрикатів і сільськогосподарської сировини. У таких комбінованих приладах теплота, що виділяється при реалізації холодильного циклу, не відводиться в навколишнє середовище, а передається в спеціальну ТК, температура повітря в якій може досягати 70 °С.

Список літератури

1. Титлов А.С., Васылив О.Б., Вольневич С.В. Разработка бытовых холодильных аппаратов с дополнительной нагревательной камерой // Сб. науч. тр. 2-ой Междунар. науч.-техн. конф. «Современные проблемы холодильной техники и технологии» (приложение к журналу «Холодильная техника и технология»). – 2002. – С. 85-90.
2. Чайковский В.Ф., Тележенко Л.Н., Тельных Э.Я., Вольневич С.В., Титлов А.С. Использование тепловой камеры комбинированного холодильника для обработки пищевых продуктов / Одес. технол. ин-т пищ. пром-сти. – Одесса, 1991. – 22 с. – Рус. – Деп в УкрНИИНТИ 02.07.91, № 949-Ук91.
3. Деклараційний патент № 47866А України, МКИ F 25 D 11/02; Комбінований абсорбційний холодильник // О.С.Тітлов, М.Д.Захаров, О.Б.Василів, С.В.Вольневіч. -№ 2001106933; Заявл. 11.10.2001; Опубл. 15.07.2002, Бюл. № 7.
4. Чернышев В.Ф., Хоменко Н.Ф., Титлов А.С. Вольневич С.В. Новые конструкции АБХ // Холодильная техника. – 1991. – № 12. – С.12-13.
5. Васылив О.Б., Титлов А.С., Оргиян А.А. Моделирование тепловых режимов нагревательных камер комбинированных бытовых аппаратов абсорбционного типа // Холодильная техника и технология. – 2003.– № 2. – С.13–18.

УДК 620.92:621.565.58

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Мазуренко С.Ю., аспирант, Озолин Н.Е., аспирант, Савинков П.В., магистр
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В настоящее время, основной объем рынка оборудования по выделению воды из воздуха приходится на системы, имеющие в своем составе компрессионную холодильную установку с электрическим приводом.

Вместе с тем применение компрессионных установок перспективно только для производительности до 3–4 литров воды в час. При более высокой производительности происходит существенное возрастание габаритов установки. Необходимым условием работы компрессионной холодильной машины является наличие электрической энергии. В тоже время подавляющее число стран, испытывающих дефицит воды, ограничены и в энергоресурсах. Едва ли не единственным доступным источником энергии у них является солнце. Поэтому, в качестве наиболее перспективного направления нами были выбраны модернизированные абсорбционные холодильные машины (АХМ), работающие от источника низкопотенцильного тепла – солнечной энергии.

Одним из многообещающих направлений является возможность использования существующей инфраструктуры солнечных нагревателей воды – солнечных коллекторов (СК), суммарный объем площадей коллекторов которых в мире более 110 млн.м^2.

Анализ режимных характеристик АХМ показал, что основные проблемы, которые надо решить при их использовании в системах получения воды с СК следующие: во-первых, разработать конструкции АХМ с воздушным охлаждением теплорассеивающих элементов, а во-вторых, предложить цикл, который можно было бы реализовать в условиях тропических температур наружного воздуха и уровне температур традиционных водяных солнечных коллекторов (80-100 ºС).

В таких условиях наибольшие перспективы имеют абсорбционные водоаммиачных холодильных машин (АВХМ), которые позволяют провести необходимую модификацию цикла. В связи с выбором АВХМ необходимо отметить, что в последние годы в связи с неблагоприятным техногенным воздействием на окружающую среду систем холодильной техники все большее внимание уделяется природным холодильным агентам.

Особый интерес представляют АВХМ работающие на возобновляемых источниках энергии, в частности, на энергии солнечного излучения. Такой интерес связан с возможностью круглогодичного использования солнечных коллекторов, находящих в настоящее время широкое применение в системах отопления и горячего водоснабжения.

Предполагается, что при избытке солнечной энергии в теплый период года часть ее можно направлять на генератор АВХМ для производства искусственного холода. Полученный холод можно использовать как в системах кондиционирования, так и в холодильниках.

Целью исследования является разработка схем и термодинамический анализ АВХМ на низкопотенциальных источниках тепловой энергии СК для систем получения воды из атмосферного воздуха.

С учетом приведенного выше анализа различных холодильных систем абсорбционного типа и результатов анализа энергетических характеристик циклов АВХМ, а также с учетом простоты конструкции и способа реализации для дальнейшей разработки был выбран вариант традиционной АВХМ с теплообменником растворов и с бустер-компрессором на магистрали подачи пара аммиака в конденсатор.

С помощью оригинального алгоритма расчета циклов АВХМ был проведен анализ циклов АВХМ с поджимающим бустер-компрессором перед конденсатором.

Интерес представлял своеобразный «модифицированный холодильный коэффициент» (МХК) цикла АВХМ (η), который представляет собой отношение полезного эффекта (искусственного холода) с затраченной в циркуляционном насосе и бустер-компрессоре электрической мощности.

С учетом того, что тепловая энергия греющего источника поступает от СК, ее, как бы полученную даром, мы не учитывали.

Анализ результатов расчетов показывает, что с повышение температуры греющего источника от 80 °С до 100 °С эффектность АВХМ возрастает почти в 2 раза.

Интерес представляет и сравнение цикла АВХМ с поджимающим бустер-компрессором перед конденсатором и цикла парокомпрессионной холодильной машины (ПКХМ), работающей в том же диапазоне параметров температур объекта охлаждения и наружного воздуха.

Результаты сравнения цикла ПКХМ, работающего по идеальному циклу Карно и цикла АВХМ с поджимающим бустер-компрессором перед конденсатором показали, что имеют место энергетические преимущества у АВХМ с поджимающим бустер-компрессором перед конденсатором даже перед идеальным холодильным циклом Карно, начиная с уровня температур греющего источника 100 °С.

Энергетическое преимущество в рассмотренном диапазоне температурных параметров составляет от 11 до 24 %.

УДК 533.1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ НАДКРИТИЧНОЇ ФЛЮЇДНОЇ ЕКСТРАКЦІЇ

Лук'янова О.С., асистент, Бошкова І.Л., д-р техн. наук, доцент
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

В статті розглядається використання діоксиду вуглецю в якості екстрагенту в надкритичних флюїдних технологіях. Описуються схеми експериментальних установок для здійснення процесів екстракції.

Ключові слова: *надкритичні флюїди, надкритичний діоксид вуглецю, екстракція*

In the article application of carbon dioxide as the extractant in supercritical fluid technology is discussed. The schemes of experimental installation for implementation of processes of an extraction are described.
***Keywords**: supercritical fluids, supercritical dioxide of carbon, extraction.*

Надкритична екстракція - метод вилучення компонентів твердих або рідких сумішей у фазу надкритичного газу, який виконує роль екстрагента. В надкритичному стані у речовини зникають відмінності між рідкою і газоподібною фазами та її властивості приймають значення проміжні між рідиною і газом, тому її часто називають флюїдом. Надкритичний газ має низьку в'язкість і високу розчинювальну здатність, яку можна легко регулювати, змінюючи тиск або температуру. Найбільше поширення серед надкритичних розчинників отримав вуглекислий газ, що пов'язано з його низькою вартістю, екологічною безпекою, доброю розчинювальною здатністю і невисокими критичними параметрами.

Надкритичні технології застосовуються практично у всіх напрямках науки і техніки [2]. Надкритичний CO_2 є унікальним середовищем для проведення хімічних реакцій синтезу нових речовин, таких як аерогель, імпрегновані матеріали, нові полімери. З його допомогою можливе вилучення практично будь-яких рослинних і неорганічних компонентів для харчової і фармацевтичної промисловості. Використання цієї технології дозволить вирішити багато екологічних проблем: зниження парникового ефекту, заміна токсичних розчинників, очищення промислових стічних вод, регенерації каталізаторів, отримання біопалива, вилучення токсичних металів та радіоізотопів з промислових відходів.

Однією з найважливіших сфер застосування надкритичних технологій є нафтова промисловість. При вивантаженні надкритичного CO_2 в нафтовий пласт відновлюється робота затоплених нафтових родовищ, збільшення терміну їх експлуатації, підвищується коефіцієнт вилучення нафти і відбувається поховання вуглекислого газу в пласті. З допомогою надкритичної екстракції проводиться деасфальтизація важких нафтових залишків і виділення із них металів, виконується очищення ґрунтів від нафтових забруднень і регенерація відпрацьованих олив.

Методи надкритичної екстракції, існуючі в даний час, можуть бути класифіковані по способу отримання насиченого розчину: статичний (реалізується в замкнутій клітинці постійного, або змінного об’єму); динамічний (реалізується в проточній системі); циркуляційний (припускає багаторазове прокачування однієї порції газоподібного або рідкого розчинника) [1].

У статичному методі суміш та флюїд перемішуються в герметичній посудині постійного або змінного об'єму. Зазвичай в дослідах використовується незначна кількість газоподібного розчинника і суміші для розділення. Для досягнення рівноваги при заданих тиску та температурі і отримання насиченого розчину необхідно проводити інтенсивне перемішування обох фаз [1]. Перемішування проводять різними способами: механічним, або електромагнітної мішалкою; хитанням автоклава і т. д.

Принципова схема реалізації статичного методу представлена на рисунку 1А [8]. Суміш, яку необхідно розділити, поміщується в робочий об'єм екстрактора 3, потім з ємності 1 туди подається екстрагент (діоксид вуглецю). При досягненні певного значення тиску розчинника в екстракторі включається система створення тиску 2, якою може бути водяний насос високого тиску, масляний прес, компресор, та доводить тиск до заданого значення, а потім підтримує його. Також для досягнення необхідних термодинамічних параметрів в екстракторі і сепараторі включаються нагрівальні елементи. Перемикання вентилів запірної арматури в трубопроводах здійснюється під час роботи установки вручну. Після знаходження в екстракторі при заданих значеннях параметрів певний час, суміш надходить у сепаратор 5. При переході з екстрактора в сепаратор відбувається різке зниження густини екстрагента, що призводить до виділення розчинених речовин. Відпрацьований діоксид вуглецю в таких схемах зазвичай виділяється в атмосферу

У динамічному методі газ, доведений до необхідних параметрів, пропускають через стовп суміші, що знаходиться в екстракційній клітинці високого тиску. Проходячи через рідину, надкритичний газ перемішує її, розчиняється в ній і одночасно сам насичується рідиною. Реалізація методу передбачає пропускання значної кількості газу. Про встановлення рівноваги в системі судять за результатам аналізу рідкої фази.

Принципова схема проточної експериментальної установки [7], , показана на рисунку 1Б. Стислий розчинник знаходиться в балоні 1 або в рідкому, або в газоподібному стані. Тому, подача розчинника в екстракційну клітинку 3 здійснюється або насосом 2, або мембранним компресором. Застосування саме мембранного компресора обумовлено необхідністю запобігти забрудненню розчинника маслом. Перш, ніж потрапити в екстракційна клітинку, розчинник проходить через теплообмінник в термостаті 4. У екстракційній клітинці відбувається або барботаж розчинника через суміш, що розділяється, або диспергування її в потоці у вигляді піщинок. На виході з екстрактору встановлені фільтри для запобігання механічного виносу нерозчинених частинок. Далі насичений флюїд пропускається через дросельний вентиль з підігрівом для зниження тиску в потоці. Обігрів дросельного вентиля проводиться для запобігання випаданню розчиненої речовини із проходить потоку, що може призвести до засмічення вентиля. Після дроселювання потік пропускається через сепаратор 5, де газ відокремлюється від цільового

компоненту. Конструктивно сепаратор виконується найчастіше у вигляді U - подібної трубки, або у вигляді абсорбційної колонки. Для більш глибокої регенерації газу, як правило, застосовують послідовний ряд сепараторів, які до того ж можуть охолоджуватися. Тиск екстракційної клітинці задається насосом, а витрата розчинника регулюється дросельним вентилем. Часто до вуглекислого газу приєднують додатковий розчинник для збільшення виходу цільового компонента, тоді схема доповнюється ємністю 10 та насосом 9 для додаткового розчинника, який змішується з основним екстрагентом в нагрівачі 8. Вуглекислий газ в цій схемі збирається в приймальний балон 11.

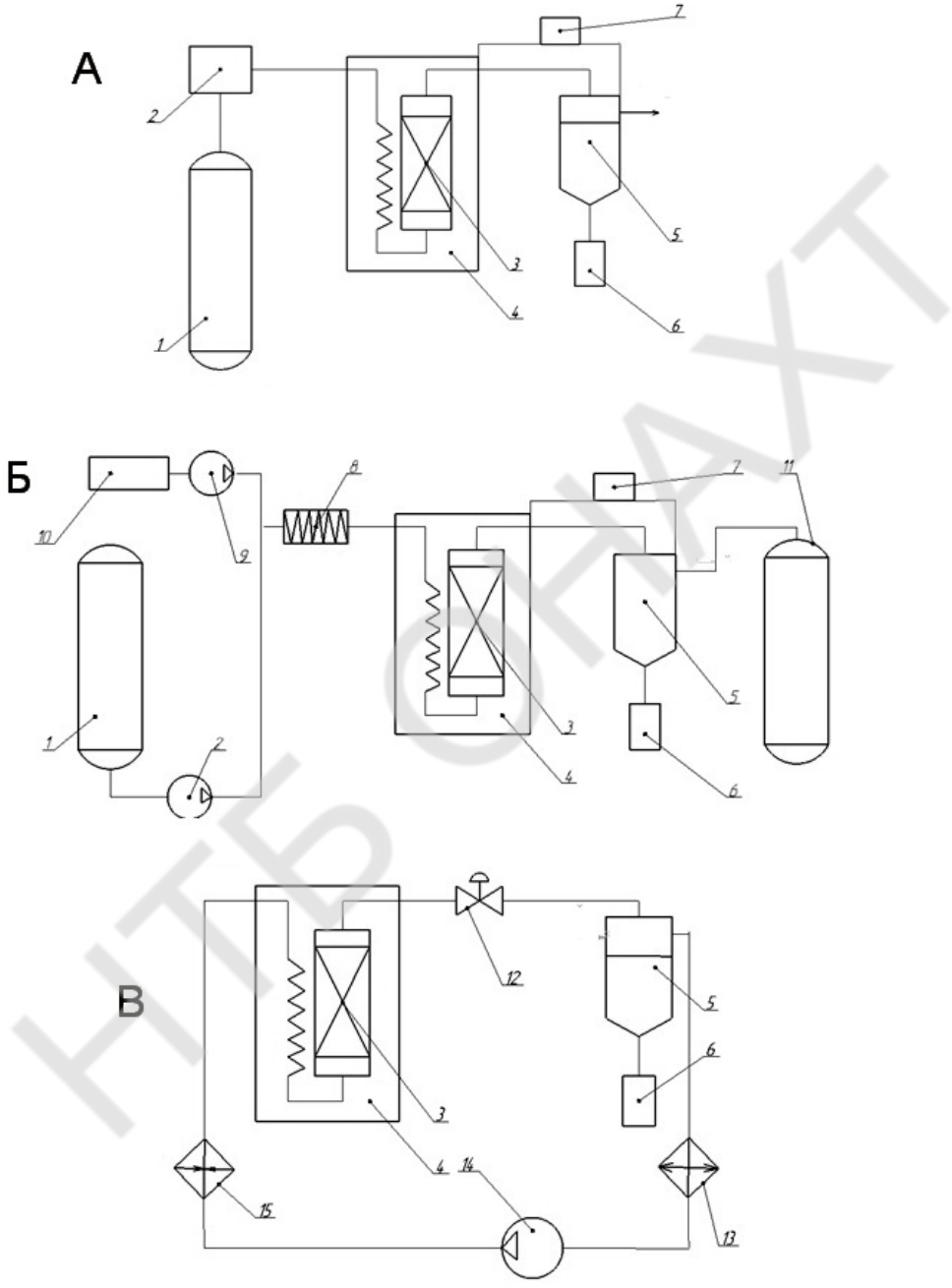


Рис. 1 – Принципові схеми установок надкритичної екстракції: А) статична, Б) проточна, В) циклічна: 1- балон із вуглекислим газом , 2 – система створення тиску, 3 – екстракційна клітинка, 4 – термостат, 5 – сепаратор, 6 – збірник екстракту, 7 – система контролю температури та тиску, 8 – електронагрівач, 9 – насос для розчинника, 10 – ємкість з розчинником, 11 – ємкість для збору вуглекислого газу, 12 – дросельний вентиль, 13,15 – теплообмінники, 14 – циркуляційний насос або компресор.

НТБ ОНАХТ

Циркуляційні методи є модифікацією проточних методів, оскільки спосіб насичення розчину у флюїдну фазу і аналізу сумішей залишаються колишніми. Відмінність полягає в тому, що одна порція стисненого газоподібного розчинника використовується багаторазово. Це особливо важливо, якщо рідина-розчинник э дорогим (наприклад, ксенон високої частоти), пожежонебезпечним (пропан), або токсичним (толуол). У цьому випадку, звичайно, зростають вимоги до глибині регенерації розчинника перед його подальшою подачею на пристрій, що збільшує тиск. Для цього широко застосовуються дросельні клапани з підігрівом спеціальної конструкції, різні уловлювачі і охолодження для відділення екстракту від розчинника в сепараторі, фільтри-осушувачі, фільтри тонкої очистки [3].

Циклічні установки надкритичної екстракції мають у своїй основі насосний або компресорний цикл [6]. Застосування насосного циклу можливо у різноманітних промислових процесах, однак він має складну технологічну схему і високі енерговитрати. У компресорного циклу багато обмежень по застосуванню, але його схема простіше і енергоефективність є високою. Над підвищенням ефективності обох циклів ведуться активні дослідження, зокрема застосовується комбінування циклів, у схему включаються когенераційні установки, теплові насоси, застосовуються альтернативні види палива.

Таким чином, надкритична екстракція є сучасним потужним інструментом для дослідження і вирішення широкого спектра завдань. Однак більшість цих рішень реалізуються лише в лабораторних умовах та очікують широкомасштабного впровадження. На сьогодні надкритичну екстракцію проводять статичним, проточним та циклічним методом. Кожен метод має свої переваги та недоліки. При виборі схеми установки слід враховувати багато факторів, таких як концентрація цільового компонента в суміші, метод аналізу складу розчину, необхідність використання додаткового розчинника, ступінь розділення суміші, вартість устаткування та його енергоефективність.

Література

1. Гумеров Ф.М., Сабирзянов А.Н., Гумерова Г.И. Суб- и сверхкритические флюиды в процессах переработки полимеров. Изд. АН РТ «ФЭН». 2-е изд. Казань. 2007. 336 С.
2. Залепугин Д. Ю., Тилькунова Н. А., Чернышова И. В., Поляков В.С. Развитие технологий, основанных на использовании сверхкритических // Сверхкритические Флюиды: Теория и Практика. – 2006. - № 1. - с. 27-51.
3. Касьянов Г.И., Занин Д.Е., Бахмет М.П. Научные и практические проблемы суб- и сверхкритической СО2-экстракции //Научные труды КубГТУ. – 2014. - №3 - 15 с.
4. Мельник Г.Е., Волков С.М., Федоров А.В. Сверхкритический диоксид углерода: возможности применения в производстве растительного масла// Научный журнал НИУ ИТМО. «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2016. - № 1. – с. 3-14
5. Радаев А. В. Батраков Н. Р. Мухамадиев А. А. Сабирзянов А. Н. Экспериментальная установка для исследования процесса вытеснения нефти при термобарических условиях реальных пластов с использованием сверхкритических флюидных систем// Вестник Казанского технологического университета. – 2009. - № 3. – с. 96-102.
6. Сошин С. А., Габитов И. Р., Гумеров Ф. М. Насосный и компрессорный СКФЭ-циклы. Достоинства и недостатки // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – № 15 (15). – с.128-131.
7. Цихмейстр Е. В. Гумеров Ф. М. Применение суб- и сверхкритических флюидов в єкстрационніх процесах// Вестник Казанского технологического университета. – 2012. - № 10 (15). – с.99-99.
8. Филенко Д.Г., Дадашев М.Н., Винокуров В.А. Исследование влияния термобарических условий на вытеснении нефти диоксидом углерода в сверхкритическом состоянии // Научнотехнический сборник "Вести газовой науки". - 2012. - №3 (11). - С.371-382.

УДК 621.578

ПРИМЕНЕНИЕ ВПРЫСКА ПЕРЕГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ В ТЕРМОПРЕССОРНОЙ СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА ДВС

Коновалов Д.В., канд. техн. наук, доцент, Кобалава Г.А., аспирантка
Херсонский филиал Национального университета кораблестроения, г. Херсон

Проанализировано схемное решение с применением термопрессора в составе трехконтурной системы охлаждения судового среднеоборотного двигателя (СОД). Рассмотрен способ повышения эффективности процесса распыления воды в термопрессоре. Применение перегретой воды для впрыска в термопрессор системы охлаждения наддувочного воздуха судовых двигателей даёт возможность

увеличить относительное повышение давления воздуха на выходе из термопресора, с соответствующим уменьшением мощности турбокомпрессора двигателя, на 6…10 %.

Ключевые слова: *термогазодинамическая компрессия, термопрессор, система охлаждения, двигатель, наддувочный воздух, впрыск перегретой воды, форсунка.*

The scheme solution by using thermopressor as the part of three-circuit cooling system of the medium-speed marine engine is analyzed. The way to improve of the efficiency of the water spray process in the thermopressor is considered. Using of overheated water injection in the thermopressor of the charge air cooling system makes it possible to increase the relative increase air pressure at the outlet thermopressor to 6 ... 10%, with a corresponding reduction in the power of the engine turbocharger.

Key words: *thermogasdynamic compression, thermopressor, cooling system, engine, charge air cooling, superheated water injection, nozzle.*

Обеспечение оптимальных начальных параметров рабочего цикла путём совершенствования системы турбонаддува является одним из резервов повышения энергетической эффективности ДВС. Сокращение мощности, потребляемой турбокомпрессором наддувочного воздуха, обеспечивает образование резерва мощности турбины турбокомпрессора, которую можно передавать на вал двигателя или использовать для привода электрогенератора.

Применение термогазодинамической компрессии (термопрессии) в системе турбонаддува ДВС позволяет совместить два процесса – контактное охлаждение наддувочного воздуха и повышение давления, которые обеспечивают сокращение затрат мощности компрессора [1]. Для реализации этих процессов применяют термопрессор [2, 3].

Значительное влияние на работу термопрессора оказывают конструктивные факторы [3, 4], от которых зависит число Маха-Маевского M на входе в секцию испарения. Число M определяет величину энергии парового потока. При низких числах M скорость испарения невелика, что приводит к увеличению длины участка испарения и соответственно к росту потерь энергии на трение. С увеличением числа M происходит более интенсивное испарение на более коротком участке секции испарения при соответственно меньших потерях на трение.

На работу термопрессора влияет также такой режимный фактор, как организация подачи и распыления жидкости. К системе впрыска жидкости предъявляется ряд требований [4]: достаточно мелкое распыление; равномерное распределение капель в поперечном сечении канала; максимальная скорость впрыскивания жидкости; незначительное аэродинамическое сопротивление конструкции форсунки.

Диаметр капли жидкости довольно сильно влияет на длину участка испарения и скоростной режим: с уменьшением первоначального размера капли, длина участка испарения и потери на трение значительно уменьшаются.

Впрыск воды увеличивает коэффициент трения на 10...20%, следовательно для того, чтобы избежать дальнейшего увеличения потерь, необходимо снижать аэродинамическое сопротивление конструктивных элементов системы. С этой целью желательно размещать устройства системы впрыска в потоке с малой скоростью газа (перед соплом) и выполнять их более обтекаемой формы [5].

Создание оптимальной конструкции для распыления жидкости имеет определенные трудности. На сегодняшний день для термопрессоров применяют простейшие по конструкции системы пневматического распыления жидкости в потоке газа (воздуха) с малой скоростью, или центробежные форсунки с небольшим давлением и относительно грубым распылением.

Одним из перспективных современных способов повышения эффективности распыления является использование перегретой воды, например, реализация впрыска воды на входе компрессора газопаротурбинной установки позволяет повысить КПД установки на 1...2% [6].

Для современных судовых СОД, как правило, применяют трехконтурную систему охлаждения. При этом, в охладителе наддувочного воздуха (ОНВ) применяют две секции охлаждения: высокотемпературную, в которой теплота отводится от воздуха к воде системы охлаждения двигателя, и низкотемпературную с отводом теплоты к контуру пресной воды центрального охладителя.

В работе проанализировано схемное решение с применением термопрессора в составе трехконтурной системы охлаждения судового СОД, где термопрессор установлен за турбокомпрессором перед ОНВ. Такое решение позволяет исключить из состава ОНВ высокотемпературную секцию, оставив только низкотемпературную – для доохлаждение воздуха перед ресивером до заданной температуры 45 °С. С целью улучшения качества распыления воды в термопрессоре предложено осуществлять предварительный подогрев воды до температуры 85...90 °С за счет теплоты воды на выходе из системы охлаждения двигателя. Следующий нагрев воды до температуры 100...120 ° С осуществляется благодаря дополнительной более глубокой утилизации теплоты уходящих газов в утилизационном котле (УК). Кроме уменьшения энергетических затрат на организацию непосредственно процесса распыления, это позволяет

возвращать часть низкопотенциальной теплоты в цикл энергетической установки вместе с впрыском воды, что, в свою очередь, позволяет повысить коэффициент использования теплоты.

Впрыск перегретой воды (температура 120 ° С) в термопрессор позволяет уменьшить длину участка испарения и следовательно уменьшить длину рабочей камеры термопрессора. Это, в свою очередь, уменьшает потери на трение на 5...15 % (3...9 кПа). Кроме этого, уменьшается количество теплоты наддувочного воздуха, которое расходуется на дополнительный подогрев впрыскиваемой воды до температуры насыщения. Анализ работы данной системы, при скорости воздушного потока в рабочей камере M = 0,95 показывает, что при степени сжатия в турбокомпрессоре $\pi_к$ = 2,5 и перегреве впрыскиваемой воды, повышения давления (термогазодинамическая компрессия) составляет ΔP = 0,02 МПа (9 %), при температуре воздуха на выходе из термопрессора $t_{в2}$ = 55 °С (относительная температура T_1/T_2 = 1,25), а при $\pi_к$ = 5,0 термогазодинамическая компрессия составляет ΔP = 0,1 МПа (20 %), при температуре воздуха на выходе из термопрессора $t_{в2}$ = 80 °С (относительная температура T_1/T_2 = 1,50). Полученные результаты позволяют сделать вывод, что впрыск перегретой воды в термопрессор даёт возможность дополнительно увеличить относительное повышение давления воздуха до 6% для $\pi_к$ = 2,5 і до 10 % для $\pi_к$ = 5,0, при тех же температурах воздуха на выходе из термопресора, с соответствующим уменьшением мощности турбокомпрессора двигателя.

Выводы

Результаты исследований показали, что использование перегретой воды для впрыска в термопрессор системы охлаждения наддувочного воздуха судовых двигателей является перспективным способом повышения эффективности процесса распыления, который обеспечивает уменьшение расхода мощности турбокомпрессора на сжатие наддувочного воздуха и возврата сбросной теплоты в цикл энергетической установки.

Литература

1. Коновалов Д.В. Термопресорні системи охолодження суднових ДВЗ [Текст] / Д.В. Коновалов. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – №10 (87). – С. 44−48.
2. Вулис Л.А. Термодинамика газовых потоков [Текст] / Л.А. Вулис. – Москва, Ленинград: Госэнергоиздат, 1950. – 304 с.
3. Степанов И.Р. Некоторые задачи движения газа и жидкости в каналах и трубопроводах энергоустановок [Текст] / И.Р. Степанов, В.И. Чудинов. – Ленинград: Наука. Ленингр. отд-ние, 1977. – 199 с. – (АН СССР, Кольск. филиал им. С.М. Кирова).
4. Ерофеев В.Л. Экспериментальное исследование термопрессора [Текст] / В.Л. Ерофеев // Тр. ленинградского института водного транспорта. Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация флота. – 1974. – № 147. – С. 25−30.
5. Коханский А.И. Повышение эффективности работы двухступенчатой холодильной установки на основе применения термогазодинамического эффекта / А. И. Коханский, А. Н. Богач, В. И. Живица. // Холодильная техника. – 1980. – №1. – С. 25–30.
6. Дикий М.О. Підвищення ефективності ГПТУ «Водолій» охолодженням повітряного потоку в компресорі / М.О. Дикий, А.С. Соломаха, В.Г. Петренко. // Наукові вісті НТУУКПІ. – 2011. – №5. – С. 31–34.

УДК 621.577

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПРЕССИИ В СИСТЕМЕ ТУРБОНАДДУВА СРЕДНЕОБОРОТНЫХ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Коновалов Д.В., канд. техн. наук, доцент, Джуринская А.А., аспирантка
Херсонский филиал Национального университета кораблестроения, г. Херсон

Рассмотрен методологический подход к охлаждению наддувочного воздуха в среднеоборотном двигателе с помощью применения термогазодинамического эффекта. Для повышения эффекта снижения температуры воздуха перед двигателем и увеличением мощности компрессора, а также для обеспечения автономности работы термопрессорной системы предложено осуществлять предварительное охлаждение перед компрессором, а влагу, которая конденсируется в теплообменнике впрыскивать в термопрессор. Применение термопрессорной системы с предварительным охлаждением позволяет увеличить давление воздуха, с одновременным понижением температуры, что в свою очередь, увеличивает

мощность компрессора на 10…20 % с соответствующим увеличением мощности двигателя.

Ключевые слова: *термогазодинамический эффект, термопрессор, двигатель, утилизация теплоты, надувочный воздух, турбокомпрессор, экологическое увлажнение.*

The methodological approach to charge air cooling of medium speed engine by thermogasdynamic effect is considered. For the increase the air temperature reduction effect before an engine and increasing the compressor power, and also for the thermopressor system autonomous operation, the pre-cooling before the compressor is proposed. The moisture which is condensed in the heat-exchanger is injected in the thermopressor. The thermopressor system using with the pre-cooling allows to increase air pressure, with a simultaneous temperature reduction, that increases compressor power on 10…20 % with the conforming engine power increase.

Key words: *thermogasdynamic effect, thermopressor, engine, warmth utilization, charge air cooling, turbo-charger, ecological moistening.*

На данный момент в энергомашиностроении существует несколько методологических подходов к системам охлаждения наддувочного воздуха двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

В современной энергетике все больше находят применение автономные когенерационные системы энергообеспечения. Основной задачей таких систем является обеспечение потребителей электрической и тепловой энергии. В составе главной энергетической установки обычно применяют дизель-генераторы на базе среднеоборотных первичных двигателей. Особенностью таких двигателей является достаточно высокий тепловой потенциал отходящих газов ($t_г$ = 350...400 °С) и наддувочного воздуха ($t_{нп}$ = 180...230 °С при $\alpha_к$ = 3,0...4,5) [1].

Одним из перспективных средств совершенствования системы турбонаддува является применение термопрессорных систем охлаждения. Основным элементом такой системы является термопрессорный аппарат, в котором осуществляется повышение давления воздуха в процессе мгновенного испарения воды, впрыскиваемой в воздушный поток, ускоренный до скорости, близкой к звуковой [1]. На испарение воды отводится теплота от наддувочного воздуха, и как следствие, снижается температура. Термопрессор – достаточно компактное устройство, которое по габаритам значительно выигрывает по сравнению с другими охладителями поверхностного или контактного типа и, главное, обеспечивает некоторое повышение давления, что для воздушных систем может быть весьма значительным и составлять 20...30% [2, 3]. Сочетание нескольких процессов в термопрессоре – контактного охлаждения наддувочного воздуха и повышения давления, позволяет обеспечить сокращение затрат мощности компрессора.

Другим средством сокращения затрат мощности компрессора является охлаждение воздуха на входе в турбокомпрессор [4, 5]. Это позволяет не только уменьшить работу компрессора на сжатие, но и уменьшить температуру наддувочного воздуха на нагнетании, а значит и уменьшить тепловую нагрузку на охладитель наддувочного воздуха (ОНВ).

В современных ДВС для снижения выбросов в атмосферу оксидов азота NO_x применяют специальные системы увлажнения наддувочного воздуха [1, 6]. Количество воды, подаваемой в ДВС с наддувочным воздухом должно быть в 3 раза больше количества сжигаемого топлива. Температура наддувочного воздуха на входе в цилиндры двигателя составляет 50...70 ° С, а влагосодержание – до 80 г/кг [6]. Такие параметры воздуха позволяют снизить эмиссию оксидов азота на 70...80%. Эффект обусловлен тем, что водяной пар вследствие высокой теплоемкости отбирает на парообразование значительное количество теплоты, что приводит к снижению температуры в камере сгорания. Исходя из того, что скорость образования NO_x напрямую зависит от температуры, то чем больше водяного пара в смеси газов в цилиндре, тем ниже температура в зоне горения и меньше образуется оксидов азота.

В работе показано возможность сочетания трех функций системы охлаждения наддувочного воздуха: контактное охлаждение и сжатие наддувочного воздуха (на входе в компрессор и при сжатии в компрессоре), а также экологическое (с целью уменьшения эмиссии оксидов азота NO_x) увлажнение наддувочного воздуха на входе в цилиндры ДВС. Предложен способ тонкого распыления воды в наддувочный воздух термопресором, то есть непосредственно в теплообменнике-термопрессоре, благодаря турбулизации потока при высоких скоростях потока (число Маха М = 0,80...0,95) и уменьшения размеров капель в результате испарения. Использование жидкости в термопрессоре, в случае его установки за турбокомпрессором, позволит частично или полностью исключить применение конструктивно более сложных систем увлажнения наддувочного воздуха типа CASS ("Wartsila", Финляндия).

Основные цели исследования – оценка целесообразности методологического подхода к охлаждению наддувочного воздуха среднеоборотного двигателя применением термопрессорной системы, которая соединила бы в себе несколько функций: дополнительное повышение давления, охлаждение и экологическое увлажнение воздуха. Такая система включает в себя схему, где воздух перед всасыванием турбокомпрессором (ТК) охлаждается в воздухоохладителе холодильной машины. В ТК воздух сжимается до давления меньше, чем давление на входе в цилиндры ДВС. Сжатый воздух с высокой температурой

поступает на испарительное охлаждение в термопрессор. Благодаря термогазодинамической компрессии температура воздуха значительно снижается, а давление повышается до величины, необходимой для подачи в цилиндры двигателя. В качестве внешней холодильной машины может быть применена, например, теплоиспользующая абсорбционная холодильная машина (АБХМ). Теплота в генераторе АБХМ подводится за счет уходящих газов ДВС.

Анализ работы термопрессорной системы произведен на примере системы охлаждения наддувочного воздуха среднеоборотного двигателя фирмы MAN B&W 5L21/31 мощностью N_e = 1000 кВт. Температура отходящих газов ТК для ДГ 5L21/31 составляет $t_г$ = 300...350 °С [1]. В качестве АБХМ предложено применить бромисто-литиевую АБХМ. Такая машина имеет ряд преимуществ перед другими теплоиспользующими машинами: компактность и достаточно большой, как для теплоиспользующих машин, тепловой коэффициент = 0,8...1,0. Температура теплоносителя на входе в генератор АБХМ должна составлять около 90 °С, а температура теплоносителя на выходе из испарителя АБХМ t_0 = 7 °С. Такая температура в воздухоохладителе позволяет получить температуру охлажденного наддувочного воздуха $t_в$ = 12 °С. Конденсат при охлаждении, предложено применить для впрыска в термопрессор. Расчет параметров работы термопрессорной системы выполнен для диапазона температур воздуха на входе $t_{нв}$ = 20...55 °С, и относительной влажности воздуха = 60%. Кроме сжатия и охлаждения воздуха в функции термопрессорной системы входит экологическое увлажнение. Так, влагосодержание воздуха d_2 на выходе из термопрессора составляет 45...50 г/кг, при этом температура воздуха по сравнению с системами типа CASS меньше на 5...10 °С, что способствует большей топливной экономичности двигателя.

Литература

1. Енциклопедія суднової енергетики / В. М. Горбов. – Миколаїв: НУК, 2010. – 624 с.
2. Радченко А.Н., Энергосберегающий экологически безопасный судовой кондиционер на базе дизельгенератора / А.Н. Радченко, А.И. Бузник // Авиационно-космическая техника и технология.– 2008. – №10(57). – С. 118–122.
3. Радченко М.І. Підвищення ефективності газового двигуна внутрішнього згоряння турбодетандерним охолодженням газоповітряної суміші / М.І. Радченко, Д.В. Коновалов, Л.М. Воробйов // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2010. – № 10(77). – С.62-65.
4. Радченко М.І. Попереднє охолодження газо-повітряної паливної суміші газових двигунів у детандернотермопресорних холодильних машинах / М.І. Радченко, Д.В. Коновалов, Л.М. Воробйов // Обладнання та технології харчових виробництв: Зб. наук. праць ДонНУЕТ. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2010. – Вип. 24. – С.234–240
5. Радченко Р.Н. Использование сбросного тепла малооборотных дизелей для охлаждения воздуха на входе турбокомпрессоров / Р.Н. Радченко, Н.Я. Хлопенко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 8(75). – С.24-28.
6. Wartsila 46 Technology review. Wartsila Corporation, 2008. – 20 p.
7. Коновалов Д.В. Застосування термогазодинамічного ефекту для проміжного охолодження в системах наддувного повітря ДВЗ / Д.В. Коновалов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 8 (85). – С. 136–140.

УДК 621.564/25:551.510.534

ТЕНДЕНЦІЇ ЕКСПОРТУ, ІМПОРТУ СПГ У СВІТІ

Дьяченко Т.В., канд. техн. наук, докторант, Артюх В.М., аспірант
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Зріджений природний газ є поширеним товаром на сучасному світовому енергетичному ринку. Його доля зростає з кожним роком. Будуються нові термінали для імпорту/експорту СПГ, заводи для зрідження природного газу.

***Ключові слова**: Зріджений природний газ. Світовий енергетичний ринок. Кріогенна рідина*
***Key words**: Liquid natural gas. World energy market. Cryogenic liquid*

Природний газ є енергоносієм XXI століття [1]. Очікується, що до 2020 р. доля природного газу на світовому енергетичному балансі становитиме 50 %. Тому багато компаній та дослідних центрів приділяють багато уваги обладнанню та енергоефективності для різноманітних технологічних процесів. Природний газ незалежно від фазового стану є універсальним екологічно чистим паливом [2], яке у 3…5 разів дешевше палива, одержаного з нафти [3]. Скраплений природний газ (СПГ) у порівнянні зі

стиснутим можливо транспортувати без використання трубопровідного способу майже на будь-які відстані у необхідному обсязі. Перша установка для одержання СПГ була створена у 1912 р. у Західній Вірджинії (США), а перший комерційний завод у 1941 р. у Клівленді (США) [4]. Пізніше СПГ-заводи стали будуватися поблизу газових родовищ. Перший з них побудували у 1964 р. в Арзеве (Алжир).

Що таке СПГ

СПГ – це кріогенна рідина, як і азот, кісклород, гелій, водень. Скраплений природний газ це звичайним природний газ, охолоджений до температури –162 °С для зберігання і транспортування в рідкому стані. Зберігається він у ізотермічних резервуарах при температурі кипіння, яка підтримується внаслідок випаровування частини СПГ. Контакт предметів з СПГ може викликати зміну властивостей контактуючих матеріалів, які згодом стануть ламкими і втратять свою міцність і функціональність.

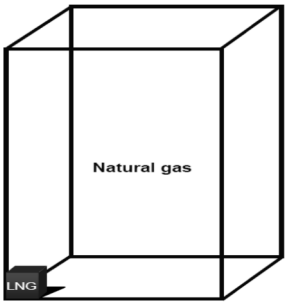


Рис. 1 – Ілюстрація зменшення об'єму природного газу при скрапленні

Густина скрапленого природного газу, як правило, знаходиться в діапазоні 430-470 кг/м^3, а його обсяг становить приблизно 1/600 об'єму газу в атмосферних умовах (рис. 1). Це робить його приблизно на третину легше, ніж повітря. СПГ має меншу густину, ніж вода, що дозволяє йому перебувати на поверхні в разі розливу і повернутися до пароподібному стані досить швидко.

Зріджений природний газ не має запаху, безбарвний, не викликає корозії, не горючий і не токсичний. У своїй рідкій формі зріджений природний газ не має здатності вибухати або займатися. При випаровуванні природний газ може спалахнути в разі контакту з джерелом горіння і якщо концентрація випарів в повітрі становитиме від 5 (менше – недостатньо випарів для горіння) до 15 % (більше – нестача кисню).

СПГ у світі

Обсяг світової торгівлі СПГ у 2015 році збільшився на 2,5 % [5]. У річному зіставленні до 245,2 млн т. на рік. Азіатський попит на СПГ склав 72 % світової торгівлі СПГ, з них 41 % світових обсягів СПГ, що поставляються з Азіатсько-Тихоокеанського регіону і 40 % з Близького Сходу (рис. 2). В 34 країнах-імпортерах працюють 117 СПГ терміналів з 777 млн т. на рік загальною потужністю в той час, як 90 технологічних ліній в експлуатації в 19 країнах-експортерах з 308 млн т. в рік загальної потужності (рис. 3).

В 2015 році тільки один проект терміналу-імпортера введений у експлуатацію (SABINE PAS LNG Plant T1, США) з 5-ю технологічними лініями, на експорт завершили будівництво 4 терміналів.

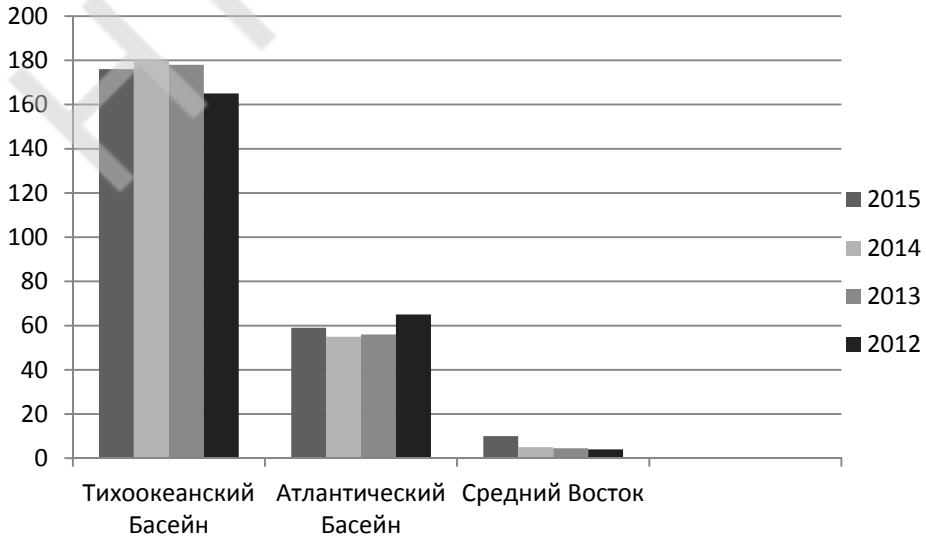


Рис. 2 – СПГ імпортери по регіонам (млн. т. в рік) [5]

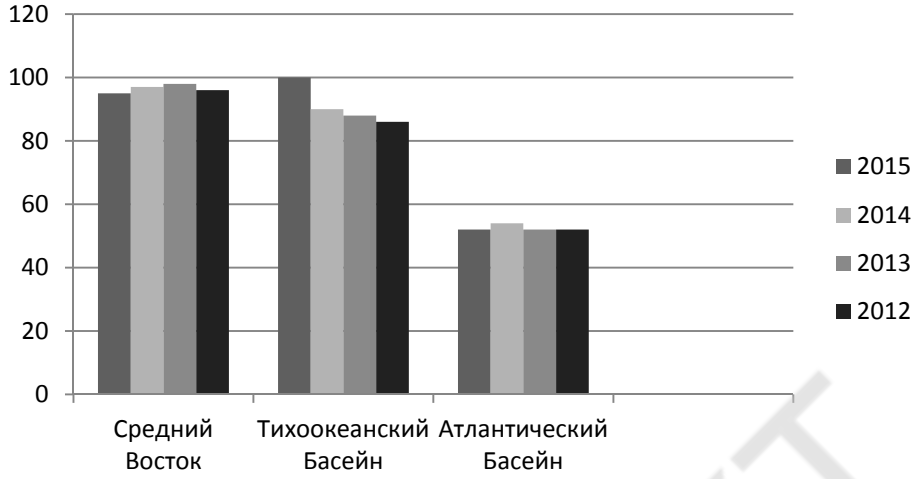


Рис. 3 – СПГ експортери по регіонам (млн. т. в рік) [5]

Японія і Катар зберегти свої позиції в якості найбільшого в світі імпортера і експортера зрідженого природного газу. Імпорт СПГ розглядається як засіб для вирішення зростання попиту на енергоносії, особливо в країнах з економікою, що розвивається: Китай, Індія і Близький Схід (рис. 4, 5).

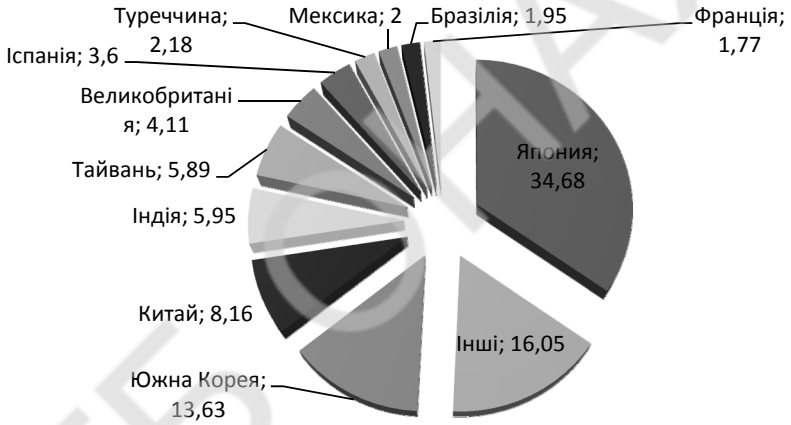


Рис. 4 – Світові споживачі СПГ (%) [5]

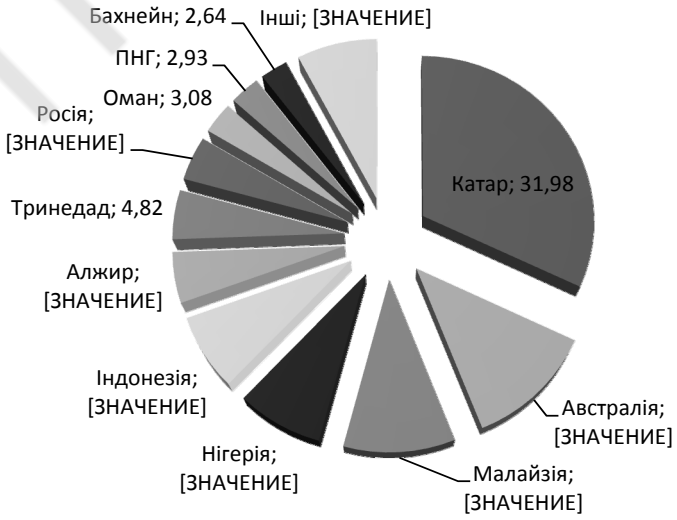


Рис. 5 – Світові постачальники СПГ (%) [5]

Висновки

Зріджений природний газ є перспективним паливом у рохвитку світової енергетичної системи. Його запаси дозволють робити прогнози розвитку промисловості на досить тривалий період. Сфера транпортування СПГ розвиваеться: будуються нові заволи, термінали для імпотру/експорту.

Література

1. Лавренченко Г.К. Международный семинар по проблемам производства и использования КПГ и СПГ [Текст] / Г.К. Лавренченко // Технические газы. – 2014. – № 4. – С. 3-16.
2. Использование перепадов давления на газораспределительных станциях для производства сжиженного природного газа [Текст] / А.И. Пятничко, Л.Р. Онопа, Ю.В. Иванов и др. // Технические газы. – 2014. – № 6. – С. 43-50.
3. Бармин И.В. Сжиженный природный газ вчера, сегодня и завтра [Текст] / И.В. Бармин, И.Д. Кунис. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256 с.
4. Лавренченко Г.К. Сжиженный природный газ: перспективы производства и использования [Текст] / Г.К. Лавренченко // Технические газы. – 2014. – № 3. – С. 3-10.
5. [Електроний ресурс]. Режим доступу: globallnginfo.com станом на 09.2016.

УДК 621.575.932:621.565.92

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ СНИЖЕНИЯ КОНТАКТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРА И ПЛОСКОСТИ

Титлов А.С[1]., д-р техн. наук, профессор, Двирный В.В[2]., д-р техн. наук, профессор
[1] Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, Украина
[2] АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева», Железногорск, Российская Федерация

Применение тепловой связи «объект охлаждения–испаритель» позволили применить новый способ конструирования, который отличается от традиционных выносом испарителя за пределы полезного охлаждаемого объема камеры и установкой его в специальном теплогидроизолированном блоке, что позволило уменьшить теплопотери и увеличить полезный объем охлаждаемой камеры

***Ключевые слова**: охлаждаемая камера, теплопотери*

The application of heat when the object of cooling–the evaporator is allowed to use a new method of design that is different from the traditional removal of evaporator outside the refrigerated useful volume of the chamber and placing it in a special heat and water insulated unit, allowing to reduce heat loss and increase the effective volume of the cooled camera

***Key words:** cooled camera, reduce heat loss*

Для снижения контактного сопротивления впервые была использована оригинальная конструкция, содержащая высокопористый материал (ВПЯМ) с медным каркасом (рис. 1). Предварительно заготовленные пластины ВПЯМ устанавливали в зоне контакта и сжимали при помощи резьбовых соединений (болтов), при этом снижалась их пористость и росла эффективная теплопроводность.

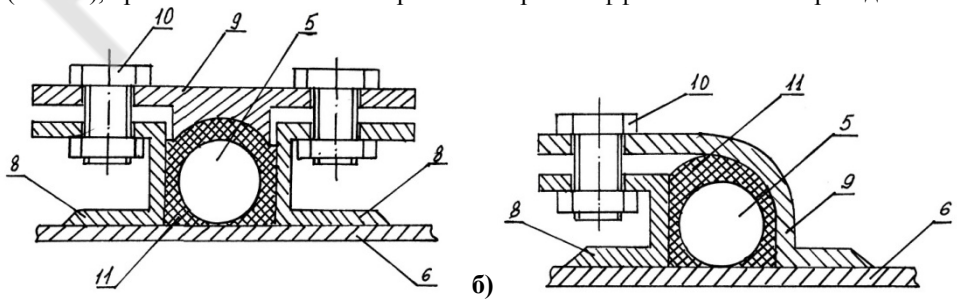


Рис. 1 – Схемы установки ВПЯМ в зоне контакта цилиндрического испарителя с плоской стенкой охлаждаемой камеры: а) двухсторонний прижим; б) односторонний прижим: 5 – испаритель; 6 – стенка охлаждаемой камеры; 8 – крепежная рама; 9 – прижимные панели; 10 – крепежные болты; 11 – сжатая пластина из ВПЯМ

Определение эффективной теплопроводности ВПЯМ и влияния на нее степени сжатия было проведено в процессе экспериментальных исследований. В качестве объекта исследования использовался пористый ВПЯМ с медным каркасом толщиной 10 мм, а также его сжатые варианты с остаточной толщиной 4,5; 3,2 и 2,3 мм. Применялся метод стационарного теплового потока. Максимальная степень сжатия пластин из ВПЯМ (ε – отношение начального объема образца к объему после сжатия) составляла порядка 5.

Найденная зависимость термического сопротивления и эффективной теплопроводности исследуемого образца пластины из ВПЯМ с медным каркасом от степени сжатия приведена в табл. 1.

Таблица 1 Результаты экспериментальных исследований пластин из ВПЯМ с медным каркасом

Толщина опытного образца ВПЯМ, мм	10,0	4,5	3,2	2,3
Степень сжатия, ε	0,00	2,22	3,13	4,35
Термическое сопротивление, К/Вт	1,62	0,38	0,27	0,24
Эффективная теплопроводность, Вт/(м·К)	3,83	7,92	8,28	8,32

При степени сжатия образца пористого ВПЯМ более 4,35 эффективная теплопроводность практически не меняется и составляет в дальнейшем 8,3±0,1 Вт/(м·К). Очевидно, что здесь наступает предел сжатия при помощи резьбовых соединений.

Проведенные исследования показали целесообразность установки в межконтактном зазоре предварительно сформированных пластин из ВПЯМ, причем сжатие ВПЯМ необходимо осуществлять в процессе установки с таким расчетом, чтобы он плотно облегал поверхности испарителя.

Максимальный эффект достигается в случае, если ВПЯМ пропитывается теплопроводной пастой типа КПТ-8. Без пропитки контактное термическое сопротивление, по сравнению с базовым значением снижается в 3,2 раза, а с пастой – в 6,7 раз [1].

Применение ТТ и ДФТС для тепловой связи "объект охлаждения – испаритель" позволили применить новый способ конструирования, который отличается от традиционных выносом испарителя за пределы полезного охлаждаемого объема камеры и установкой его в специальном теплогидроизолированном блоке. Это позволило: а) увеличить полезный объем охлаждаемой камеры; б) исключить из технологии производства экологически опасную операцию оцинковки поверхности испарителя.

Литература

1. Пат. 2039916 Российская Федерация, МПК^{6} F 25 D 11/02, 23/10. Способ соединения теплопередающих деталей разной конфигурации в абсорбционном холодильнике и абсорбционный холодильник. Заявка № 4877935/13 от 11.09.90. / В. Ф. Чернышов, Г. И. Овечкин, А. С. Титлов, К. Г. Смирнов-Васильев, В. В. Двирный, Н. Ф. Хоменко. Бюл. 1995. № 20.

УДК 629.12:621.575.932

РОЗРОБКА СУДНОВИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ НА БАЗІ МОДУЛЬНИХ АБСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

Редунов Г.М., инженер, аспіранти: Гожелов Д.П., Тимофєєв І.В., Мазуренко С.Ю.
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Обсуждаются вопросы применения на судах тепловикористовуючих абсорбционных холодильных агрегатов малой производительности для хранения пищевых продуктов, полуфабрикатов и сырья. Для работы таких аппаратов на судах могут быть использованы выхлопные газы дизель-генераторов судовых энергетических установок. Рассматриваются две схемы безнасосних абсорбционных холодильных агрегатов — с воздушным и жидкостным охлаждением элементов.

The questions of application come into a question on the courts of heatusing of absorption refrigeration aggregates of the small productivity for storage of food products, ready-to-cook foods and raw material. For work of such vehicles on courts exhaust gases of dizel-generator of ship power plants can be utillized. Two charts of no-pump of absorption refrigeration aggregates are examined — with the air and liquid cooling of heat elements.

Проблеми енергоресурсозбереження, що стоять сьогодні перед світовою спільнотою, найбільшої актуальності набувають на транспорті, зокрема, на морському. Для суднових систем холодильної техніки і кондиціювання повітря відомою енергоресурсозберігаючою пропозицією є застосування тепловикористовуючих апаратів, які утилізують теплоту скидних газів головних суднових двигунів і котельних установок [1]. Ефективність пропозиції пов'язана з тим, що втрати тепла зі скидними газами казанів, на сучасних суднах складають 7...8 %, втрати тепла в дизельних установках суден 28...40 % [1].

Окрім тепловологісної обробки повітря в системах кондиціювання штучний холод, вироблений тепловикористовуючими холодильними машинами може використовуватися для глибокого охолоджування надувочного повітря і побутових потреб.

Потреба в штучному холоді для цих цілей складає 2000...5000 кВт, що нескладно забезпечити за допомогою тепловикористовуючих холодильних машин — пароежекторних [1] і абсорбційних [2,3].

Разом з тим при вирішенні завдань енергозбереження практично не приділяється уваги малим споживачам штучного холоду на морських суднах — апаратам низькотемпературного зберігання харчових продуктів і напівфабрикатів для потреб командного складу. Потреби холоду в таких апаратах незначні, в порівнянні з виробничими, а традиційним виробником холоду в них є фреонові парокомпресійні агрегати, що використовують тільки електричні джерела енергії.

Ряд фреонів R11, R13, R113, R502, R503 і серед них широко відомий R12 — активно руйнують атмосферний озон, чим сприяють попаданню на поверхню Землі жорсткого сонячного випромінювання, згубного для всього тваринного і рослинного світу і планети [4].

Значний внесок в ці несприятливі для екології ефекти вносять і системи холодильної техніки, більшість яких в даний час працюють на R12.

Світова спільнота реагує на погіршення екологічної обстановки цілим поряд заборон і обмежень (Монреальський протокол, 1986 р.; Конвенція ООН по клімату, Ріо-де-Жанейро, 1992; Кіотський протокол, 1997 р.), які в даний час не виконуються більшістю країн, що розвиваються, та країн з перехідною економікою, у тому числі і країнами колишнього СРСР. Таке положення значною мірою пов'язане з тим, що комплекс технічних і економічних заходів, пов'язаних з переходом холодильної техніки на екологічно чисті холодоагенти, повною мірою можуть здійснити тільки країни з розвиненою економікою.

До таких проблем переходу відносять: пошук нових синтетичних масел; низьку енергетичну ефективність нових екологічно безпечних хладагентов; недостатній професійний рівень розробників і обслуговуючого персоналу.

Ці проблеми примушують розробників дрібних холодильних апаратів, до яких відносяться моделі побутової і торгової холодильної техніки, звертати пильну увагу на абсорбційні холодильні агрегати (АХА), які можуть стати одним з альтернативних варіантів переходу на екологічно безпечні холодагенти.

Робоче тіло АХА — водоаміачний розчин (ВАР) з добавкою інертного газу — водню, гелію або їх суміші абсолютно екологічно безпечно — має нульові значення озоноруйнівного потенціалу і потенціалу «парникового» ефекту [5].

АХА мають і ряд таких унікальних якостей, як:

а) безшумність, висока надійність і тривалий ресурс, відсутність вібрації, магнітних і електричних полів при експлуатації [6];

б) можливість використання в одному апараті декількох різних джерел теплової енергії — як електричних, так і альтернативних (теплота згорання органічного палива, сонячне випромінювання, вихлопні гази двигунів внутрішнього згорання) [7];

в) можливість роботи з неякісними джерелами енергії, у тому числі і електричними в діапазоні напруги мережі 160...240 В [8].

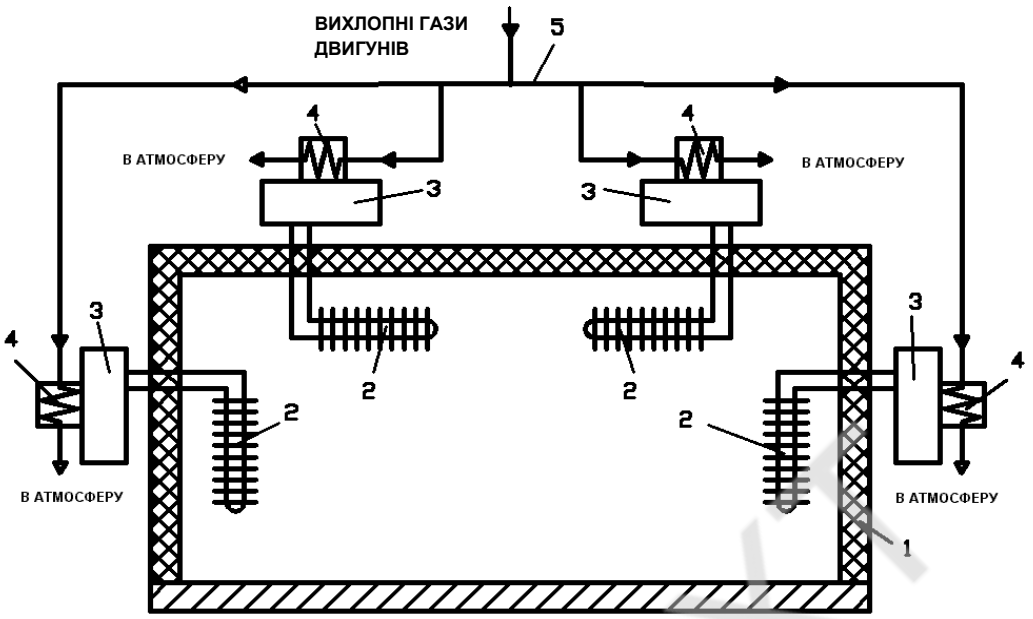
До переваг АХА слід віднести мінімальну вартість серед існуючих типів побутового холодильного устаткування, що у багатьох випадках і визначає їх популярність у користувачів [9].

Холодильні апарати з АХА, оснащені пальниковими пристроями, широко використовуються туристами і мандрівниками, оскільки їм немає альтернативи в районах з відсутністю електроенергії.

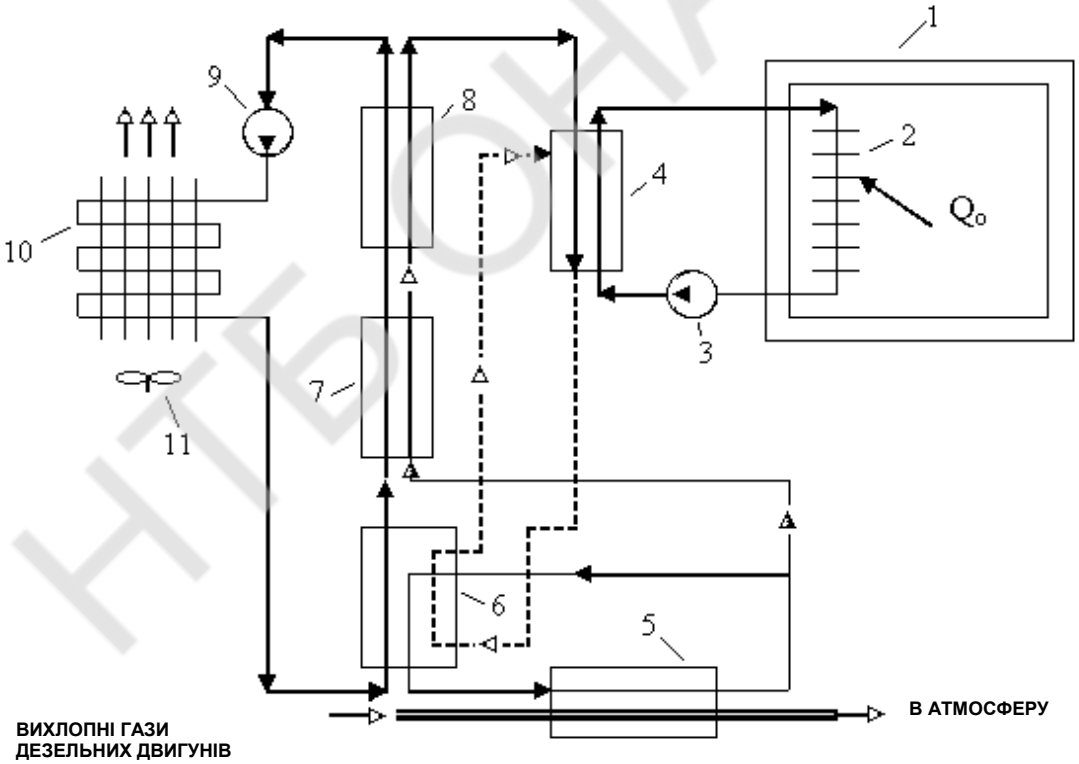
Для роботи на морських суднах можуть бути використані два типи АХА — з повітряним [1, 6, 8] (рис. 1) і рідинним [10, 11] (рис. 2) охолоджуванням теплорозсіюючих елементів (конденсатора, дефлегматора і абсорбера).

У першому випадку забезпечується повна автономність холодильного апарату, але конструкція достатньо громіздка, в другому випадку ситуація зворотна: металоємність мінімальна, але потрібний циркуляційний насос для прокачування охолоджуючої води.

АХА із повітряним охолоджуваним теплонавантажених елементів в режимі природної конвекції (надалі — АХА ПО) серійно випускаються в Україні на Васильківському заводі холодильників (Київська область).



1 — холодильна камера; 2 — випарники АХА;
3 — теплорозсіюючі елементи АХА; 4 — кип'ятильник; 5 — магістраль підведення тепла
Рис. 1 – Схема використання АХА з повітряним охолодженням теплорозсіюючих елементів



1 — холодильна камера; 2 — охолоджувач розсолу; 3 — насос розсолу; 4 — випарник;
5 — кип'ятильник; 6 — абсорбер; 7 — дефлегматор; 8 — конденсатор; 9 — насос контура охолоджування теплорозсіюючих елементів; 10 — повітряний теплообмінник; 11 — вентилятор
Рис. 2 – Схема використання АХА з рідинним охолоджуванням теплорозсіюючих елементів

Холодопродуктивність вітчизняних АХА ПО не перевищує 50 Вт, тому переважно вони використовуються в побутових і торгових холодильних апаратах ємкістю від 30 літрів до 200 літрів [6, 12]. За кордоном відоме застосування АХА ПО в холодильниках ємкістю понад 300 літрів [13].

Побутові і торгові абсорбційні апарати, як правило, працюють з електричними джерелами енергії потужністю від 70 до 300 Вт [6, 9, 12, 13], оскільки вони розташовуються всередині житлових і робочих приміщень.

АХА з рідинним охолоджуванням теплонавантажених елементів (надалі — АХА РО) розраховані на холодопродуктивність 1200…1500 Вт. В даний час вони знайшли застосування в теплових насосах, що використовуються для альтернативного опалювання невеликих житлових будинків [10, 11]. Джерелом енергії для АХА з рідинним охолоджуванням служать продукти згорання органічного палива (природного газу, пропана, гасу, бензину і т. д.). Пальниковий пристрій розраховується на теплове навантаження 3500…5000 Вт.

У всіх випадках застосування АХА на морських суднах, не зіткнеться з типовою для тепловикористовуючих холодильних апаратів проблемою — залежністю від режиму роботи енергетичної установки, коли типовим рішенням є установка спеціального парогенератора, що включається на стоянках і забезпечує стабільну роботи холодильної машини [1], а недоліком — збільшення складу суднового енергетичного устаткування і пов'язані з цим проблеми зростання металоємності, зниження надійності і безпеки, наявністю додаткового обслуговуючого персоналу і так далі.

При використанні АХА у складі суднових низькотемпературних камер проблеми енергозабезпечення можуть бути вирішені і без підключення додаткового енергетичного устаткування, а тільки за рахунок утилізації тепла вихлопних газів дизель-генераторів.

Так, наприклад, сучасні типові дизельні двигуни «WARTSILA DIESEL» мають наступний діапазон параметрів експлуатації (табл. 1).

Таблиця 1 – Технічні характеристики двигунів «WARTSILA DIESEL»

Параметри	4R32D	6R32D	8R32D	9R32D	12R32D	16R32D	18R32D
Потужність двигуна, кВт	1480	2220	2960	3330	4440	5920	6660
Кількість вихлопних газів, кг/с							
(100 % навантаження)	3,0	4,4	5,9	6,5	11,8	11.8	12,9
(90 % навантаження)	2,7	4,1	5,4	5,9	8,2	10,9	11,8
(75 % навантаження)	2,4	3,5	4,6	4,9	7,1	9,2	9,8
(50 % навантаження)	1,7	2,6	3,3	3,4	5,1	6,5	6,9
Температура вихлопних газів після турбокомпресора, ºС							
(100 % навантаження)	345	325	335	350	325	335	350
(90 % навантаження)	340	320	335	350	320	335	350
(75 % навантаження)	335	310	340	345	310	340	345
(50 % навантаження	320	290	330	340	290	330	345
Теплова потужність, що йде з вихлопними газами, кВт							
(100 % навантаження)	625	820	1165	1395	2200	2335	2770
(90 % навантаження)	550	740	1070	1265	1480	2155	2535
(75 % навантаження)	475	600	935	1025	1205	1870	2050
(50 % навантаження)	310	380	635	690	750	1250	1440

Примітка.
1. Результати приведені для режиму роботи дизельного двигуна 720 об/хв.
2. При розрахунку теплової потужності, що йде з вихлопними газами, використовувалася величина теплоємності газу, рівна 1,13 кДж/(кг·К), а кінцева температура газу приймалася 160 °С.

Як показують оцінні розрахунки, навіть при ККД перетворення енергії вихлопних газів 25 % дизельного двигуна мінімальної потужності (4R32D), що працює на 50 %-ному навантаженні, на судні можна експлуатувати до 15 АХА з рідинним охолоджуванням або до 500 середніх АХА ПО, забезпечуючи виробництво, не менше, 20 кВт штучного холоду.

Необхідною умовою роботи АХА є і рівень температур джерела теплової енергії — 160…175 ºС [15]. Як показує аналіз табл. 1, за цим критерієм цілком проходять всі типи дизельних двигунів у всьому діапазоні їх режимів роботи (від 100 до 50 % навантаження), причому температурний напір складає, не менше, 115 °С.

Ефективність використання АХА, що працюють в режимі утилізації тепла скидних газів суднових дизельних двигунів, зросте за наявності системи регулювання теплового навантаження на генераторному вузлі.

Доцільність регулювання пов'язана як з прямою економією енергоресурсів, так і з забезпеченням штатної роботи (підтримка необхідного температурного режиму низькотемпературного зберігання) холодильного апарату за змінних умов експлуатації.

Для даного випадку під змінними умовами експлуатації слід розуміти:

а) зміну режиму роботи дизельного двигуна, коли витрата вихлопних газів може змінитися, практично, в два рази, а температура — на 30...35 °С (таблиця 1);

б) зміна умов охолоджування теплорозсіюючих елементів АХА в різних кліматичних зонах і при зміні погодних умови (вітер, пряме сонячне випромінювання, дощ);

в) завантаження холодильної камери теплими харчовими продуктами.

Висновки

1. Раціональне використання скидною енергії для виробництва штучного холоду дозволить не тільки зменшити число АХА, а отже зменшити металоємність судна, але і використовувати відпрацьоване тепло, що володіє значним температурним потенціалом (не менше 160 °С) для подальшої глибшої утилізації, наприклад, для обігріву приміщень в холодну погоду.

2. Перспективи застосування абсорбційних холодильних апаратів на морських суднах зв'язані і з унікальною можливістю експлуатації АХА ПО в широкому діапазоні температур, у тому числі і нижче 0 ºС. При низьких температурах навколишнього середовища (менше 10 °С) не рекомендується експлуатація компресійних холодильних апаратів [16], із-за можливості запустіння масла і поломки рухомих елементів компресора. У конструкціях АХА ПО рухомі елементи відсутні і, відповідно, відсутні які-небудь обмеження.

3. АХА ПО доцільно розташовувати на суднах за межами житлових і господарських приміщень. В цьому випадку відпрацьовані гази за відсутності подальшої утилізації можуть бути відведені безпосередньо в атмосферу, а теплорозсіюючі елементи знаходиться в тепловій взаємодії із зовнішнім повітрям.

Література

1. Загоруйко, В.А. Судовая холодильная техника / В.А. Загоруйко, А.А. Голиков. – К.: Наукова думка, 2000. – 607 с.
2. Богданов, А.И. Абсорбционные бромисто-литиевые холодильные машины / А.И. Богданов //Холодильная техника. – 2002. – № 10. – С. 16.
3. Абсорбционные холодильные машины компании Dunham-Bush International // Холодильная техника. – 2000. – № 11. – С. 23-25.
4. Железный, В.П. Эколого-энергетические аспекты внедрения альтернативных хладагентов в холодильной технике/ В.П. Железный, В.В. Жидков. – Донецк: Донбас, 1996. – 144 с.
5. Perspectives in refrigerant development. –Bitzer Kuhlmachinenban, IKK93. – 1993. – № 9306E. – 23 p.
6. Лепаев, Д.А. Ремонт бытовых холодильников: Справочник – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 304 с.
7. Проблемы энергосбережения в бытовой абсорбционной холодильной технике/ Н.Д. Захаров [и др.] //Холодильная техника и технология. – 1999. – № 62. – С. 108-119.
8. Завертаный В.В. Разработка низкотемпературных камер с абсорбционно-диффузионными холодильными машинами: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.03 / Владимир Вячеславович Завертаный; ОГАХ. – Одесса, 1995. – 223 с.
9. Бабакин, Б.С Бытовые холодильники и морозильники / Б.С. Бабакин, В.А. Выгодин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Колос, 2000. – 656 с.
10. Steirlin, H. J.R. Ferguson Diffusion absorption Heat Pump (DAHP) //ASHRAE TRAHSACTION. – 1980. – V.96. – Pl.1 – P.274-280.
11. Stierlin H. Messungen an Diffusions-Fbsorptions-Warmepumpen (DAWP) / H. Stierlin [et al.]. – Schlussbericht, 1994.– 95 p.
12. Сводные данные товаров народного потребления: Часть 1. Холодильники и морозильники бытовые электрические, термостаты бытовые. – М.: Министерство общего машиностроения СССР, 1990. – 102 с.
13. Материалы международной выставки "Домотехника - 89" – С. 23–65.
14. Инструкция по проектированию судовых установок «Вяртсиля VASA 32», 1990.
15. Титлов А.С. Поиск энергосберегающих режимов работы перекачивающих термосифонов АХА / А.С. Титлов, Д.С. Тюхай, О.Б. Васылив // Холодильная техника и технология. – 2000. – № 67. – С. 12-20.
16. ДСТУ 2295-93 (ГОСТ 16317-95 ISO 5155-83, ISO 7371-85, IEC 335-2-24-84). Прилади холодильні електричні побутові. Загальні технічні умови [Текст] – Взамен ГОСТ 16317-87; введ. 1995 – 07– 20. – К: Держстандарт України, 1996. – 35 с.

УДК 621.438.13:621.57

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТРАНСФОРМАЦИИ СБРОСНОГО ТЕПЛА ГПД СОВМЕСТНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН И ДВУХПОТОЧНОЙ ПОДАЧИ ОБРАТНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Остапенко А.В., аспирант
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

В русле общемировой тенденции децентрализации энергоснабжения все большее распространение получают установки автономного энергообеспечения именуемых тригенерационными, в которых сбросная теплота приводных двигателей электрогенераторов трансформируется в холод теплоиспользующими холодильными машинами, а холод используется на технологические нужды и кондиционирования воздуха различных объектов. Особенно перспективным является применение для привода электрогенераторов газопоршневых двигателей (ГПД), выпускаемых в когенерационных исполнении – со штатными теплообменниками, в которых сбросная теплота отводится на нагрев воды (теплоносителя), теплота которого в свою очередь трансформируется в холод абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной (АБХМ). Особенностью данных установок является то что они комплектуются из нескольких когенерационных двигателей и нескольких теплоиспользующих машин для того чтоб обеспечить возможность регулировки требуемой мощности установки, путем включения в работу части двигателей. Термическое состояние ГПД обеспечивается поддержанием температуры обратного (охлажденного) теплоносителя на входе ГПД не выше 70 °С. В то же время эффективность трансформации теплоты в холод в АБХМ высокая при снижении температуры теплоносителя в АБХМ не более чем на 10...15 °С, то есть до 75...80 °С (при температуре теплоносителя на выходе из ГПД – на входе АБХМ 90 °С). Из-за противоречивых требований по эффективной работе ГПД и АБХМ по температуре теплоносителя для поддержания температуры обратного теплоносителя на входе ГПД на безопасном уровне 70 °С он дополнительно охлаждается в градирне "аварийного сброса". При этом потери теплоты достигают 30%, в результате чего эффективность трансформации теплоты снижается до 0,55 по сравнению с 0,8 – эффективностью работы самой АБХМ.

После анализа работы установки были выдвинуты гипотезы, о том что совершенствования системы трансформации сбросного тепла ГПД возможно путем совершенствования когенерационной системы отвода теплоты от ГПД на основе принципа возврата обратного теплоносителя двумя потоками с разной температурой, а также совершенствованием самой системы трансформации в направлении расширения диапазона эффективной трансформации сбросного тепла путем использования ступенчатой трансформации в 2-х теплоиспользующих машинах.

На основе данных гипотез была предложена двухпоточная система утилизации с двумя АБХМ сочетающая в себе совершенствование и когенерационного модуля и системы трансформации представленная на рис. 1.

Принцип работы такой системы заключается в том что, двухпоточная подача обратного теплоносителя разными потоками позволяет повысить температуру на выходе из когенерационного модуля до 95°С и как следствие тепловой коэффициент 1-й высокотемпературной ступени АБХМ. На выходе из 1-й ступени АБХМ получают обратный теплоноситель так же с более высокой температурой 79°С по сравнению с базовым 75°С. Часть этого теплоносителя подается во вторую низкотемпературную АБХМ и трансформируеться в холод.

В итоге за счет такого решения системы утилизации наблюдаеться рост теплового коэффициента 1-й АБХМ так как температура теплоносителя подаваемого в нее на 5°С выше базовой, кроме того избыточная теплота теплоносителя ранее сбрасываемая в градирне «аварийного сброса» в атмосферу теперь трансформируется в холод во 2-й низкотемпературной АБХМ, тем самым сводя потери тепла в системе утилизации к минимуму. В итоге тепловой коэффициент предложенной системы утилизации $\zeta_{СУ(2Аб\ 2пот.)}$, который отображает эффективность ее работы, значительно превышает его значение для базовой системы утилизации $\zeta_{СУб}$ и приближается к значению теплового коэффициента базовой АБХМ $\zeta_{АБХМ(90)}$, как видно с рис.2.

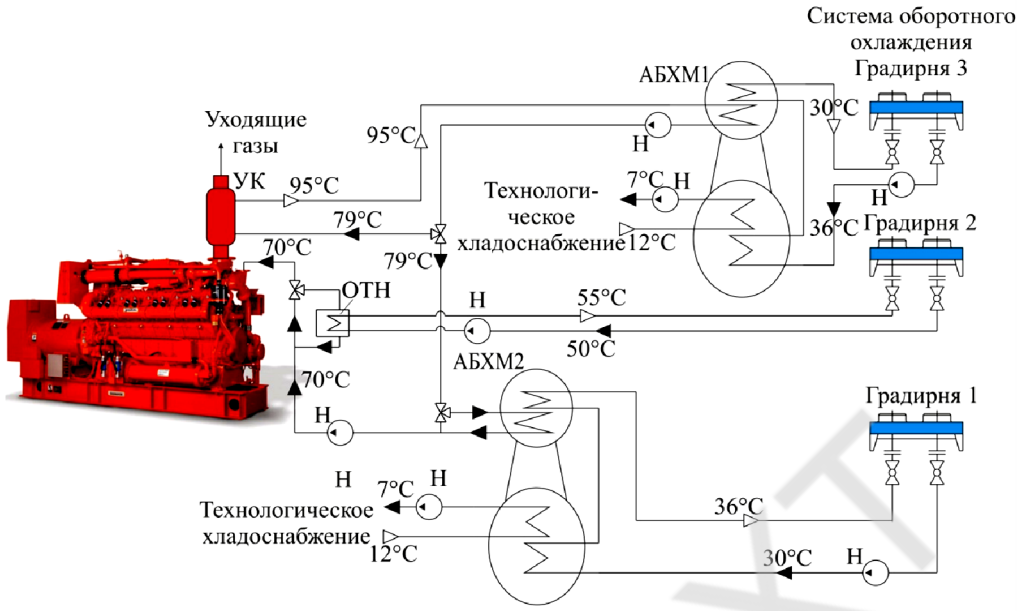


Рис. 1 – Схема системы двухступенчатой трансформации сбросной теплоты ГД в двух АБХМ: УК – утилизационный котел; ОТН – охладитель обратного теплоносителя; ГК – газовый котел; НТН – нагреватель теплоносителя; Н – насос; градирня 2 – аварийного сброса тепла

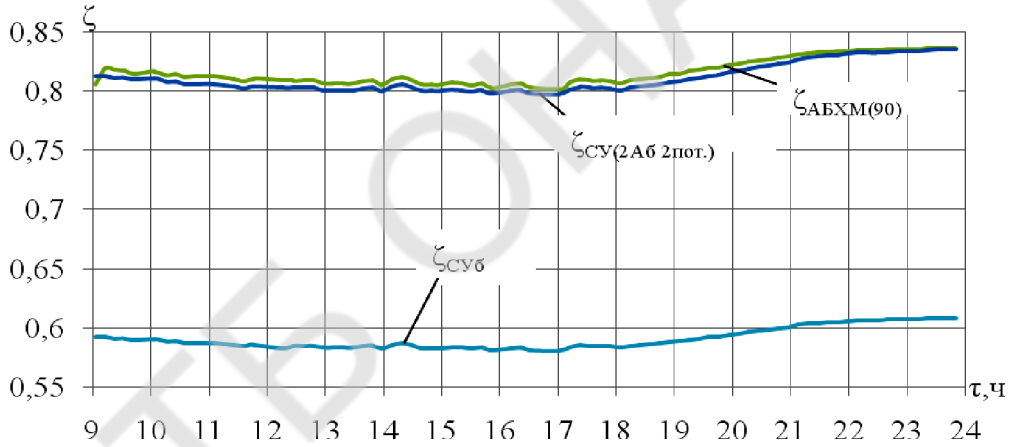


Рис. 2 – Значения тепловых коэффициентов АБХМ $\zeta_{АБХМ(90)}$ и системы утилизации сбросной теплоты ГД базового варианта $\zeta_{СУб}$, а также варианта с двухпоточной подачей теплоносителя $\zeta_{СУ(2Аб\ 2пот.)}$ в течение 9^{00} – 24^{00} (28.07.2011)

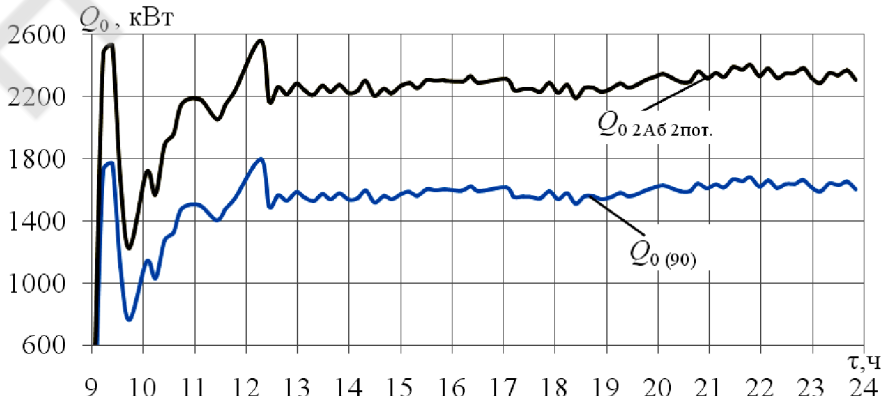


Рис. 3 – Количество холода, полученного для систем утилизации: базовой $Q_{0(90)}$ и с двумя АБХМ и двухпоточной подачей теплоносителя $Q_{0\ 2Аб\ 2пот.}$

На рис. 3 представлены значения холодопроизводительности предложенной системы утилизации $Q_{0\ 2Аб\ 2пот.}$, и для сравнения ее значения для базовой системы утилизации с 1-й АБХМ $Q_{0.(90)}$, работающей на теплоносителе с температурой 90°С

Литература

1. Campanary, S. Technical and tariff scenarios effect on microturbine trigenerative applications [Text] / S. Campanary, E. Macchi // ASME paper GT-2003-38275. – 10 p.
2. Consonni S. Optimization of Cogeneration Systems Operation – Part A: Prime Movers Modelization / S. Consonni, G. Lozza, E. Macchi // Proceedings of the ASME Cogen-Turbo Symposium. – Nice, France. – 1989. – P. 313– 322
3. Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термо-трансформаторов / В.С. Мартыновский // М.: Энергия, 1979. – 288 с

УДК 621.57

ОСОБЕННОСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА МАШИННОГО ЗАЛА ТРИГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Грич А.В., аспирант
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

Характерной чертой установок автономного энергообеспечения технологических предприятий является наличие абсорбционной холодильной машины (АБХМ) – для трансформации сбросной теплоты двигателей в холод, и парокомпрессорной холодильной машины (ПКХМ) – для обеспечения холодом технологического производства. При этом в стандартных системах кондиционирования машинных отделений установок автономного энергообеспечения холод, получаемый от АБХМ используется для охлаждения приточного воздуха МО. Недостатком стандартных схем является сравнительно небольшая глубина охлаждения воздуха, ограниченная температурой хладоносителя АБХМ 7°С. Поэтому будет рациональным использование штатной ПКХМ для увеличения глубины охлаждения приточного воздуха, и повышения тем самым топливной эффективности газового двигателя (ГД). Но так технологический процесс является более приоритетным потребителем холода, применение ПКХМ для кондиционирования МО крайне лимитировано. Исходя из этого, есть необходимость наиболее рационально использовать холод, получаемый от ПКХМ.

С целью снижения температуры воздуха на входе в ГД до 10 °С, что обеспечивало бы сокращение удельного расхода газа и увеличение генерируемой электрической мощности, была разработана схема с двухступенчатым охлаждением приточного воздуха.

Особенностью данной схемы является то, что вместо одного штатного ВО кондиционера для охлаждения приточного воздуха используются два последовательно расположенных воздухоохладителя (рис. 1). При этом первый по ходу воздуха $ВО_1$ использует хладоноситель от АБХМ с температурой 7 °С, а второй $ВО_2$ – хладоноситель с температурой около 4°С от ПКХМ, то есть процесс охлаждения приточного воздуха осуществляется ступенчато.

Данная схема, как и предыдущая, предполагает использование дополнительной ПКХМ, но отличается тем, применяются отдельные контуры хладоносителя от АБХМ и ПКХМ. Так как первая ступень $ВО_1$ позволяет снизить тепловую нагрузку на вторую ступень $ВО_2$, то использование общего контура хладагента для ПКХМ и АБХМ становится не рациональным, потому что температура хладоносителя на выходе с $ВО_2$ практически равна температуре хладоносителя, получаемого на выходе АБХМ.

На рис. 2 представлены графики изменения температур в течении суток при использовании двухступенчатой системы охлаждения. Как видно, температура воздуха на выходе из первой ступени $ВО_1$ составляет $t_{ВО2.Iст}$= 13…18 °С, что равно температуре на выходе из ВО $t_{ВО2(35)}$ (при 35000 м^3/ч), так как расход воздуха в обоих случаях равен 35000 м^3/ч, при этом параметры воздухоохладителя, расход и температуры воды на входе $ВО_1$, охлаждаемой в АБХМ, также остаются без изменений. Стоит отметить значительные колебания температуры в первой ступени $ВО_1$: $\Delta t_{ВО2.Iст}=\Delta t_{ВО2.Iст.max} - \Delta t_{ВО2.Iст.min}\approx 5$°С, обусловленные суточными изменениями температуры наружного воздуха $\Delta t_{НВ}=\Delta t_{НВ.max} - \Delta t_{НВ.min}\approx 16$°С.

Температура воздуха на выходе из $ВО_2$ $t_{ВО2.Iст}$= 9…11 °С, при этом её суточные колебания сравнительно не велики, что свидетельствует об относительно стабильной ее работе.

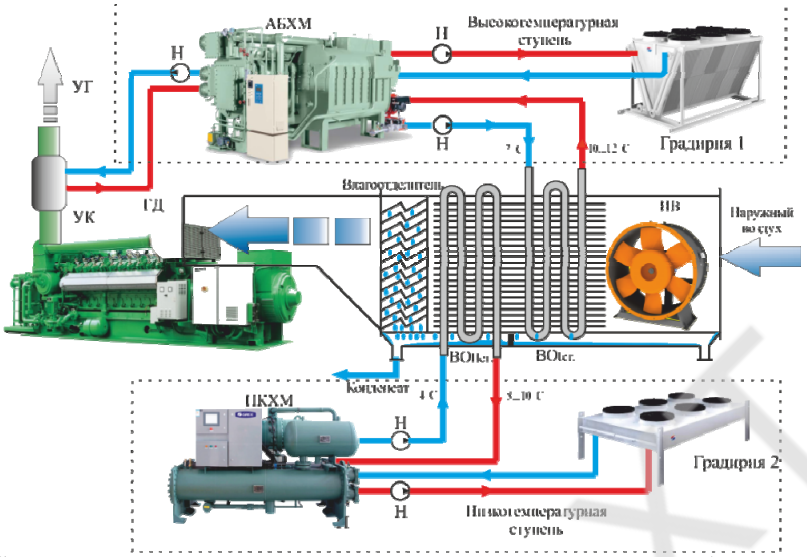


Рис.1 – Схема двухступенчатого охлаждения воздуха на входе в ГД в АБХМ и ПКХМ

Разница температур наружного воздуха и поверхности $ВО_1$ первой ступени значительно больше, чем разница температур на выходе $ВО_1$ первой ступени (входе $ВО_2$ второй ступени) и температуры поверхности $ВО_2$ второй ступени, поэтому глубина охлаждения $\Delta t_{ВО.1}$=8…18 °С значительно больше глубины охлаждения $\Delta t_{ВО.2}$=4…8 °С.

На рис.3 представлены графики изменения хладопроизводительности двухступенчатой системы охлаждения приточного воздуха. Тепловая нагрузка на первую ступень $ВО_1$ $Q_{0.Iст} = G_в \cdot c_в \cdot \xi_{Iст} \cdot (t_{нв} - t_{ВО2.Iст})$ практически равна $Q_{0.(35)}$, так как параметры наружного воздуха, его расход, температура хладоносителя и поверхность ВО остаются без изменения.

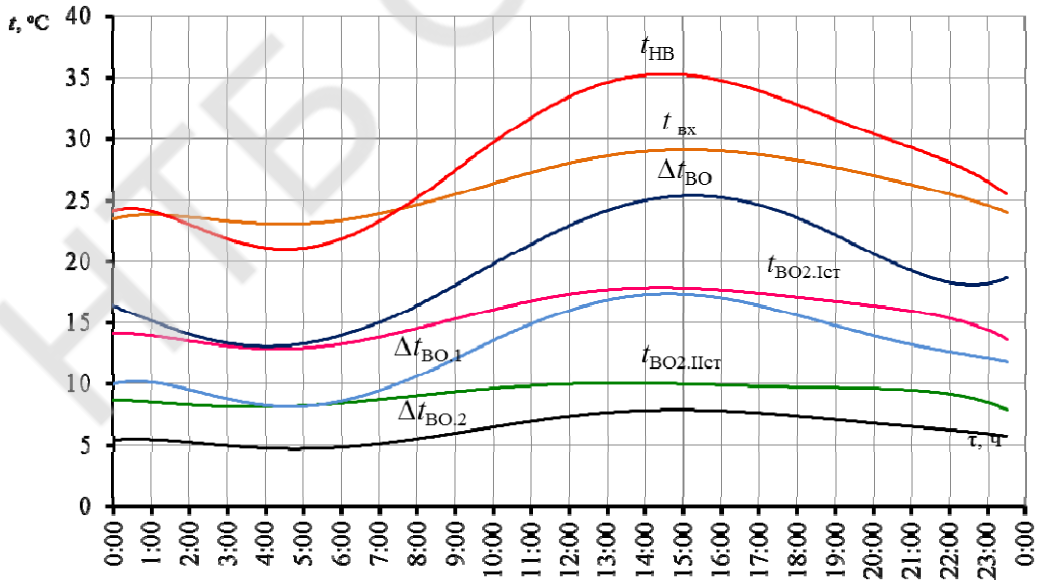


Рис. 2 – Температуры наружного воздуха $t_{нв}$, на входе ТК ГД $t_{вх}$ при заборе воздуха из МО, на выходе из АБХМ первой ступени ВО $t_{ВО2.Iст}$, снижение температуры воздуха в АБХМ первой ступени ВО $\Delta t_{ВО.1} = t_{нв} - t_{ВО2.Iст}$, на выходе из ПКХМ второй ступени ВО $t_{ВО2.IIст}$, снижение температуры воздуха в ПКХМ второй ступени ВО $\Delta t_{ВО.2} = t_{ВО2.Iст} - t_{ВО2.IIст}$, полная глубина охлаждения приточного воздуха в ВО $\Delta t_{ВО} = t_{нв} - t_{вых.ВО.2}$ в течении суток при расходе воздуха 35000 м^3/ч

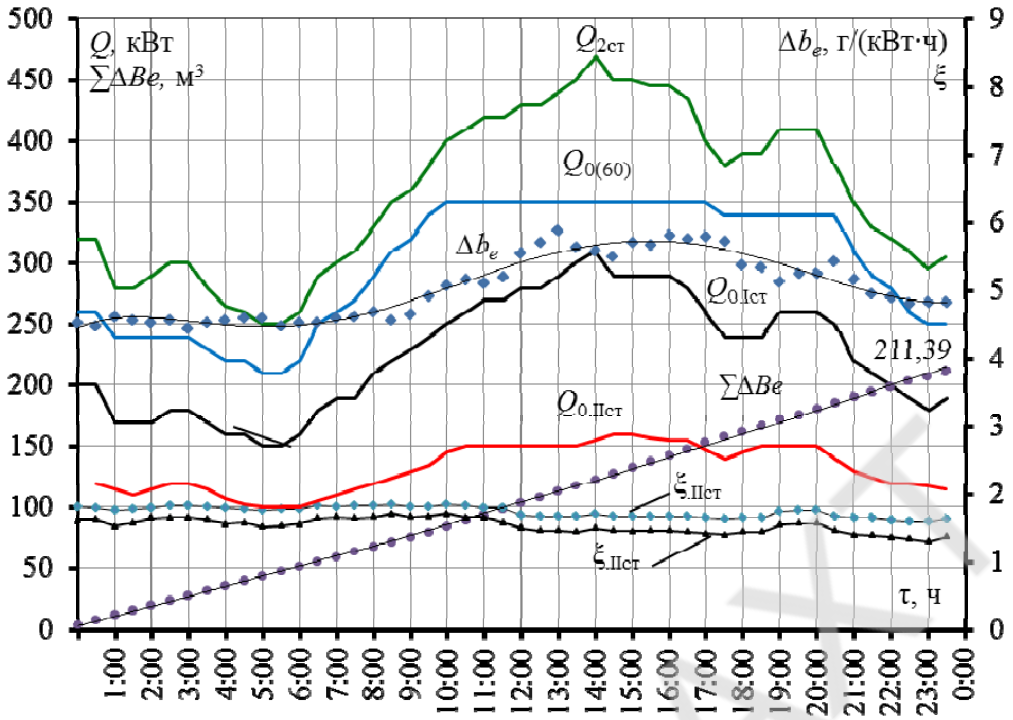


Рис. 3 – Изменение холодопроизводительности первой ступени ВО $Q_{0.Iст}$, второй ступени ВО $Q_{0.IIст}$, суммарная холодопроизводительность ВО $Q_{0.ВО}$: Δb_e – сокращение удельного расхода топлива г/(кВт·ч), $\sum\Delta Be$ – суточная экономия природного газа, м^3, $\xi_{Iст.}$ – коэффициент влаговыпадения первой ступени, $\xi_{IIст.}$ – коэффициент влаговыпадения второй ступени

Из графика видно, что тепловая нагрузка на $ВО_1$ первой ступени $Q_{0.Iст}$ значительно превышает значения тепловой нагрузки $ВО_2$ второй ступени $Q_{0.IIст}$, что объясняется большей глубиной охлаждения в $ВО_1$ первой ступени $\Delta t_{ВО.1}$ и высоким влагосодержанием наружного воздуха в дневное время. При этом в более холодное время, нагрузка на первую ступень будет снижаться вплоть до ее полного отключения

Литература

1. Радченко Р.Н., Грич А.В. Двухступенчатое охлаждение приточного воздуха газовых двигателей тригенерационной установки [Текст] / Р.Н. Радченко, А.В. Грич // Авиационно-космическая техника и технология. –2014. – № 6. – С. 103–107.
2. Радченко, А. Н. Согласование работы когенерационного модуля газового двигателя и абсорбционного термотрансформатора [Текст] / А. Н. Радченко, А. В. Коновалов, Л. А. Остапенко // Газотурбинные технологии: Рыбинск, Россия. – 2013. – № 4 (115). – С. 30–33.
3. Радченко, Н.И. Ступенчатое кондиционирование воздуха на входе рекуперативных ГТД утилизацией теплоты выпускных газов. [Текст] / Н.И. Радченко, С.А. Кантор, Рамзи Єл Герби // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 3 (110). – С. 86–90.
4. Рыжков С.С., Радченко А.Н., Фордуй С.Г., Радченко Н.И. Повышение эффективности тригенерационных установок автономного энерго-, тепло- и холодоснабжения // Холод в енергетиці і на транспорті: сучасні проблеми кондиціонування та рефрижерації: Матеріали II м.-н. н.-т. конф. – Миколаїв: НУК, 2013. Частина 1 – С. 257–264.

УДК 621.57

СТУПЕНЧАТАЯ СИСТЕМА ЗОНАЛЬНОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ МАШИННОГО ОТДЕЛЕНИЯ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ С ТРАНСФОРМАЦИЕЙ СБРОСНОЙ ТЕПЛОТЫ КАСКАДНОЙ АБСОРБЦИОННО-ПАРОКОМПРЕССОРНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНОЙ

Радченко А.Н., канд. техн. наук, Грич А.В., аспирант
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

Машинные отделения (МО) установок автономного энергоснабжения на базе газовых двигателей (ГД) отличаются интенсивными тепловыделениями – от электрогенераторов, навешенных на ГД теплообменников отвода теплоты на нагрев воды, от корпуса самого двигателя, щитов управления и т.д., а также теплопритоками в МО извне, что приводит к повышению температуры воздуха в МО, откуда он поступает на вход турбокомпрессоров наддува ГД, и, как следствие, к снижению топливной эффективности ГД. Поэтому приточный воздух МО необходимо охлаждать. В стандартных системах кондиционирования МО установок автономного энергоснабжения тригенерационного типа предусмотрено охлаждение всего приточного воздуха в центральных кондиционерах (ЦК) с холодоснабжением от абсорбционных холодильных машин (АБХМ), утилизирующих сбросную теплоту ГД. Однако при повышенных температурах наружного воздуха стандартные системы охлаждения в ЦК не в состоянии обеспечить требуемую температуру воздуха на входе ГД из-за значительных теплопритоков и больших объемов приточного воздуха. Кроме того, глубина охлаждения приточного воздуха ограничена температурой хладоносителя (холодной воды от АБХМ) 7°С.

Для более глубокого охлаждения приточного воздуха авторами разработана двухступенчатая система охлаждения приточного воздуха с парокомпрессорной холодильной машины (ПКХМ), служащей для холодоснабжения технологических производств. Использование ПКХМ для кондиционирования МО весьма ограничено, особенно при дефицита холода на технологические нужды.

Использование ПКХМ как источника холода для второй ступени охладителей воздуха на входе двигателей предполагает дополнительные затраты электроэнергии на привод компрессора, что при наличии технологических производств в качестве приоритетных потребителей холода крайне проблематично и требует рационального его расходования. Эта задача может быть решена путем увеличения холодопроизводительности ПКХМ с использованием для этого холода, получаемого трансформацией сбросной теплоты в АБХМ.

С целью сведения к минимуму потребления дефицитного холода от ПКХМ разработана система двухступенчатого охлаждения воздуха в воздухоохладителе (ВО) на входе ГД с хладоснабжением второй ступени $ВО_2$ от каскадной абсорбционно-парокомпрессорной холодильной машины (КАПКХМ). При этом конденсатор ПКХМ охлаждается хладоносителем от АБХМ. Система позволяет повысить холодопроизводительность компрессора и холодильный коэффициент ПКХМ (с $\eta_к$=3,1 до $\eta_к$=7 согласно характеристикам компрессора BITZER 4NES-12Y-40P на рис. 1) за счет снижения температуры конденсации $t_к$ от 45°С до 20°С.

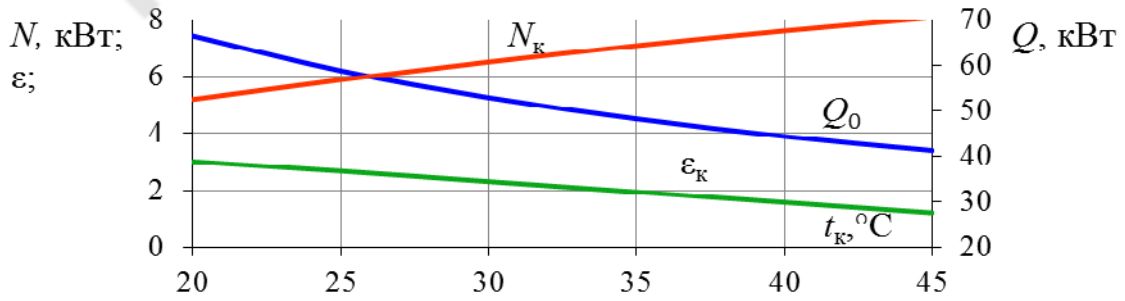


Рис. 1 – Зависимость холодильного коэффициента $ε_к$, потребляемой электрической мощности $N_к$ компрессора BITZER 4NES-12Y-40P, холодопроизводительности ПКХМ Q_0 от температуры конденсации

Таким образом можно сократить затраты электроэнергии на привод компрессора ПКХМ на 40…50%.

На рис. 2 показана схема каскадной системы охлаждения хладоносителя низкотемпературной секции ВО. При этом в качестве конденсатора ПКХМ используется дополнительный теплообменник с охлаждением за счет хладоносителя от АБХМ с температурой 7 °С.

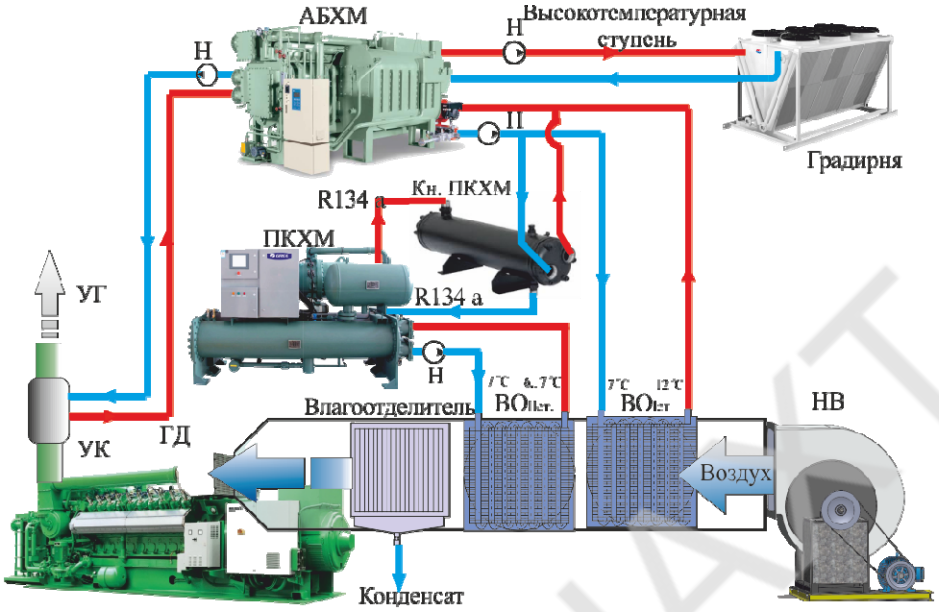


Рис. 2 – Схема каскадной системы зонального кондиционирования с двухступенчатым охлаждением приточного воздуха в КАПКХМ и его подачей непосредственно на вход ГД

На рис. 3 представлены результаты расчета характеристик системы двухступенчатого охлаждения воздуха на входе ГД с КАПКХМ. Как видно из графиков, снижение температуры воздуха составляет $\Delta t_{ВО} = t_{нв} - t_{вых.ВО.2} =$ 14…26 °С, что значительно больше чем в базовом варианте $\Delta t_{ВО(60)} = t_{нв} - t_{ВО.2} =$ 5…13 °С. Отсюда можно сделать вывод, что применение зональной системы кондиционирования с двухступенчатым охлаждением воздуха на входе ГД позволяет увеличить глубину охлаждения $\Delta t_{ВО}$ в полтора раза по сравнению с базовым вариантом системы кондиционирования.

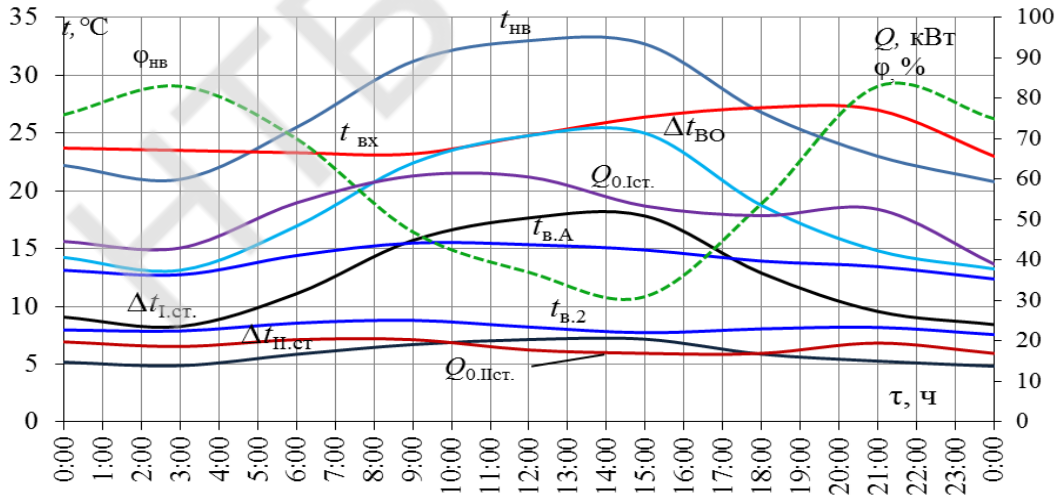


Рис. 3 – Температуры наружного воздуха $t_{нв}$, на входе ТК ГД $t_{вх}$ при заборе воздуха из МО, на выходе из первой ступени ВО$_1$ $t_{ВО2\text{·}1ст}$, снижение температуры воздуха в ВО$_1$ $\Delta t_{ВО.1} = t_{нв} - t_{ВО2.1ст}$, на выходе из второй ступени ВО$_2$ $t_{ВО2.2ст}$, снижение температуры воздуха в ступени ВО$_2$ $\Delta t_{ВО.2} = t_{ВО2.1ст} - t_{ВО2.2ст}$, полная глубина охлаждения приточного воздуха в двухступенчатом ВО $\Delta t_{ВО} = t_{нв} - t_{вых.ВО.2}$ в течении суток при расходе воздуха 35000 м^3/ч, холодопроизводительности первой ступени ВО$_1$ $Q_{0.1ст}$ и второй ступени ВО$_2$ $Q_{0.2ст}$

На рис.4 представлены текущие значения холодопроизводительности (тепловой нагрузки на ВО) и сокращение удельного расхода топлива в течение суток.

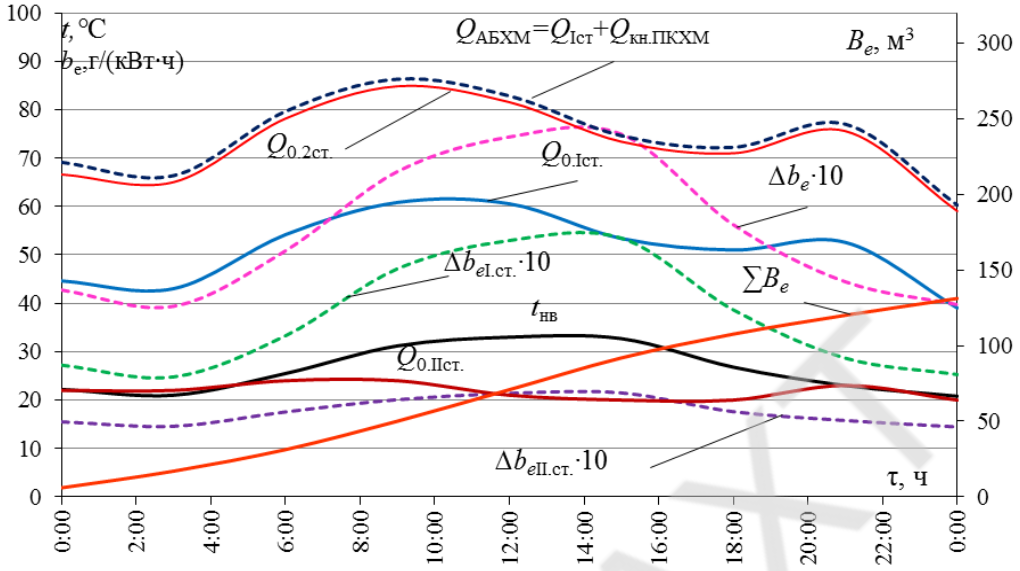


Рис. 4 – Изменение холодопроизводительности первой ступени ВО$_1$ $Q_{0.Iст}$, второй ступени ВО$_2$ $Q_{0.IIст}$, суммарной холодопроизводительности ВО $Q_{0.ВО}$, полной тепловой нагрузки с учетом охлаждения конденсатора ПКХМ $Q_{каскад.}=Q_{0.2ст}+Q_{кн}$: Δb_e – сокращение удельного расхода топлива, г/(кВт·ч), $\sum \Delta Be$ – суточная экономия природного газа, м^3

Величина $Q_{каскад.}=Q_{Iст}+Q_{IIст}+Q_{кн}$ характеризует полную тепловую нагрузку на АБХМ с учетом затрат холода на охлаждения конденсатора ПКХМ. Как видно, максимальная тепловая нагрузка составляет около 112 кВт, что на 68% меньше, чем в базовом варианте ($Q_{0(60)}$≈350 кВт), а нагрузка на ВО уменьшилась на 76%, что весьма существенно в условиях дефицита холода на технологические нужды.

Вывод

Разработан способ двухступенчатого охлаждения приточного воздуха МО ГД трансформацией сбросной теплоты ГД в каскадной абсорбционно-парокомпрессорной холодильной машине (КАПКХМ) с хладоснабжением высокотемпературной ступени ВО$_{ВТ}$ от АБХМ и низкотемпературной ступени ВО$_{НТ}$ от КАПКХМ, который обеспечивает сокращение затрат топлива на 10…15 % за счет глубокого (до 7…10 °С) охлаждения воздуха на входе ГД по сравнении

УДК 504.05

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ЕЛЕКТРОННОЮ СКЛАДОВОЮ МУНІЦИПАЛЬНИХ ВІДХОДІВ

Бучка А. В., Шаніна Т. П., канд. техн. наук, доцент
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

В умовах сучасного інтенсивного виробництва електричного і електронного обладнання та швидкого морально старіння, утворюється велика кількість електронних відходів. В результаті виникає необхідність в створенні системи поводження з даним типом відходів, на всіх етапах (від виробництва до утилізації.

Ключові слова: *електричне і електронне обладнання, електронні відходи, системи поводження з електронними відходами.*

Under the conditions of the modern intensive production of electrical and electronic equipment and rapid obsolescence there is a large quantity of electronic waste. As a result, there is a need to establish a system of handling this type of waste at all stages (from production to utilization).

Keywords: *electrical and electronic equipment, electronic waste, system of handling of the electronic waste.*

На державному рівні необхідно сформувати Єдиний державний реєстр електричного і електронного обладнання (ЄДРЕЕО), який повинен регулюватися відповідним положенням чи Законом України «Про Державну реєстрацію електричного та електронного обладнання». Єдиний державний реєстр електричного і електронного обладнання – автоматизована система збирання, накопичення та надання інформації переробникам обладнання про сплачення утилізаційного збору обладнання.

У зв'язку з вищевикладеним при ЄДРЕЕО необхідно сформувати фонд рециклінгу та утилізації обладнання (ФРУО), який забезпечить рециклінг та утилізацію.

Для організації переробки електронних відходів потрібні додаткові джерела фінансування, які б покривали ці витрати. Даним джерелом можуть бути платежі за утилізацію електронних відходів, головним чином авансові, які стягуються при покупці техніки, а не ті, що стягуються при здачі відпрацьованої техніки в центр прийому.

В Україні стягується плата за переробку електронних відходів при здачі техніки в центр прийому. Цей вид платежу відображає вартість утилізації обладнання, але не виправдовує себе, тому що в дійсності виступає в ролі гальма, тому така операція відлякує споживача і призводить до неконтрольованого позбавленню від відходів.

Авансові платежів відкритого типу відображаються в товарному чеку та інформують покупця про сплату переробки техніки, і тим самим роблячи процес переробки більш прозорим, перешкоджаючи збирачам відпрацьованої техніки повторно стягувати оплату.

Останній етап розробки системи поводження з електронними відходами є створення мережі інформування громадськості про поняття «електронні відходи», їх небезпеки, про необхідність централізованого збору та утилізації, а також про місця розміщення пунктів збору.

Пункти/точки збору повинні бути обладнаними спеціальними контейнерами відповідно класифікації електронних відходів [1].

На основі таких принципів та пропозицій, нами було розроблено систему поводження з електронною складовою муніципальних відходів (рис. 1)

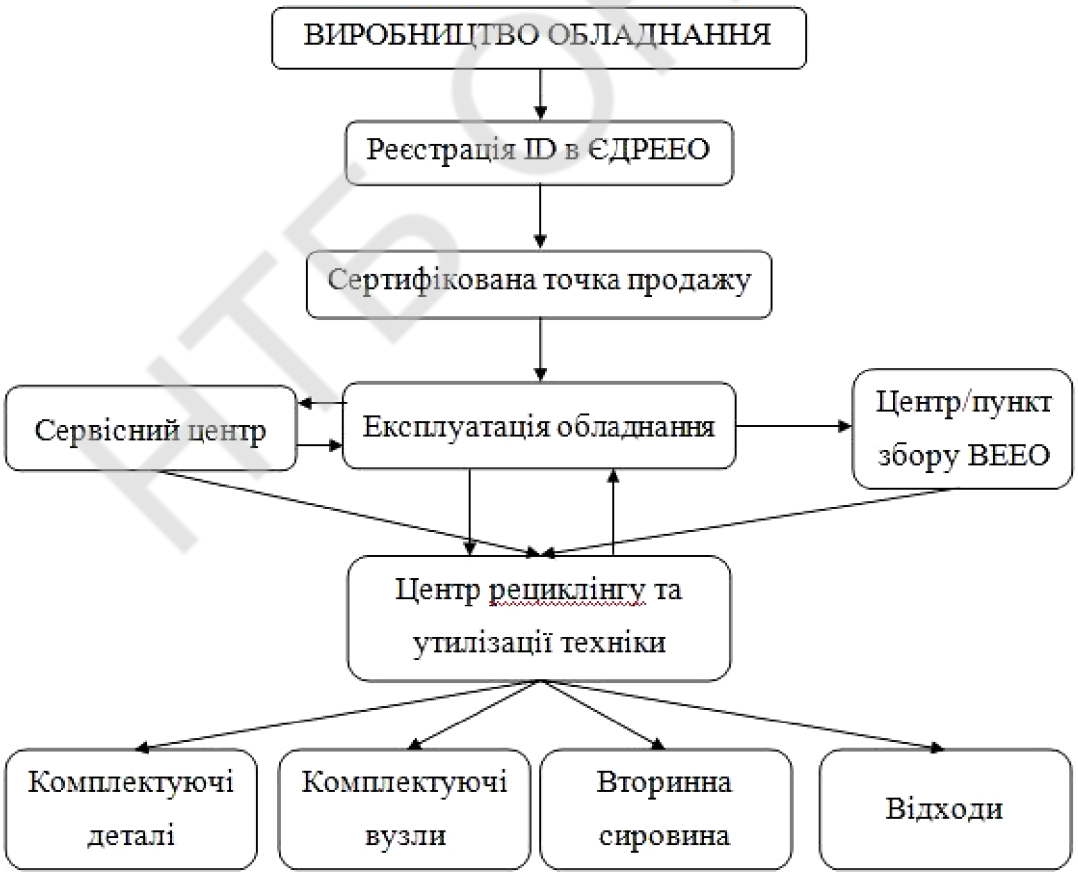


Рис. 1 – Система поводження з електронною складовою муніципальних відходів

Під час виробництва ЕЕО виробник забов'язаний нанести перелік ідентифікаційних кодів (ID) всіх ключових електронних елементів обладнання (на зразок IMEI мобільних телефонів) на ці елементи та перелічити їх в паспорті обладнання. Техніка повинна бути промаркерована виробником спеціальним знаком (розроблено та запропоновано нами) (рис.2), який свідчить про реєстрацію в ЄДРЕЕО. Знак ЄДРЕЕО засвідчує реєстрацію обладанання в ЄДРЕЕО, тим самим повідомляє покупця/користувача (первинного чи вторинного), про сплату утилізаційного збору данного обладання.

Повний перелік ID обладнання місцевого виробництва та після перетину кордону України імпортованого обладнання повинен бути занесений до ЄДРЕЕО перед чи під час надходження обладнання до сертифікованих точок продажу, з позначкою «неактивний».

Після продажу обладнання в сертифікованих точках продажу, покупець отримує товарний чек, в якому відображається сплачений утилізаційний збір, а також отримує документальне підтвердження про реєстрацію обладнання в ЄДРЕЕО. В системі ЄДРЕЕО позначка ID обладнання змінюється на «активний». А сплачений утилізаційний збір покупцем надходить до ФРУО.

Експлуатація обладнання може супроводжуватися поломкою чи моральним зношенням як окремого елементу, так і всього обладнання. У випадку поломки чи морального зношення деталей, обладнання здається до сервісного центру. ID демонтованої деталі відкріплюється від списку ID обладнання, змінюючи позначку з «активний» на «дезактивний», а деталі здаються до точок збору ВЕЕО.

Рис..2 - Знак Єдиного державного реєстру електричного і електронного обладнання

Користувач після експлуатації обладнання може позбутися його двома шляхами:

1) в разі знаходження обладнання в функціонуючому стані, воно може

бути здане до центру рециклінгу та утилізації обладнання (ЦРУО) в рамках програми повторного використання обладнання;

2) в разі знаходження обладнання в несправному стані чи, якщо користувач не зміг доставити функціонуюче обладнання до ЦРУО по тим чи іншим причинам, воно може бути здане до центру/пункту збору обладнання.

З центру/пункту збору обладнання, ВЕЕО надходить до центру ЦРУО, де обладнання піддається повному демонтажу. ID позначки демонтованих деталей обладнання змінюються в ЄДРЕЕО з «активний» на «дезактивний».

Відпрацьоване обладнання, що не зареєстроване в ЄДРЕЕО переробляється за рахунок ФРУО.

Деталі обладнання сортуються відповідно класифікації (різновиду) матеріалу та за необхідністю по двом пунктам - повторне використання і переробка. Продуктом є комплектуючі деталі, комплектуючі вузли, вторинна сировина та відходи.

Комплектуючі деталі та вузли піддаються знезараженню та використовуються для створення нового чи ремонту старого обладнання. Вторинна сировина використовується в промисловості, а відходи утилізуються чи видаляються.

На основі цієї системи, можлива здача ВЕЕО в будь-якій частині країни. Така система зменшить негативний вплив на НС і здоров'я людини, відповідає основам раціонального природокористування,

покращить враження про Україну на світовій арені та забезпечить державу додатковими робочим місцями та надходженням коштів до бюджету.

Література

1. Бучка А. В. Класифікація електронних відходів як складова розробки ефективної системи поводження з ними / А. В. Бучка, Т. П. Шаніна. // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. Государственная гидрометеорологическая служба Украины. – 2014. – С. 63–73.

УДК 631.563:664.8.037.1

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ВАКУУМНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПЛОДІВ ЧЕРЕШНІ

Ломейко О.П., канд. техн.. наук, доцент
Єфіменко Л.В., аспірант
Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь

Анотація - у статті надано аналіз науково-експериментального дослідження процесу вакуумного охолодження плодів черешні. Проведено порівняння різних режимів вакуумного охолодження. Зроблено висновок, що метод вакуумного охолодження є ефективним та підходить для охолодження плодів черешні.

Ключові слова: *охорона навколишнього середовища, зберігання, охолодження, вакуумне охолодження, якість продукції, термін зберігання, швидкість охолодження, втрата ваги, овочі, вакуумний охолоджувач.*

Annotation - the article provides analysis of scientific and experimental studies of vacuum cooling process of cherries. A comparison of different vacuum cooling modes was performed. The conclusion is made that method of vacuum cooling is effective and suitable for cherries cooling.

Keywords: *environmental protection, storage, cooling, vacuum cooling, product quality, shelf life, cooling rate, weight loss, vegetables, vacuum cooler.*

Постановка проблеми. Поліпшення стану навколишнього природного середовища та забезпечення раціонального використання природних ресурсів є актуальною проблемою сьогодення. Розробка та впровадження ефективних та екологічно безпечних технологій переробки та зберігання сільськогосподарської продукції є одним із рішень цих питань. Зниження температури рослинної продукції одразу ж після збирання врожаю сприяє значному розширенню терміну придатності та максимальному збереженню якості сировини, що в свою чергу в рази збільшую споживчий попит населення [7] Черешня – одна з найбільш розповсюджених плодових культур на півдні України. Плоди черешні є цінним дієтичним продуктом харчування та джерелом біологічно активних речовин [6] Але незначні терміни зберігання плодів черешні в свіжому вигляді призводять до значних втрат врожаю і суттєвого зниження харчової цінності продукту. Тобто, існує необхідність знаходження ефективної технології з метою розширення термінів зберігання плодів черешні та інших видів швидкопсувної рослинної продукції, що, в свою чергу, може значно поліпшити стан розвитку сільського господарства України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій у світі свідчить, що технологія вакуумного охолодження сільськогосподарської продукції є надзвичайно швидким методом випарного охолодження, висока ефективність якого досягається за рахунок скорочення часу технологічного процесу [1]. Теплота з продукту видаляється завдяки випаровуванню певної кількості води безпосередньо з середини продукту під зниженим тиском. Швидкість та ефективність є головними особливостями вакуумного охолодження, які важко досягнути традиційними методами охолодження. Комбіноване використання метода вакуумного охолодження та холодильного зберігання дозволяє значно розширити термін зберігання швидкопсувної рослинної продукції. [4]

Метою цієї статті є обґрунтування можливості застосування технології вакуумного охолодження для плодів черешні на основі аналізу різних режимів вакуумного охолодження в результаті проведеного науково-дослідного експерименту, метою якого, в свою чергу, було дослідження впливу тиску на час та рівномірність охолодження плодів черешні.

Холодильна промисловість часто використовує охолодження за рахунок випаровування рідини. Зниження температури продукту при вакуумному охолодженні здійснюється через випаровування рідини з

продукту, яка переходить в стан пари [4]. Зазвичай вода закипає при 100°С та атмосферному тиску 1 атм (101325 Па). Зниження тиску у вакуумній камері в свою чергу знижує значення температури кипіння води, що призводить до ефекту охолодження [3]. Типовий цикл вакуумного охолодження полягає в наступному. Рослинна або інша продукція спочатку завантажується у вакуумну камеру, двері якої потім зачиняються. Вмикається вакуумний насос та тиск знижується до значення насиченого тиску. Початкова фаза відкачування повітря звичайно триває близько 5-10 хв. В залежності від розміру вакуумної камери та міцності вакуумного насосу. Загальний час охолодження залежить від форми продукту, пористості, розміру пір в зразках, наявності вільної вологи в порах та тиску. [2] Коли тиск у вакуумній камері досягає значення початкового робочого тиску, цей стан визначається як точка спалаху процесу вакуумного охолодження. Звичайно тиск у вакуумній камері необхідно зменшити до точки спалаху якомога швидше, тому що до цього моменту вакуумний насос тільки відкачує повітря і ніякого охолодження не досягається. В момент, коли відбувається точка спалаху, вода починає випаровуватися. Генерована пара в подальшому процесі видаляється або за допомогою вакуумного насосу, а бо за допомогою конденсації, якщо конденсатор встановлено у вакуумній камері. Внутрішній тиск продовжує знижуватися та процес випаровування продовжується. Охолодження триває до тих пір, доки температура продукції не досягне встановленої температури зберігання. Потім процес припиняється, вентиляційний клапан відчиняється, повітря знову заповнює камеру. Нарешті продукція видаляється з камери та завантажується до зберігання при необхідній температурі.

Проведення експерименту. Дослідження проводились у 2016 році на кафедрі технології переробки та зберігання продукції сільського господарства Таврійського Державного Агротехнологічного Університету у місті Мелітополі. В результаті теоретичних досліджень за комплексом господарсько-біологічних показників були відібрані наступні районовані сорти черешні пізнього строку достигання: Мелітопольська Крупноплідна, Мелітопольська Чорна, Удівітєльна, що внесені в реєстр сортів України.[8] Товарну обробку проводили виділяючи цілі, міцні, чисті не уражені плоди 1 товарного сорту, згідно з вимогами ГСТУ 01.1-37-162:2004, та видаляючи нестандартні екземпляри.[5] Свіжозібрані плоди черешні доставлялися до експериментальної лабораторії кожного ранку. Температура плодів черешні протягом цього часу складала 25°С. Зважування плодів перед та після процесу охолодження проводилося за допомогою електронних ваг з точністю ±0,01 г. Охолодження плодів черешні проводилося у розробленій установці для вакуумного охолодження рослинної сировини. В даному науково-дослідному експерименті з метою порівняння втрати маси та часу охолодження плодів черешні було застосоване три різних значення вакуумного тиску: 29 кПа, 44 КПа, 59 кПа. Температуру плодів черешні повинно бути знижено з 25°С (температура навколишнього середовища) до 2°С(температура зберігання). Маса плодів черешні, які завантажувалися до вакуумної камери, складала 0,6 кг (по 0,2 кг кожного сорту). Холодильне зберігання було проведене у холодильній камері при температурі 2°С. Як можна побачити з наведених графіків, час охолодження плодів черешні до необхідної температури зберігання становить 40, 45 та 50 хв відповідно до значення тиску 29, 44 та 59 кПа. Тобто, при значенні вакуумного тиску 29 кПа, швидкість охолодження найменша. Крім того розподіл температури протягом вакуумного охолодження є однорідним, тобто температура на поверхні та всередині плодів черешні знижується рівномірно. З метою порівняння процесу вакуумного охолодження зі звичайним холодильним охолодженням плоди черешні було закладено до холодильної камери з температурою 2°С. Результати показали, що температура поверхні знижається значно швидше, ніж температура всередині продукту. Загальний час охолодження поверхні складає 80 хв, середині продукту - 198 хв. Тобто, час охолодження плодів черешні при холодильному охолодженні значно більший, ніж при вакуумному охолодженні. Крім того, температура поверхні і центру плодів знижується нерівномірно. Під час процесу вакуумного охолодження відбувається втрата маси, тому що ефект охолодження безпосередньо залежить від кількості вологи, яка випаровується зсередини продукту. [4] З метою зменшення втрати маси плодів черешні через випаровування води зсередини продукту протягом процесу вакуумного охолодження до вакуумної камери було внесено пластикові лотки з водою. Для порівняння значення втрати маси було проведено вакуумне охолодження плодів черешні як із внесенням вологи, так и без нього. Результати дослідження показано у таблиці 1. Як можна побачити з таблиці, відсотковий процент втрати маси плодів черешні при вакуумному охолодженні без внесення вологи досить високий . Він складає 1,84%, 1,91% та 1,94% для тисків 29 кПа, 44кПа та 59 кПа відповідно. Але ми також бачимо, що внесення води дозволило значно зменшити втрату маси до 0,88%, 0,93% та 0,96% відповідно для тисків 29 кПа, 44кПа та 59 кПа. Тобто, внесення води у лотках дозволяє зменшити втрату маси плодів черешні в процесі вакуумного охолодження на 47,83%, 51,83% та 49,48% для тисків 29 кПа, 44 кПа та 59 кПа відповідно.

Таблиця 1 - Втрата маси плодів черешні протягом процесу вакуумного охолодження при трьох різних тисках

Вакуумний тиск, кПа	29	44	59
Початкова маса, г	200	200	200
Кінцева маса, г (без внесення води)	196,32	196,18	196,12
Втрата маси, % (без внесення води)	1,84	1,91	1,94
Кінцева маса, г (з внесенням води)	198,24	198,14	198,08
Втрата маси, % (з внесенням води)	0,88	0,93	0,96
Час охолодження, с	2400	2700	3000
Кінцева температура охолодження, °С	2	2	2

Рис.1 – Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні методом вакуумного охолодження при тиску 29 кПа

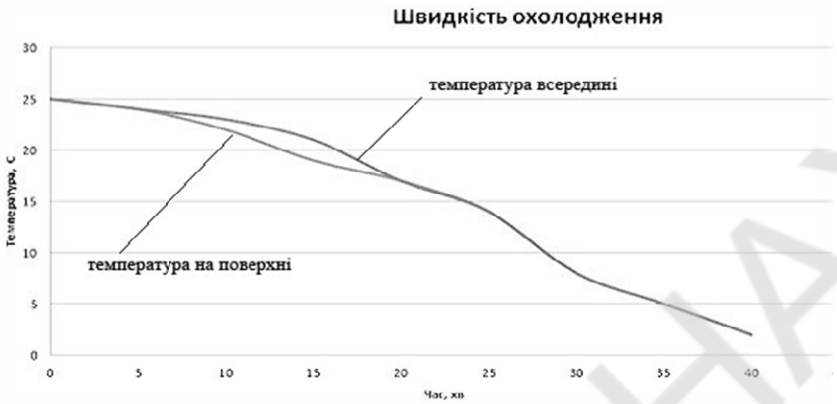


Рис. 2 – Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні методом вакуумного охолодження при тиску 44 кПа

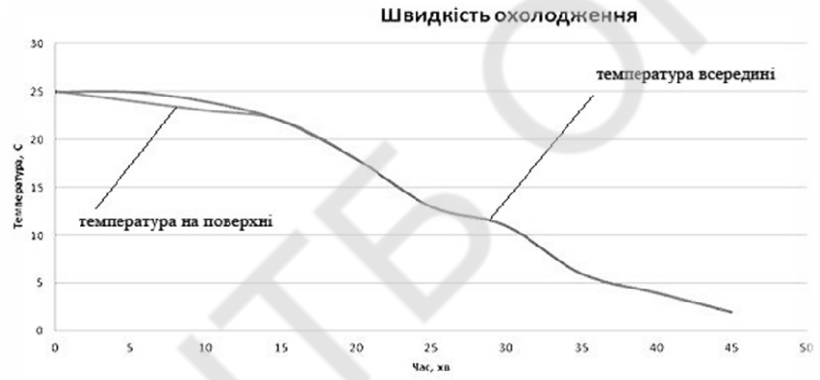


Рис. 3 – Швидкість охолодження на поверхні і всередині плодів черешні методом вакуумного охолодження при тиску 59 кПа

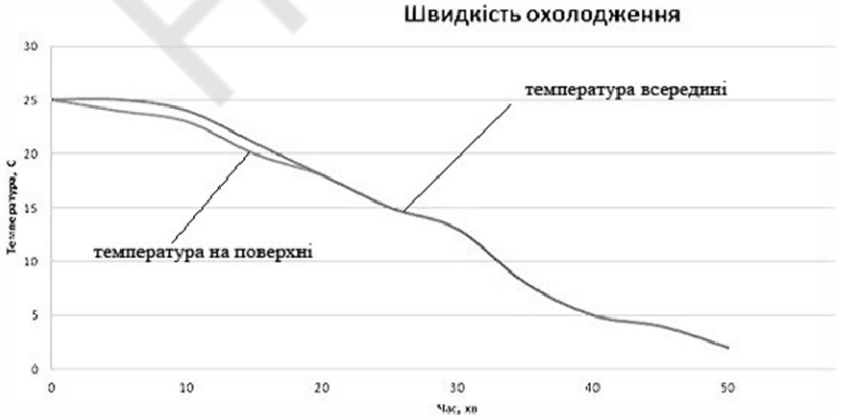


Рис. 4 - Швидкість охолодження на поверхні і в середині плодів черешні при холодильному охолодженні

НТБОНАХТ

Висновки

В даному досліджені для охолодження плодів черешні були застосовані два методи: вакуумне охолодження та звичайне холодильне охолодження. Результати показали, що вакуумне охолодження є швидким та ефективним методом у порівнянні зі звичайним холодильним охолодженням. Протягом наукового експерименту були протестовані три різних режими вакуумного охолодження для плодів черешні при значеннях вакуумного тиску 29 кПа, 44 кПа, 59 кПа. Результати показали, що значення температури протягом її зниження як на поверхні, так і в середині плодів черешні дуже схожі, тобто охолодження продукту проходить рівномірно. Режим вакуумного охолодження при тиску 29 кПа дозволяє охолодити плоди черешні з 25°С до 2°С за 40 хв, що швидше, ніж при тиску 44 кПа (45хв) та 59 кПа (50 хв). Втрати маси при вакуумному охолодженні плодів черешні уникнути неможливо через сутність процесу вакуумного охолодження, але її можна значно знизити внесенням води у вакуумну камеру. Відсоткова втрата маси плодів черешні при внесенні води в лотках до вакуумної камери складає 0,88%, 0,93% та 0,96% відповідно для тисків 29 кПа, 44 кПа та 59 кПа відповідно. Тобто, режим вакуумного охолодження при значенні тиску 29 кПа є найоптимальнішим для охолодження плодів черешні. Значення процентного виходу продукту, втрати маси та часу охолодження було значно поліпшено за рахунок регулювання вакуумного тиску. Це дослідження підтвердило, що вакуумне охолодження є ефективним методом та підходить для охолодження плодів такої культури, як черешня.

Література

1. Brosnan, T., & Sun, D.W. Precooling techniques and applications for horticultural products. A review - International Journal of Refrigeration. - 2001. – P. 154-170.
2. Cheng Q., Sun, D.W. Factors affecting the water holding capacity of red meat products. A review of recent research advances. Critical reviews in food science and nutrition, 2008. – P. 137 – 159.
3. Jin T. Experimental investigation of the temperature variation in the vacuum chamber during vacuum cooling. - Journal of food engineering, 2007. - P. 333-339.
4. McDonald K., & Sun D.W. Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review. Journal of food engineering, 2000. – P. 55 -65.
5. Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов (Медико-біологічні вимоги і санітарні норми якості продовольчої сировини та харчових продуктів), затверджені Міністерством охорони здоров'я здоров'я 01.08.89, № 5061 і доповнення від 19.08.91, № 12212/805.
6. Справочник. Химический состав пищевых продуктов. Книга 1, 2-е изд.— М.: ВО «Агропромиздат» 1987. — 224 с.
7. Sun D.W.,& Brosnan T. Extension of the vase life of cut daffodil flowers by rapid vacuum cooling. - International Journal of Refrigeration. – 1999. – P. 472 - 478.
8. Туровцев М.І., Туровцева В.О. Районовані сорти плодових і ягідних культур селекції інституту зрошуваного садівництва. Довідник – Київ: Аграрна наука, 2002. – 218с.

УДК 620.92

ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Волчок В.О., канд. техн. наук, старший викладач
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Представлені перспективи вироблення енергії за рахунок поновлюваних джерел енергії. Проведено порівняння цін на сонячні колектори та вітрогенератори та сроки їх окупаємості.

Ключові слова: *поновлювальні джерела енергії, сонячні колектори, вітрогенератори.*

Presents the prospects of energy generation from renewable energy sources. A comparison of the prices on solar collectors and wind turbines and the timing of their cost recovery.

Key words: *renewable energy, solar collectors, wind turbines.*

Україна залежить від імпортних енергопостачань. Ми спрямовуємо свої інвестиції в економіку інших країн, де купуємо енергоносії. У той час як практично кожна країна Євросоюзу сьогодні інвестує у свою місцеву економіку, розвиває новий бізнес - альтернативну енергетику.

Проблеми забруднення навколишнього середовища і обмеженість запасів традиційних джерел енергії змушують шукати альтернативні варіанти. Таким чином, на арену виходить альтернативна

енергетика. Спочатку слід зазначити, що в законодавстві України фрази «альтернативні види енергії» і «нетрадиційні види енергії» вживаються як синоніми.

Якщо в цілому розглянути сектор поновлюваних джерел енергії, до них відносяться: вітроенергетика, сонячна енергетика, гідроенергетика, біоенергетика, геотермальна енергетика та енергія навколишнього середовища. У таблиці 1 представлені перспективи вироблення енергії за рахунок поновлюваних джерел енергії (%), відповідно до енергетичної стратегії України до 2030 року [1].

Таблиця 1

Напрямки	Роки			
	2005	2010	2020	2030
Поновлювальні джерела енергії, всього, у т.ч.	1,661	3,842	12,054	35,53
Біоенергетика	1,3	2,7	6,3	9,2
Сонячна енергетика	0,003	0,032	0,284	1,1
Мала гідроенергетика	0,12	0,52	0,85	1,13
Геотермальна енергетика	0,02	0,08	0,19	0,7
Вітроенергетика	0,018	0,21	0,53	0,7
Енергія навколишнього середовища	0,2	0,3	3,9	22,7

Останнім часом використання альтернативної енергії стає все більш актуальним. Так, наприклад, у травні поточного року Німеччина поставила світовий рекорд з виробництва сонячної енергії - німецькі сонячні енергетичні установки виробили 22 ГВт·г електроенергії. Це дорівнює кількості енергії, яку виробляють за цей же проміжок часу 20 працюючих на повну потужність атомних електростанцій, що забезпечила майже 50% потреби країни в електриці. Крім цього, поступово Німеччина планує повністю перейти на відновлювані джерела енергії.

За інформацією Міжнародного енергетичного агентства сьогодні у світі 18% енергії виробляється за рахунок поновлюваних джерел енергії. Якщо говорити в цілому про відновлювальну енергетику, сьогодні її розвиток підтримується на законодавчому рівні в 80 країнах світу.

В Україні діє лише кілька електростанцій, що працюють на основі відновлюваних джерел енергії (не враховуючи ГЕС), які виробляють менше 0,2% від споживаної країною електроенергії. Україна на сьогоднішній день має близько 2,5% поновлюваних джерел енергії, причому, за рахунок великої гідроенергетики.

В той же час все більше громадян проявляють інтерес до альтернативних джерел електроенергії, а деякі - вже встановлюють сонячні колектори на свої будинки і ставлять вітрогенератори. Розберемося, наскільки це вигідно, крім того, що екологічно.

У таблиці 2 представлені ціни на сонячні колектори зазначеної потужності різних виробників. При цьому з витрат при самостійному підключенні варто врахувати вартість акумулятора, а також додаткових матеріалів.

Більшість абонентів в Україні споживає в місяць в середньому 75 кВт·г, але в той же час для дому даний показник буде вищим, і становить близько 250 кВт·г на місяць, що становить 3000 кВт·г на рік [2, 3].

Таблиця 2

№	Назва колектора / Країна-виробник	Ціна, грн.	Продуктивність, кВт·г в рік	Потрібно колекторів	Підсумкова ціна, грн.	Гарантія, років
1	СВКТТрЕконом / Україна	11375	1 278	3	34134	1
2	KSR 10 / Польща	25810	1 450	2	51620	2
3	VITISOL 100-F / Німеччина	27260	1 150	3	81780	2
4	CPC 14 STAR AZZURRO / Німеччина	64370	1 402	2	128740	10
5	LOGASOL SKS 4 / Німеччина	51000	1 000 - 1 350	3	153000	10

Придбання найбільш прийнятного колектора з розглянутих (СВКТТрЕконом) окупиться протягом 11 років, що перевищує термін гарантії від виробника (від 1 року до 10 років).

Ще більш дорогими при покупці виявилися вітрогенератори [4, 5], представлені в таблиці 3. Вартість найкращих з них необхідної потужності склала від 13300 грн. до 97800 грн. (розрахункова швидкість вітру - 4,5 м/с на висоті 10 м), при цьому потрібно додати додатково мінімум 10000 грн. для придбання акумулятора, щогли та інших елементів системи. Підсумкова вартість самостійної установки

обладнання, таким чином, складе від 115000 грн. до 207500 грн., а альтернативне джерело енергії окупиться лише через 36 років!

Таблиця 3

№	Назва вітрогенератора	Ціна, грн.	Продуктивність, кВт·г в рік	Потрібна кількість од.	Підсумкова ціна, грн.
1	EuroWind 500	34875	1200	3	104625
2	Бджола	13300	360	8	106400
3	СВ-3.1	65125	2 160	2	130250
4	FLAMINGO AERO-3.1	97800	1 800	2	195600
5	EuroWind 300M	21250	240	12	255000

Висновки

На жаль, як би привабливо не виглядала альтернативна енергія, в Україні вона поки залишається долею дуже забезпечених або ідейних людей. Її цінова ефективність істотно нижче стандартних схем, адже термін окупності таких іновацій, в кращому випадку становить від 7 до 36 років, тому впровадження альтернативних джерел електроенергії зараз може бути ефективним лише при будівництві нового будинку і віддаленості комунікацій, коли проведення електрики, приміром, може коштувати 10 - 20 тис. грн. і вище. У той же час вартість комунальних послуг завжди зростає (наприклад, за прогнозами Світового банку, вартість опалення в Україні за 10 років зросте у 2,3 рази), тоді як альтернативних джерел енергії, навпаки, падає внаслідок впровадження нових технологій, тому цілком ймовірно, що через 3-5 років використання відновлювальної енергії буде не тільки екологічною, але й ефективним з економічної точки зору.

Література

1. Закон України «Про електроенергетику» № 575/97-ВР від 16.10.1997 г. та зміни № 10183-ВР від 19.11.2012.
2. Stan Gibilisco. Alternative Energy: A Self-Teaching Guide. – М. – Эксмо-Пресс, 2010. – 368 с.
3. Електронний ресурс http://www.diagram.com.ua/list/alter-energy/alter-energy219.shtml
4. Каргиев В.М. и др. Ветроэнергетика. – Интерсоларцентр. – 2001. – 62 с.
5. Електронний ресурс http://www.diagram.com.ua/list/alter-energy/alter-energy228.shtml

УДК 621.436.13:621.57

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПО ТОПЛИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА НОМИНАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА

Радченко А.Н., канд. техн. наук, Коновалов А.В., мл. научн. сотр.
Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина

Эффект от охлаждения циклового воздуха ГПД, а значит и эффективность различных способов охлаждения оценивают по сокращению удельного расхода топлива b_e как основного показателя топливной эффективности ГПД. Фирмы-производители ГПД, как правило, не дают в доступных информационных источниках данных об изменении b_e в зависимости от климатических условий эксплуатации. Обработка данных по b_e, полученных в процессе мониторинга действующей энергоустановки с ГПД, вызывает значительные трудности из-за одновременного влияния на b_e температур наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирни системы оборотного охлаждения наддувочной ГПС и воздуха на входе наддувочного турбокомпрессора (ТК) ГПД $t_{вх}$. Поэтому была разработана методика обработка данных по b_e с учетом раздельного влияния температур наружного воздуха на входе в градирни $t_{нв}$ и на входе ТК $t_{вх}$.

Результаты мониторинга топливной эффективности ГПД представлялись в виде массивов данных $b_{ev} = f(t_{нв})$ по зависимости удельного объемного расхода топлива (природного газа) b_{ev} от температуры наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС при

разных температурах воздуха на входе ТК $t_{вх}$. Целью обработки массивов данных $b_{ev} = f(t_{нв})$ является нахождение величины изменения удельного объемного расхода топлива db_{ev}, приходящейся на изменение температуры наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС на 1 °С, т.е. производной $db_{ev}/dt_{нв}$.

При этом отдельные массивы данных мониторинга $b_{ev} = f(t_{нв})$ формировались при разных, но практически неизменных температурах воздуха $t_{вх}$ (диапазон отклонения температуры $t_{вх}$ менее 1 °С) на входе ТК, что позволяло исследовать влияние температуры наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС независимо от температуры воздуха $t_{вх}$ на входе ТК.

Массивы данных по расходу топлива $B_e = f(t_{нв})$, $B_e = f(t_{вх})$ и электрической мощности $N_э = f(t_{нв})$, $N_э = f(t_{вх})$, удельному расходу топлива $b_{ev} = f(t_{нв})$, $b_{ev} = f(t_{вх})$ представляют в виде точечных диаграмм. Алгоритм поэтапная реализация методологии получения зависимостей $B_e = f(t_{нв})$, $B_e = f(t_{вх})$, $N_э = f(t_{нв})$, $N_э = f(t_{вх})$, $b_{ev} = f(t_{нв})$, $b_{ev} = f(t_{вх})$ и основные ее положения приведены ниже.

Принимают $B_e = f(t_{нв})$, $B_e = f(t_{вх})$, $N_э = f(t_{нв})$, $N_э = f(t_{вх})$, $b_{ev} = f(t_{нв})$, $b_{ev} = f(t_{вх})$ и рассматривают зависимость $y = f(x)$:

а) для $B_e = f(t_{нв})$: $x = t_{нв}$, °С; $y = B_e$, м^3/ч, $t_0 = t_{вх}$,
б) для $B_e = f(t_{вх})$: $x = t_{вх}$, °С; $y = B_e$, м^3/ч, $t_0 = t_{нв}$,
в) для $N_э = f(t_{нв})$: $x = t_{нв}$, °С; $y = P$, кВт, $t_0 = t_{вх}$,
г) для $N_э = f(t_{вх})$: $x = t_{вх}$, °С; $y = P$, кВт, $t_0 = t_{нв}$,
д) для $b_{ev} = f(t_{нв})$: $x = t_{нв}$, °С; $y = b_{ev}$, 10^{-3} м^3/(кВт ч), $t_0 = t_{вх}$,
е) для $b_{ev} = f(t_{вх})$: $x = t_{вх}$, °С; y b_{ev}, 10^{-3} м^3/(кВт ч), $t_0 = t_{нв}$.

1) Граничные условия для всего множества M точек $y=f(x)$:
$M=\{x, y \mid y \in [y_{min}; y_{max}], x \in [x_{min}; x_{max}]\}$
2) Разбивают M на подмножества:
$M_1 = \{x, y \mid 20 \le t_0 \le 21\}$, $M_2 = \{x, y \mid 21 \le t_0 \le 22\}$, $M_n = \{x, y \mid 29 \le t_0 \le 36\}$, где $M_1, M_2, \ldots M_n \subset M$.
3) Находят наименьшее x_{min} и наибольшее x_{max} для каждого M_i,
где $i \in [1; n]$, $M_i \subset M_n$. Область $y=f(x)$ определения будет:
а) $f(x) = y_0$, при $x \le x_0$ (1)
б) $f(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$, при $x > x_0$ (2)
где точка $(x_0; y_0)$ – строгий локальный максимум для $f(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$
и $x_0 = -b/2 \cdot a$
4) Для каждого множества M_i находят $y=f(x)$.

Для каждого $x_i \in [x_{min}; x_{max}]$ разбивают множество M_i на два множества $M_{i1} = \{x, y \mid x \le x_i\}$ и $M_{i2} = \{x, y \mid x > x_i\}$. Методом наименьших квадратов находят $f(x) = y_0$ для M_{i1} и $f(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$ для M_{i2}, единственным решением для всех разбиений M_i будет из уравнений (1) и (2), при котором отклонение $|x_i - x_0|$ будет наименьшим (рис. 1 и 2):

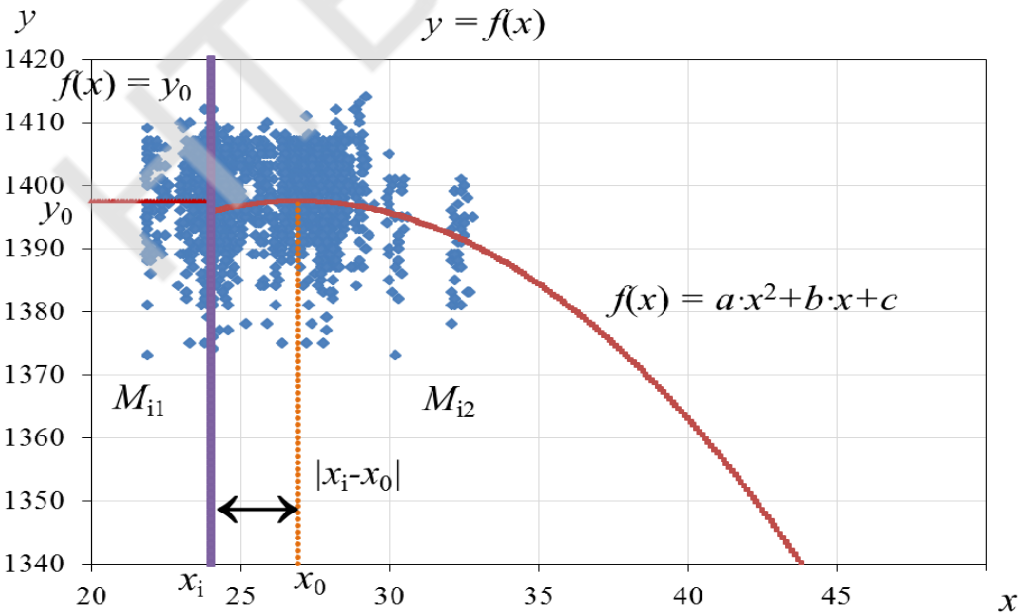


Рис. 1 – К разбиению множества M_i на подмножества M_{i1} и M_{i2} для $N_э = f(t_{нв})$

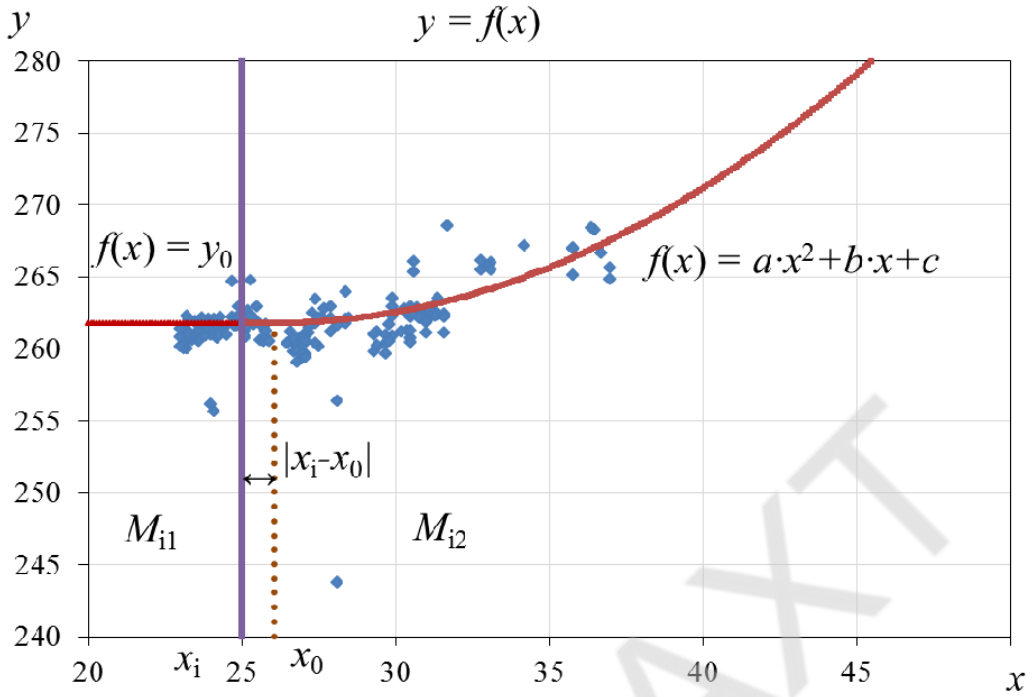


Рис. 2 – К разбиению множества M_i на подмножества M_{i1} и M_{i2} для $b_{ev} = f(t_{нв})$

5. Увеличение мощности $N_э$ на 1 градус снижения температуры наружного воздуха находят из решения $y=f'(x)$ уравнений (1) и (2) (рис. 3):

$$\varphi(x) = (1/y_0)\cdot f'(x)\cdot 100 = (1/y_0)\cdot(2\cdot a\cdot x+b)\cdot 100, \quad (3)$$

а) $\varphi(x) = 0$, при $x \le x_0$;

б) $\varphi(x) = (1/y_0)\cdot(2\cdot a\cdot x+b)\cdot 100$, при $x > x_0$.

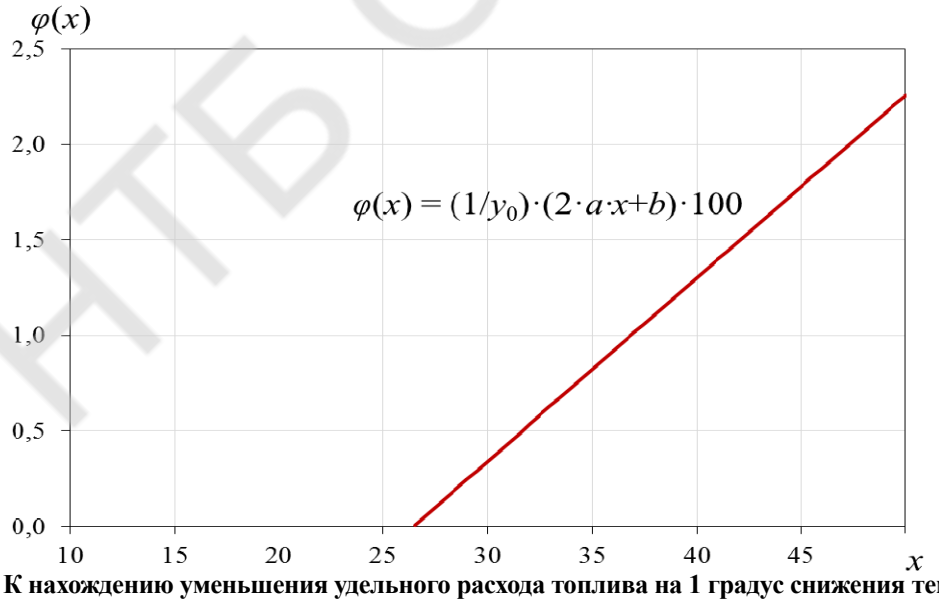


Рис. 3 – К нахождению уменьшения удельного расхода топлива на 1 градус снижения температуры наружного воздуха

6. Уменьшение удельного расхода топлива на 1 градус снижения температуры наружного воздуха находят из решения $y=f'(x)$ уравнений (1) и (2) (рис. 4):

$$\Delta b_{ev} / \Delta t_{нв} = f'(x) = 2\cdot a\cdot x+b \ , \quad (4)$$

а) $\Delta b_{ev} / \Delta t_{нв} = 0$, при $x \le x_0$;

б) $\Delta b_{ev} / \Delta t_{нв} = 2\cdot a\cdot x+b$, при $x > x_0$.

НТБ ОНАХТ

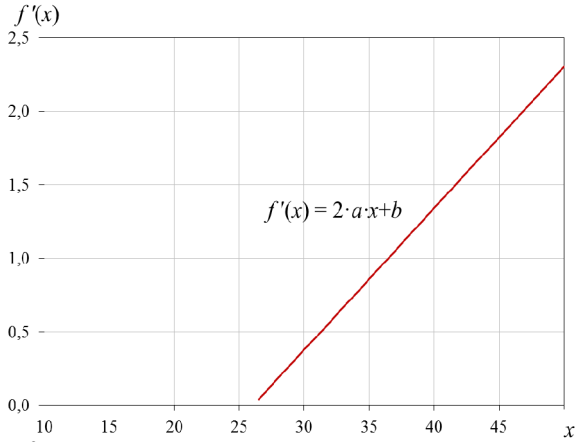


Рис. 4 – К нахождению уменьшения удельного расхода топлива на 1 градус снижения температуры наружного воздуха

В табл. 1 приведены результаты обработки данных с b_{ev} для массивов $b_{ev} = f(t_{нв})$ при постоянной температуре воздуха $t_{вх}$ на входе ТК (для каждого интервала значений $t_{вх}$ в 1 °С) в виде значения изменения удельного объемного расхода топлива db_{ev} при изменении температуры наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувной ГПС на 1 °С: $db_{ev}/dt_{н}$, а также выборка $(n/N)_{max}$, количество точек, удовлетворяющее решению уравнений (1) и (2) с относительной погрешностью не больше 5 % для каждого из интервала значений $t_{вх}$ в 1 °С, а в табл. 2 – значение изменения удельного объемного расхода топлива db_{ev} при изменении температуры воздуха $t_{вх}$ на входе ТК ГД на 1 °С: $db_{ev}/dt_{вх}$, для каждого интервала значений $t_{нв}$ в 1 °С.

Таблица 1 – Результаты обработки данных с b_{ev} для массивов $b_{ev} = f(t_{нв})$ при постоянной температуре воздуха $t_{вх}$ на входе ТК

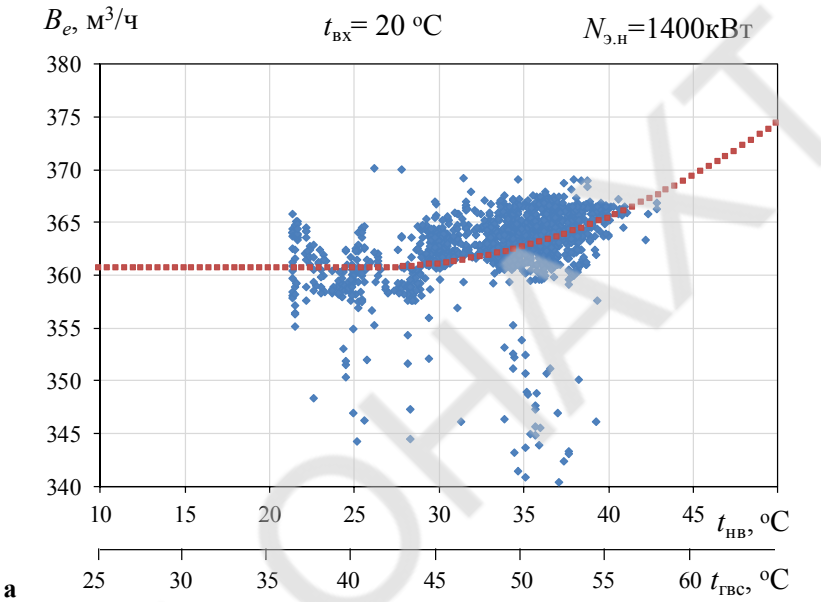
$t_{вх}$, °С	$db_{ev}/dt_{нв}$, 10^{-3}м^3/(кВт·ч·°С) при $t_{нв}$=35°С	$(n/N)_{max}$, %
20	0,43	96,9
22	0,82	97,9
24	0,87	95,3
26	1,2	99,5
28	1,34	97,7
30	2,62	98,8

Таблица 2 – Изменение удельного объемного расхода топлива db_{ev} при изменении температуры воздуха $t_{вх}$ на входе ТК

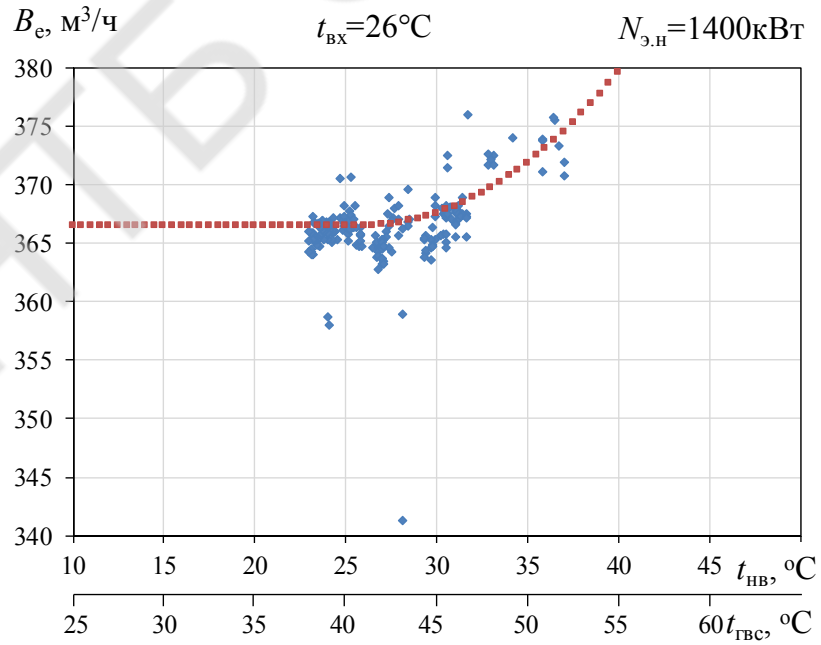
$t_{нв}$, °С	$db_{ev}/dt_{вх}$, 10^{-3}м^3/(кВт·ч·°С) при $t_{вх}$=35°С	$(n/N)_{max}$, %
20	0,53	99,2
22	0,54	100
24	0,7	98,3
26	0,93	97,4
28	1,06	99,3
30	1,08	98
32	1,28	98,2
34	3	95,1
36	4,4	88

Как видно из приведенных в табл. 1 и 2 результатов мониторинга, при изменении на 1 °С температуры наружного воздуха $t_{нв}$ на входе градирни системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС удельный объемный расход топлива меняется на величину $db_{ev}/dt_{нв}$ = (0,4…2,6)·10^{-3}м^3/(кВт·ч·°С), при температуре нвружного воздуха 35 °С, а при изменении температуры воздуха на входе ГПД $t_{вх}$ на 1 °С удельный объемный расход топлива меняется на величину $db_{ev}/dt_{вх}$ (0,5…1,0) 10^{-3}м^3/(кВт·год·°С), при температуре на входе 35 °С при всех возможных температурах наружного воздуха $t_{нв}$ на входе градирни сухого типа системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС.

На рис. 5 в виде точечных диаграмм представлены результаты обработки данных для массивов значений объемного расхода топлива ГПД в зависимости от температуры наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $B_e = f(t_{нв})$ и от температуры $t_{гвс}$ наддувочной ГВС $B_e = f(t_{гвс})$, а электрической мощности $N_э = f(t_{нв})$ и $N_э = f(t_{гвс})$ – на рис. 6. При этом связь между температурой $t_{гвс}$ наддувочной ГВС $t_{гвс}$ и температурой наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $t_{нв}$ определялась исходя из разности температур между температурой охлажденной в градирне воды t_{w1} и наружным воздухом $t_{нв}$ на входе в градирню сухого типа: $\Delta t_1 = t_{w1} - t_{нв} = 10$ °С, а также разности температур между наддувочной ГВС на выходе из низкотемпературной ступени $ОНВ_{НТ}$ $t_{ГВС}$ и охлажденной в градирне воды t_{w1} : $\Delta t_2 = t_{ГВС} - t_{w1} = 5$ °С, т.е. $t_{ГВС} = t_{нв} + \Delta t_1 + \Delta t_2 = t_{нв} + 15$ °С, а разности температур в градирне сухого типа Δt_1 и в низкотемпературной ступени $ОНВ_{НТ}$ Δt_2 получали из расчета по программам фирм-разработчиков, в частности, Guntner.



а



б

Рис. 5 – Зависимость объемного расхода топлива ГПД B_e от температуры наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $B_e = f(t_{нв})$ для температуры воздуха $t_{вх}$ на входе ТК:
а – $t_{вх} = 20$ °С; б – $t_{вх} = 26$ °С

НТБ ОНАХТ

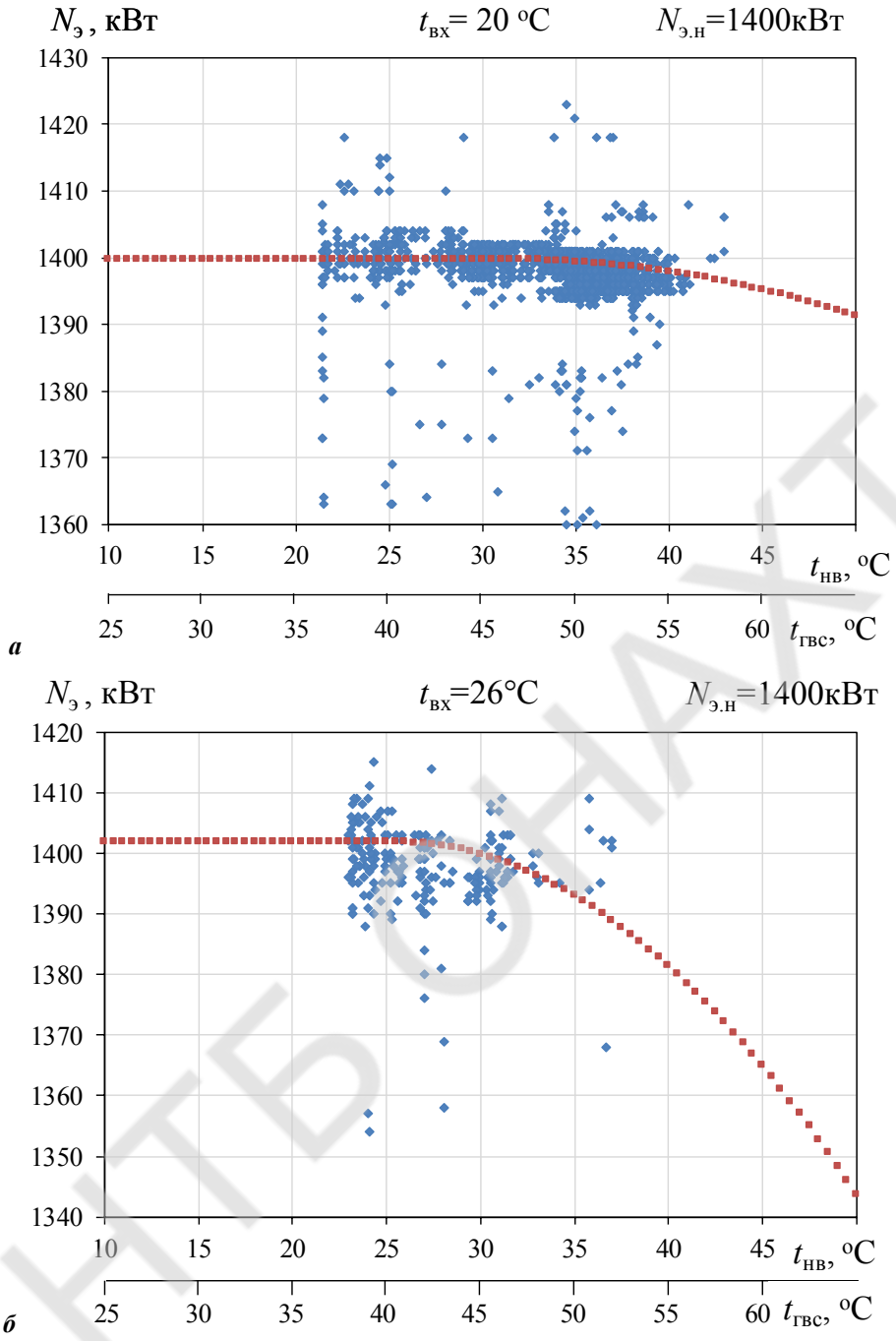


Рис. 6 – Зависимость электрической мощности ГПД $N_э$ от температуры наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения $N_э = f(t_{нв})$ и температуры $t_{гвс}$ наддувочной ГВС $N_э = f(t_{гвс})$ для температуры воздуха $t_{вх}$ на входе ТК: *а* – $t_{вх}$ = 20 °С; *б* – $t_{вх}$ = 26 °С

При этом зависимости объемного расхода топлива B_e от температуры наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $B_e = f(t_{нв})$ и от температуры $t_{гвс}$ наддувочной ГВС $B_e = f(t_{гвс})$ на рис. 5, а также электрической мощности $N_э = f(t_{нв})$ и $N_э = f(t_{гвс})$ на рис. 6 определялась пошагово для каждого интервала значений температуры воздуха $t_{вх}$ на входе ТК, равного 1 °С, что являлось основанием для допущения о постоянстве температуры воздуха $t_{вх}$ на входе ТК для каждого множества M_i.

Результаты обработки соответствующих данных для массивов значений удельного объемного расхода топлива ГПД b_{ev} в зависимости от температуры наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $b_{ev} = f(t_{нв})$ для температур воздуха $t_{вх}$ на входе ТК $t_{вх}$ = 20 и 26 °С представлены на рис. 7.

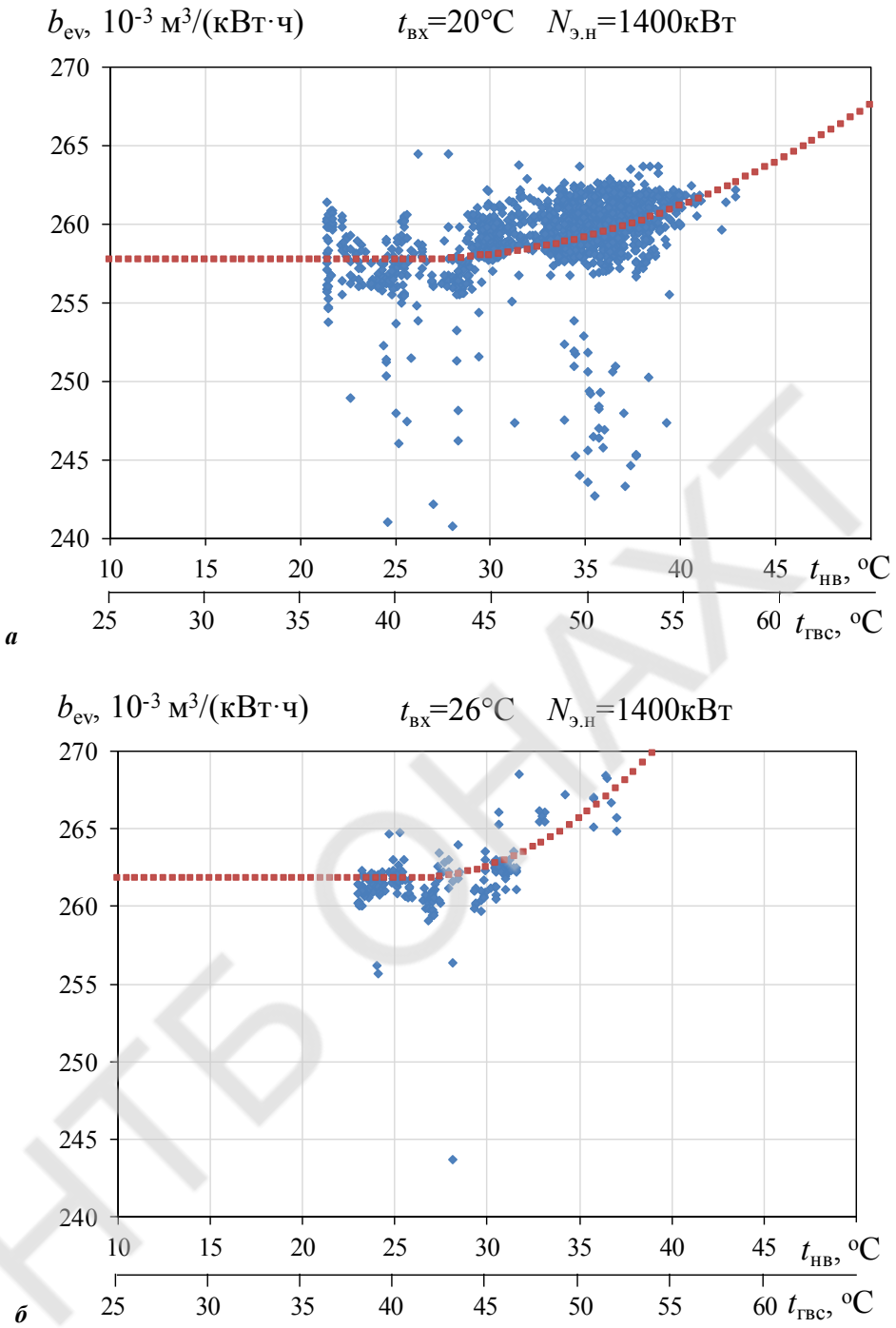


Рис. 7 – Зависимость удельного объемного расхода топлива b_{ev} ГД от температуры наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $b_{ev} = f(t_{нв})$ для температуры воздуха $t_{вх}$ на входе ТК: *а* – $t_{вх}$ = 20 °С; *б* – $t_{вх}$ = 26 °С

Результаты дальнейшей обработки данных по объемным расходам топлива в абсолютных B_e и относительных b_e величинах с получением величины их изменения ΔB_e и Δb_{ev} при изменении температуры наружного воздуха на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $t_{нв}$ на 1 °С в зависимости от температуры наружного воздуха $t_{нв}$, т.е. $\Delta B_e / \Delta t = f(t_{нв})$ и $\Delta b_e / \Delta t = f(t_{нв})$, при номинальной мощности ГПД $N_э$ = 1400 кВт представлены соответственно на рис. 8 и 9.

НТБ ОНАХТ

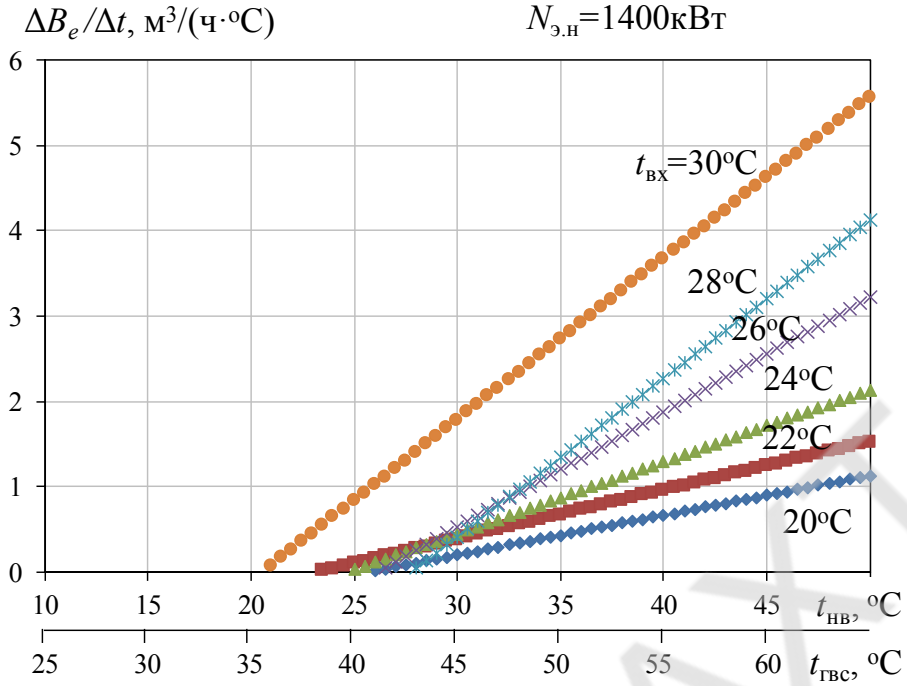


Рис. 8 – Зависимости изменения объемного расхода топлива ГПД $\Delta B_e/\Delta t$, приходящегося на изменение температуры наружного воздуха на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $\Delta t_{нв} = 1$ °С, от температуры наружного воздуха $t_{нв}$ при разных температурах воздуха на входе ТК $t_{вх} = 20…30$ °С и номинальной мощности ГПД $N_э = 1400$ кВт

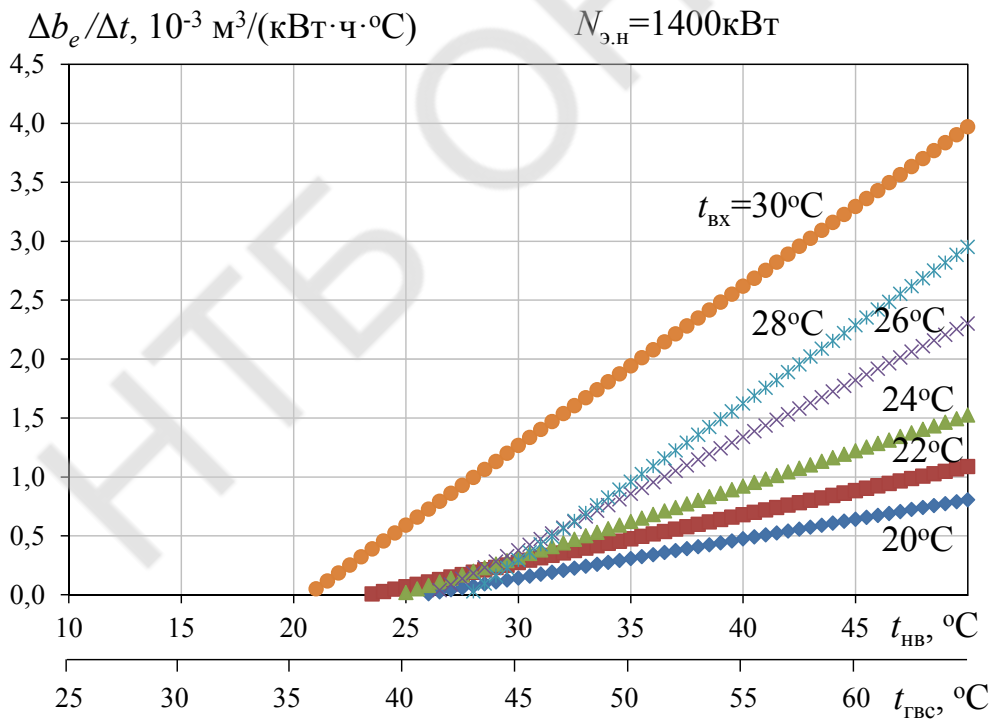


Рис. 9 – Зависимости изменения удельного объемного расхода топлива ГПД $\Delta b_e/\Delta t$, приходящегося на изменение температуры наружного воздуха на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $\Delta t_{нв} = 1$ °С, от температуры наружного воздуха $t_{нв}$ при разных температурах воздуха на входе ТК $t_{вх} = 20…30$ °С и номинальной мощности ГПД $N_э = 1400$ кВт

Об ухудшении топливной эффективности ГПД из-за повышения температуры наружного воздуха на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $t_{нв}$ можно судить по зависимости расхода топлива в относительных величинах – по сравнению с его спецификационным

(номинальным) значением, $B_e/B_{e.н}$, от температуры наружного воздуха $t_{нв}$ при разных температурах воздуха на входе ТК $t_{вх} = 20…30$ °С и номинальной мощности ГПД $N_э = 1400$ кВт, приведенным на рис. 10.

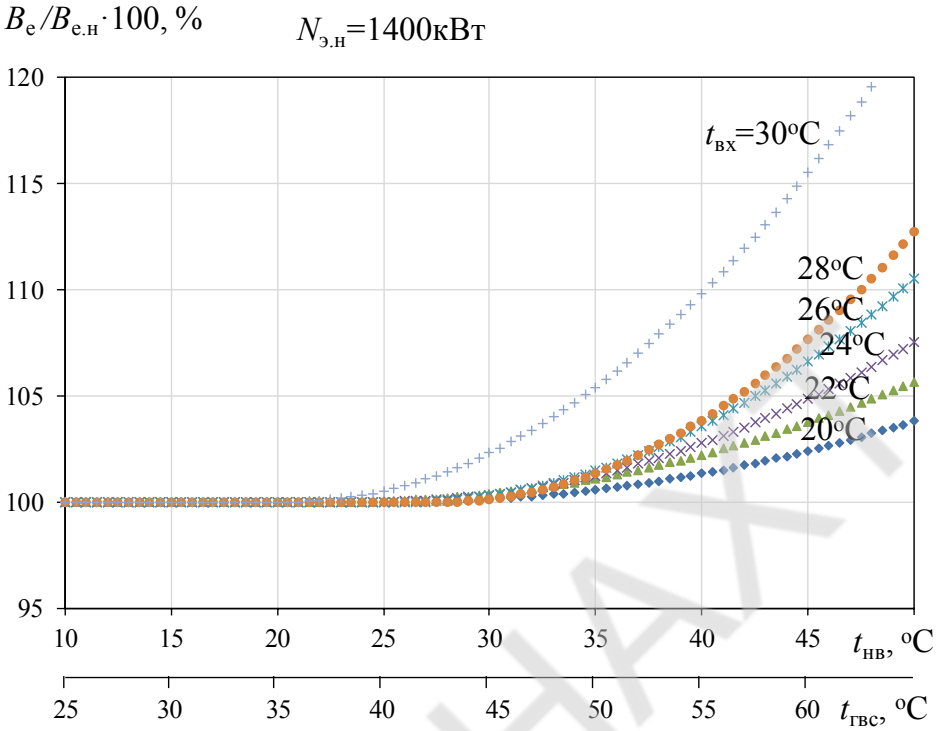


Рис. 10 – Зависимости изменения объемного расхода топлива ГПД B_e / $B_{e.н}$, приходящегося на изменение температуры наружного воздуха на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $\Delta t_{нв} = 1$ °С, от температуры наружного воздуха $t_{нв}$ при разных температурах воздуха на входе ТК $t_{вх} = 20…30$ °С и номинальной мощности ГПД $N_э = 1400$ кВт

Как видно, при температуре воздуха на входе ТК $t_{вх} = 26…30$ °С более глубокое охлаждение наддувочной газовоздушной смеси, в частности, с помощью АБХМ, по сравнению с ее традиционным охлаждением в системе оборотного охлаждения градирней сухого типа, например при температуре наружного воздуха на входе градирни $t_{нв} = 30…35$ °С позволяет сократить потребление топлива на 2…5 % (от 102…105 % до 100 %).

УДК 621.436.13:621.57

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ТОПЛИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ЧАСТИЧНЫХ НАГРУЗКАХ

Радченко А.Н., канд. техн. наук, Коновалов А.В., мл. научн. сотр.
Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина

В установках автономного энергообеспечения для привода электрогенераторов широко применяются газопоршневые двигатели (ГПД). Охлаждение наддувочной газовоздушной смеси (ГВС) перед ее подачей в цилиндры ГПД осуществляется, как правило, системой оборотного охлаждения с отводом теплоты от промежуточного водяного контура в атмосферу градирнями сухого типа. Повышение температуры воздуха $t_{вх}$ на входе турбокомпрессора (ТК) и наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирни системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС, соответственно и температуры охлажденной наддувочной ГВС $t_{гвс}$, приводит к падению топливной эффективности ГПД – возрастанию удельного расхода топлива b_e.

Поэтому для поддержания высокой топливной экономичности ГПД при повышенных температурах наружного воздуха целесообразно охлаждать воздух на входе ТК и либо понижать температуру воздуха в градирне (например, до температуры мокрого термометра путем испарения в нем воды) с соответствующим снижением температуры воды в системе оборотного охлаждения, либо же дополнительно охлаждать саму воду системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС, например, с помощью теплоиспользующих холодильных машин (ТХМ), утилизирующих сбросную теплоту ГПД.

Для оценки эффекта от охлаждения наддувочной ГВС необходимо располагать данными по раздельному влиянию температуры воздуха на входе ТК $t_{вх}$ и наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирни на удельный расход топлива b_e. Поскольку в установках автономного энергообеспечения, особенно при небольшом количестве двигателей, их работа на частичных нагрузках – в зависимости от энергопотребления конкретных промышленных и других объектов – довольно частый режим для практики эксплуатации, то для оценки целесообразности охлаждения циклового воздуха в ТХМ необходимо располагать данными по снижению топливной эффективности ГПД при повышенных температурах наружного воздуха, причем с учетом раздельного влияния температур наружного воздуха на входе в градирни $t_{нв}$ (соответственно и температуры охлажденной наддувочной ГВС $t_{гвс}$) и на входе ТК $t_{вх}$.

Фирмы-производители газопоршневых двигателей (ГПД), как правило, не дают в доступных информационных источниках данных об изменении удельного расхода топлива b_e в зависимости от климатических условий эксплуатации. Обработка массивов данных по b_e, полученных в процессе мониторинга действующей энергоустановки с ГПД, вызывает значительные трудности из-за одновременного влияния на b_e температур наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирни системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС и воздуха на входе наддувочного ТК $t_{вх}$.

Поэтому была разработана методика обработка данных мониторинга по b_e с учетом раздельного влияния температур наружного воздуха на входе в градирни $t_{нв}$ и на входе ТК $t_{вх}$. Методика разработана на основе данных мониторинга первой на Украине установки автономного электро-, тепло- и холодообеспечения ООО "Сандора"–"Pepsico Ukraine" (с. Мешково-Погорелово, Николаевская обл.). Тригенерационная установка включает два когенерационных ГПД JMS 420 GS-N.LC GE Jenbacher (электрическая мощность одного ГПД 1400 кВт, тепловая мощность 1500 кВт).

Целью обработки массивов данных $b_{ev} = f(t_{нв})$ является нахождение величины изменения удельного объемного расхода топлива db_{ev}, приходящейся на изменение температуры наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС на 1 °С, т.е. производной $db_{ev}/dt_{нв}$.

Для этого отдельные массивы данных по $b_{ev} = f(t_{нв})$ формировались при разных, но практически неизменных температурах воздуха $t_{вх}$ (диапазон отклонения температуры $t_{вх}$ менее 1 °С) на входе ТК, что позволяло исследовать влияние температуры наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС независимо от температуры воздуха $t_{вх}$ на входе ТК.

Результаты обработки данных по объемным расходам топлива в абсолютных B_e и относительных b_e величинах с получением величины их изменения ΔB_e и Δb_e при изменении на 1 °С температуры наружного воздуха на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $t_{нв}$ в зависимости от температуры наружного воздуха $t_{нв}$, соответственно и от температуры наддувочной ГВС $t_{гвс}$, при эксплуатации ГПД на частичной нагрузке (мощности $N_э$ = 1000-1100 кВт) представлены соответственно на рис. 1 и 2.

При этом связь между температурой $t_{гвс}$ наддувочной ГВС $t_{гвс}$ и температурой наружного воздуха $t_{нв}$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $t_{нв}$ определялась исходя из разности температур между температурой охлажденной в градирне воды t_{w1} и наружным воздухом $t_{нв}$ на входе в градирню сухого типа: $\Delta t_1 = t_{w1} - t_{нв} = 10$ °С, а также разности температур между наддувочной ГВС на выходе из низкотемпературной ступени $ОНВ_{НТ}$ $t_{ГВС}$ и охлажденной в градирне воды t_{w1}: $\Delta t_2 = t_{ГВС} - t_{w1} = 5$ °С, т.е. $t_{ГВС} = t_{нв} + \Delta t_1 + \Delta t_2 = t_{нв} + 15$ °С, а разности температур в градирне сухого типа Δt_1 и в низкотемпературной ступени $ОНВ_{НТ}$ Δt_2 получали из расчета по программам фирм-разработчиков, в частности, Guntner.

Об ухудшении топливной эффективности ГПД из-за повышения температуры наружного воздуха на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $t_{нв}$ можно судить по зависимости расхода топлива в относительных величинах – по сравнению с его спецификационным (номинальным) значением, $B_e/B_{e.н}$, от температуры наружного воздуха $t_{нв}$, соответственно и от температуры наддувочной ГВС $t_{гвс}$, при разных температурах воздуха на входе ТК $t_{вх}$ = 20…30 °С и эксплуатации ГПД на номинальной мощности ГПД N_e = 1400 кВт и на частичной нагрузке N_e = 1000…1100 кВт, приведенным на рис. 3.

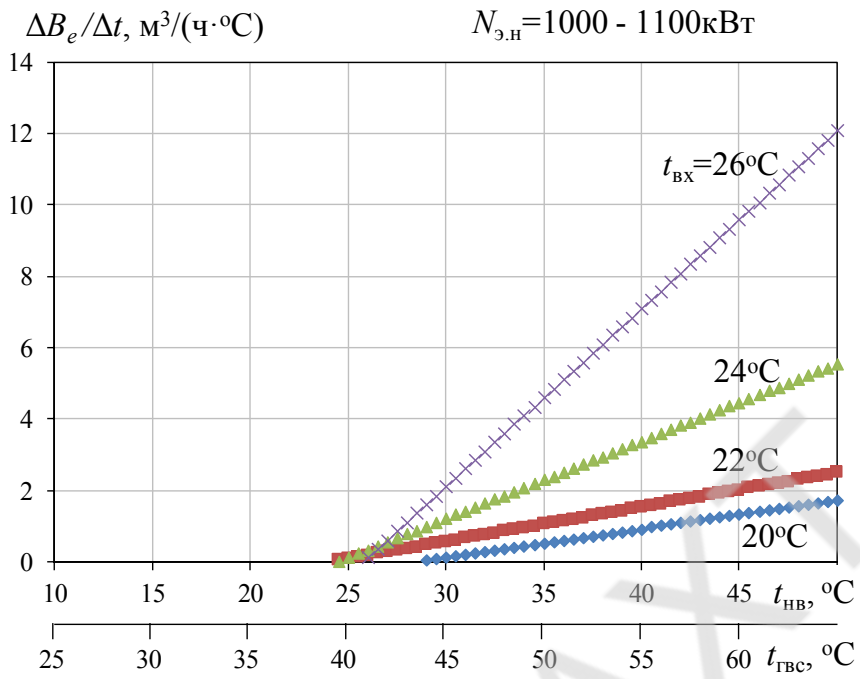


Рис. 1 – Зависимости изменения объемного расхода топлива ГПД $\Delta B_e/\Delta t$, приходящегося на изменение температуры наружного воздуха на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $\Delta t_{нв} = 1$ °С, от температуры наружного воздуха $t_{нв}$, соответственно и от температуры наддувочной ГВС $t_{гвс}$, при разных температурах воздуха на входе ТК $t_{вх} = 20…30$ °С и мощности ГПД $N_e = 1000$-1100 кВт

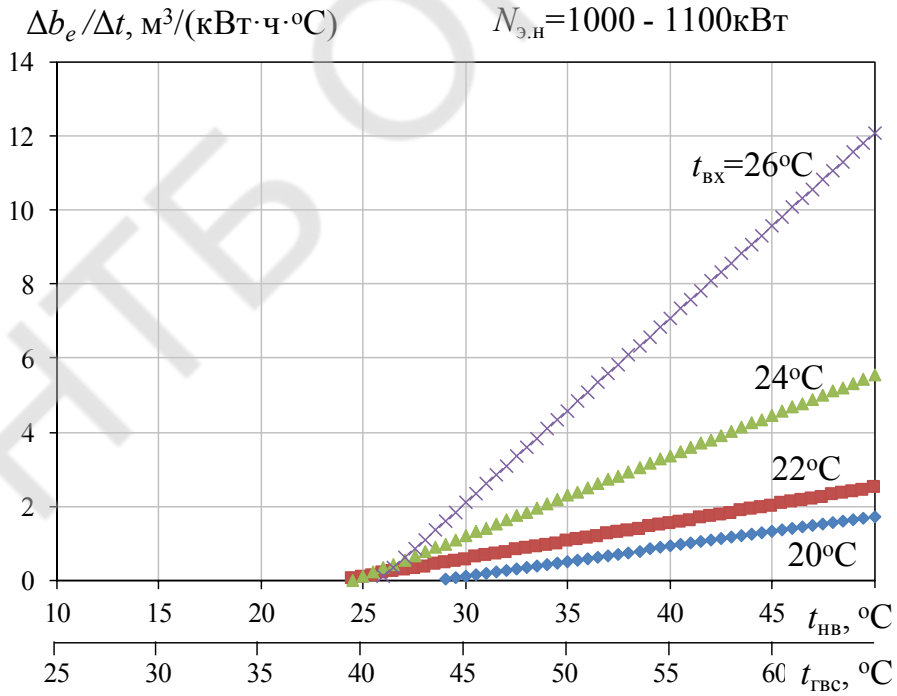


Рис. 2 – Зависимости изменения удельного объемного расхода топлива ГПД $\Delta b_e/\Delta t$, приходящегося на изменение температуры наружного воздуха на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $\Delta t_{нв} = 1$ °С, от температуры наружного воздуха $t_{нв}$, соответственно и от температуры наддувочной ГВС $t_{гвс}$, при разных температурах воздуха на входе ТК $t_{вх} = 20…30$ °С и мощности ГПД $N_e = 1000$-1100 кВт

НТБ ОНАХТ

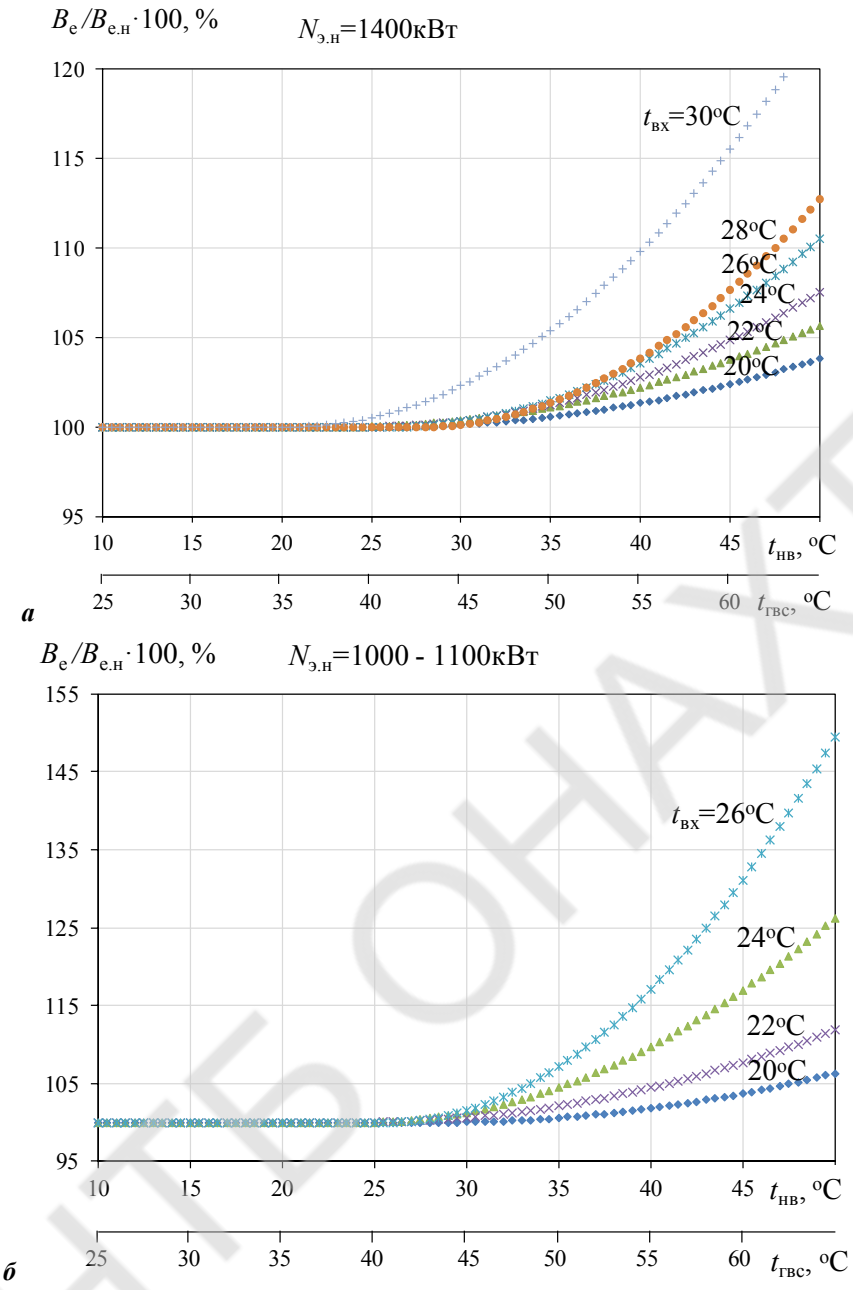


Рис. 3 – Зависимости изменения объемного расхода топлива ГПД B_e / $B_{e.н}$, приходящегося на изменение температуры наружного воздуха на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $\Delta t_{нв}$ = 1 °C, от температуры наружного воздуха $t_{нв}$, соответственно и от температуры наддувочной ГВС $t_{гвс}$, при разных температурах воздуха на входе ТК $t_{вх}$ = 20…30 °C и мощности ГПД $N_э$: *а* – $N_э$ = 1400 кВт; *б* – $N_э$ = 1000-1100 кВт

Как видно, при температуре воздуха на входе ТК, например $t_{вх}$ = 26 °C, более глубокое охлаждение наддувочной газовоздушной смеси, в частности, с помощью АБХМ, по сравнению с ее традиционным охлаждением в системе оборотного охлаждения градирней сухого типа, например при температуре наружного воздуха на входе градирни $t_{нв}$ = 30…35 °C, соответственно $t_{гвс}$ = 45…50 °C, позволяет сократить потребление топлива на номинальном режиме на 1…2 % (от 101…102 % до 100 % на рис. 3,***а***), тогда как на режиме частичной нагрузки на 2…8 % (от 102…108 % до 100 % на рис. 3,***б***), причем при более высокой температуре воздуха на входе ТК $t_{вх}$ = 35 °C (по сравнению с $t_{вх}$ = 30 °C) эффект от охлаждения на режиме частичной нагрузки значительно больше.

НТБ ОНАХТ

СЕКЦІЯ 6:

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕРЕЖІ В ЕНЕРГЕТИЦІ І ХОЛОДИЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ

НТБ ОНАХТ

УДК 621.59 (075.8)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТАНОВОК

Бодюл С.В., Сухоруков А.А.
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Приводится краткая характеристика автоматизированной системы procsys для расчета наиболее важных процессов, протекающих в машинах и аппаратах низкотемпературных установок, определения параметров потоков при сжатии в компрессоре, расширении в детандере, дросселировании, теплообмене в теплообменных аппаратах. Система позволяет рассчитывать процесс ректификации в колоннах воздухоразделительных установок. Автоматизированная система дополнена новыми автономными модулями, разработаными для определения теплофизических свойств технически важных жидкостей и газов – рабочих тел энергетических установок.

Ключевые слова: *автоматизированная система – проектирование – низкотемпературная установка – теплофизические свойства – уравнение состояния – ректификационная колонна – теплообменный аппарат – детандер – компрессор.*

A brief characteristic of the automated system procsys to calculate the most important processes in machines and apparatuses of low-temperature plants, determining parameters of the flow under compression in the compressor, expansion in the expander, throttling, heat transfer in heat exchangers. The system allows the calculation of the process of rectification columns in air separation plants. The automated system is complemented by a new autonomous modules, has been developed for the determination of thermophysical properties of technically important fluids and gases – working substances of power systems.

Key words: *automated system – design – low-temperature plant – thermal properties – equation of state – rectification column – heat exchanger – expander – compressor.*

Разработчикам холодильных и криогенных установок необходимо эффективное программное обеспечение для выполнения многовариантных расчетов, связанных с проектированием и оптимизацией систем различного назначения. Цель работы — совершенствование комплексов программ и информационно-вычислительных систем, необходимых для решения таких задач [1-3].

Авторами разработана автоматизированная система ProCSys, которая предназначена для расчета наиболее важных процессов, протекающих в машинах и аппаратах криогенной техники. С ее помощью вычисляются характеристики процессов по энергетическим и материальным балансам, математическим моделям элементов установок, определяются параметры потоков в точках входа и выхода при изотермическом сжатии в компрессоре, адиабатном дросселировании, политропном расширении в детандере, теплообмене в двух- и многопоточных теплообменниках, разделении парожидкостной смеси в сборнике жидкости, смешении потоков и др. Расчет производится в базовых точках с выдачей значений свойств, соответствующих параметрам этих точек. Система состоит из следующих основных функциональных блоков: ввода исходных данных, расчета свойств веществ, расчета процессов, сохранения и вывода результатов.

Блок ввода исходных данных обеспечивает прежде всего выбор того устройства либо аппарата из перечисленных выше, для которого производится расчет процесса, протекающего в нем. Для каждого варианта расчета вводятся наименование рабочего вещества (для теплообменников – двух либо трех веществ), значение расхода вещества и необходимый набор исходных данных.

Для расчета процессов изотермического сжатия в компрессоре либо политропного расширения в детандере вводятся значения давления в начале и конце процесса, начальной температуры и коэффициента полезного действия. При расчете процесса дросселирования вводятся значения начального и конечного давлений и начальной температуры либо энтальпии и выбирается режим расчета (по значениям начального давления и температуры либо давления и энтальпии).

Исходными данными для определения параметров потоков в двух- и трехпоточных теплообменниках являются значения давления, температуры (либо энтальпии) охлаждаемых и нагреваемых потоков на входе и выходе и величина теплопритоков из окружающей среды. Вместо давления можно задать значение перепада давлений. Выбирается режим расчета, соответствующий исходным данным, при этом есть возможность выбора точки на входе либо выходе из аппарата, относительно которой будет решено уравнение энергетического баланса. Для расчета характеристик трехпоточного теплообменника указывается количество охлаждаемых и нагреваемых потоков. При необходимости можно выбрать число

сечений, на которое разбивается теплообменный аппарат для контроля соответствующих значений температуры потоков, то есть для проверки соблюдения в этих сечениях второго закона термодинамики.

Для расчета параметров парожидкостной смеси а также пара и жидкости в сборнике жидкости, помимо наименования вещества и значения расхода, достаточно ввести значения давления и энтальпии вещества на входе в сборник.

При расчетах процессов необходимы данные о теплофизических свойствах рабочих тел в широком интервале изменения параметров состояния. Для получения таких данных используются разработанные авторами и включенные в блок расчета свойств веществ автономные модули для воздуха, азота, кислорода, аргона, двуокиси углерода, метана, воды и других веществ. Эти модули обеспечивают определение температуры, давления, плотности, удельного объема, коэффициента сжимаемости, энтальпии, внутренней энергии, энтропии, теплоемкостей, скорости звука, адиабатного и изотермического дроссель-эффектов, показателя адиабаты, степени сухости, теплоты парообразования, динамической и кинематической вязкости, теплопроводности, числа Прандтля и других свойств, необходимых проектировщикам при выполнении расчетов разных типов низкотемпературных установок. Значения свойств могут быть определены в однофазной и двухфазной областях и на линии насыщения при достаточно широком диапазоне значений температур и давлений.

Для определения термодинамических свойств в широких интервалах плотности и температуры применяются единые уравнения состояния газа и жидкости. Пользователь имеет возможность выбирать для одного и того же вещества уравнения разных авторов с целью повышения надежности расчета свойств, особенно в критической области.

При расчетах термодинамических свойств используются уравнения состояния нескольких типов:

– Уравнения состояния полиномиального типа, представляющие коэффициент сжимаемости как функцию температуры и плотности. По таким уравнениям, представленным, например, в работах [4–6], рассчитаны применяемые в практике таблицы стандартных справочных данных, утвержденные госстандартом;

– Уравнения состояния фундаментального типа, представляющие свободную энергию гельмгольца как функцию температуры и плотности. Фундаментальные уравнения в большинстве случаев составлены зарубежными авторами и рекомендованы ими как справочные. Эти уравнения обеспечивают более высокую точность расчетов в критической области, чем полиномиальные.

Разработанная система постоянно совершенствуются, дополняется модулями в соответствии с новыми, более точными уравнениями состояния. Так наример, новая версия системы дополнена модулем для расчета термодинамических свойств гелия-4 по фундаментальному уравнению состояния в.д. арпа и р.д. маккарти, представленному в [10], и многими другими.

Единые уравнения состояния позволяют рассчитывать свойства вещества во всей однофазной области, причем свойства на линии насыщения могут быть определены на основании известного правила Максвелла без привлечения независимых уравнений кривой парообразования.

При расчетах процессов, протекающих в различных машинах и аппаратах, приходится определять термодинамические свойства веществ многократно и к тому же при различных заданных сочетаниях параметров состояния. Поэтому разработанные модули предусматривают выполнение расчетов при девяти комбинациях параметров исходных данных (независимых переменных): температура – плотность, температура – удельный объем, температура – энтропия, температура – степень сухости, давление – плотность, давление – энтальпия, давление – энтропия, давление – степень сухости.

Результаты расчетов процессов и свойств веществ выводятся в виде таблицы на экран компьютера и могут быть сохранены в виде текстового файла. Перед выводом результатов на печать либо перед их сохранением пользователь имеет возможность отредактировать таблицы.

В автоматизированной системе предоставляет возможность выполнять расчеты процесса ректификации в колоннах воздухоразделительных установок. Метод расчета основан на определении реального изменения концентраций компонентов на каждой тарелке и по высоте колонны с учетом конструктивных параметров и изменяющихся свойств пара и жидкости. При расчете процесса ректификации воздух рассматривается как тройная смесь азот-кислород-аргон.

Система позволяет выполнять термодинамический и технологический расчеты для различных вариантов колонн. Для проведения расчетов пользователь в диалоговом режиме выбирает на экране монитора тип ректификационной колонны с указанием необходимых потоков верхней либо нижней колонны, тем самым генерируя один из 30 возможных вариантов схемы. Здесь же графически представляются секции обобщенной схемы, соответствующие выбранному варианту.

Расчет ректификационной колонны может быть выполнен как для номинального режима работы, соответствующего техническому заданию на проектирование, так и для других режимов (с учетом температурных условий окружающей среды, износа оборудования при эксплуатации и т.п.). Одновременно

могут быть выполнены расчеты с заданием максимального и минимального значения расхода, которые указываются пользователем. В таком случае система выполняет расчеты и создает на экране дисплея окна с тремя таблицами, соответствующими вариантам расчета. Тем самым обеспечивается возможность оценки параметров функционирования воздухоразделительной установки с реализуемым процессом ректификации при различных условиях (режимах) работы.

После завершения расчетов система выводит на экран результаты как совокупность таблиц, содержащих всю информацию об исходных данных и результатах расчетов (параметры потоков, варианты расчетов, данные о фазовом равновесии и т.д.). Одновременно система создает текстовые файлы с данными, полученными при различных вариантах расчетов. Пользователь имеет возможность вызвать на экран эти файлы с помощью редактора MS Word и при необходимости выполнить окончательное редактирование для создания соответствующей проектно-технической документации.

Выводы

В данной статье приводятся основные характеристики разработанной автоматизированной системы ProcSys. Описанная в данной работе система может использоваться специалистами по криогенной технике при решении практических задач, в частности, при проектировании и оптимизации установок низкотемпературной техники, при расчетах технологических схем криогенных систем и установок, воздухоразделительных установок. Автоматизированная система ProcSys разрабатывалась как развивающаяся специализированная система с использованием унифицированных модулей. Такой подход позволяет дополнять и модифицировать программу в соответствии с требованиями заказчика. Новая версия дополнена рядом модулей, расширяющим возможности автоматизированной системы.

Данная система разрабатывалась и продолжает развиваться в связи с необходимостью создания единой универсальной автоматизированной системы, обеспечивающей проектировщиков криогенных установок необходимыми инструментальными средствами, функционирующими в современных операционных системах.

Разработанное программное обеспечение работает под управлением операционной системы семейства Windows.

Литература

1. Вассерман А.А., Бодюл С.В. Автоматизированная система для определения теплофизических свойств воздуха и его компонентов // Технические газы. — 2001. — № 3. — С. 4–9.
2. Vasserman A.A., Slynko A.G., Bodyul S.V., Gondarenko Yu.V., and Bodyul E.S. A Thermophysical Property Databank for Technically Important Gases and Liquids, International Journal of Thermophysics. — 2001. — Vol. 22. — No. 2. —.P. 477–485.
3. Vasserman A.A., Bodyul S.V., Bodyul E.S. Automated System for Calculating Thermophysical Properties of Fluids and Thermal Processes of Cryogenic Plants. International Journal of Thermophysics. — 2004. — Vol. 25. — No. 2. — P. 371–377.
4. Термодинамические свойства азота / Сычев В.В., Вассерман А.А., Козлов А.Д., Спиридонов Г.А., Цымарный В.А. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 352 с.
5. Термодинамические свойства воздуха / Сычев В.В., Вассерман А.А., Козлов А.Д., Спиридонов Г.А., Цымарный В.А.– М.: Изд-во стандартов, 1978. – 276 с.
6. Термодинамические свойства метана / Сычев В.В., Вассерман А.А., Загорученко В.А., Козлов А.Д., Спиридонов Г.А., Цымарный В.А. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 348 с.
7. A Reference Quality Equation of State for Nitrogen / Span R., Lemmon E.W., Jacobsen R.T., Wagner W. // Int. J. Thermophys.– 1998, V. 19, No. 4, p. 1121–1132.
8. Tegeler Ch., Span R., Wagner W. A New Equation of State for Argon Covering the Fluid Range for Temperatures From the Melting Line to 700 K at Pressures up to 1000 Mpa // J.Phys. Chem. Ref. Data.– 1999, V. 28, No. 3, p.779-850.
9. Setzman U., Wagner W. A new Equation of State and Tables of Thermodynamic Properties for Methane Covering the Range from the Melting Line to 625 K at Pressure up to 1000 MPa. J. Phys. Chem. Ref. Data.– 1991. V. 20, No. 6, p. 1061-1155.
10. Arp, V.D., McCarty, R.D., Friend, D.G. Thermophysical Properties of Helium-4 from 0.8 to 1500 K with Pressures to 2000 MPa / Technical Note 1334 (Revised). – Boulder, CO: National Institute of Standards and Technology, 1998. – 145. P.

УДК 004.2

РОЛЬ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ГАЛУЗІ ЕНЕРГЕТИКИ

Болтач С.В.
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

В останній час межі використання інформаційних технологій розширюються. Розроблене спеціалізоване програмне забезпечення значно полегшує роботу в різних галузях та виконує багато функцій. В даній роботі розглядається призначення та використання інформаційних технологій та спеціалізованого програмного забезпечення в енергетиці, а також питання, пов'язані із забезпеченням інформаційної безпеки.

***Ключові слова**: інформаційні технології, програмне забезпечення, інформаційна безпека.*

Recently limits of information technologies use expands. Developed specialized software facilitates work in various fields and performs many functions. In this paper the purpose and use of information technologies and specialized software in the energy sector, as well as issues related to ensuring information securit, are discussed

***Keywords:** information technologies, software, information security.*

З початку впровадження інформаційних технологій в різні галузі виникла необхідність у формуванні служб і підрозділів. Почала формуватися IT-інфраструктура і перехід до моделі бізнесу, орієнтованої на виявлення та задоволення потреб.

В енергетиці інформаційні технології в першу чергу орієнтовані на централізований збір і надання інформації про обладнання. Завдяки їх впровадженню: зменшується час на збір і аналіз даних; прогнозуються ризики і надійність обладнання; оцінюється продуктивність; розраховуються ключові показники продуктивності та ін.

Отримані дані впливають на виробництво і якість процесу. Наявність подібної системи підвищує контроль і обгрунтованість прийнятих рішень. Як результат зростає надійність в плані забезпечення споживачів енергією. Однією з найбільш відомих програм є SAP (System Analysis and Program Development) – багатофункціональне програмне забезпечення, що автоматизує роботу кадрової та фінансової служб, бухгалтерів, торгових і складських відділів. Програмне забезпечення «Атом» дозволяє в повній мірі використовувати досягнення в області атомно-емісійної спектрометрії. Застосовувані в програмі алгоритми обчислень забезпечують високу якість результатів аналізу даних.

Подібні програми в галузі енергетики відповідають за роботу з документообігом, аналізом, деякі орієнтовані на прогнозування і за рахунок цього впливають на прийняті керівництвом рішення.

Проте кожна програма крім очевидних плюсів свого впровадження несе і важливий мінус - загрозу інформаційній безпеці. Ця проблема є однією з головних і їй приділяється увага як з боку підприємств, так і розробників. Одним із сучасних рішень щодо забезпечення інформаційної безпеки є розподіл ролей. Технологіями в даному випадку займаються фахівці, а виробництвом – компанії, але і це не дає повної гарантії безпеки.

Висновки

В галузі енергетики останнім часом дуже важливу роль відіграють сучасні інформаційні технології, впроваджуються системи, які виявляють і діагностують, контролюють, прогнозують і збирають дані, на основі яких приймаються рішення. Особливої уваги потребують питання забезпечення інформаційної безпеки, які потрібно вирішувати на державному рівні.

Література

1. Профессионалы.ru [Электронный ресурс]: [Интернет-портал]. – Электронные данные – [Профессионалы.ru, 2008-2016]. – Режим доступа: https://professionali.ru/Soobschestva/it-s pecialisty/it-v-envergvetikve/ свободный. – IT-специалисты.
2. «Эксперт-400» форум [Электронный ресурс] / Людмила Шаповалова // «Эксперт Юг» №5-6 (195) – Режим доступа: http://expert.ru/south/2012/06/upravlenie-elektrichestvom/ свободный. – Управление электричеством.

УДК 004.2

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ «ОДЕСАОБЛЕНЕРГО»

Кржевицький В.С.
ПАТ «Одесаобленерго», м. Одеса
Попков Д.М.
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

В роботі представлено автоматизовану систему обліку електроенергії, яку було розроблено і введено в експлуатацію в Одеській області та інтегровано на офіційному веб-ресурсі компанії ПАТ «Одесаобленерго». Система орієнтована як на побутових споживачів, так і на підприємства, та надає можливість отримати широкий спектр функцій, які значно спрощують та автоматизують процеси обліку та контролю споживання електроенергії.
Ключові слова: *автоматизована система; облік електроенергії; енергомережа підприємства.*

This paper presents an automated electricity metering system, which was developed and put into operation in the Odessa region and is integrated on the official web-site "Odesaoblenergo". The system is intended for both domestic consumers and the enterprise, and allows you to get a wide range of functions, which greatly simplifies and automates the process of accounting for and control of electricity consumption.
Keywords*: automated system; electricity metering; enterprise grid.*

Розвиток сучасної енергетики в Україні напряму пов'язаний з розвитком інформаційних технологій: від розвитку останніх залежить якість обліку спожитої електроенергії, отримання своєчасних статистичних звітів, безготівкова он-лайн оплата за спожиту електроенергію, віддалене управління серверними станціями у філіалах, моніторинг завантаження електронних мереж тощо.

Для споживача електроенергії сьогодні постає актуальним питання онлайн оплати та динамічного ведення обліку спожитої електроенергії та постійний моніторинг стану енергомереж підприємства, компанії чи приватного помешкання. Звичайно, подібного роду сервіси повинні першочергово надавати обленерго регіонів.

Для вирішення даного питання використовують сучасні автоматизовані комерційні системи обліку електроенергії (АСКОЕ). Вони дозволяють здійснювати:

- комплексний автоматизований комерційний і технічний облік електроенергії й енергоносіїв на підприємстві, його інфраструктурах за чинними тарифними системами за всіма параметрами енергообліку з метою забезпечення зовнішніх і внутрішніх розрахунків за енергоресурси й забезпечення їх раціональних витрат;
- контроль енергоспоживання за всіма енергоносіями, місцями і структурами обліку в заданих часових інтервалах щодо заданих лімітів, режимних і технологічних обмежень потужності, витрат, тиску й температури з метою економії енергоресурсів і забезпечення енергопостачання;
- фіксація відхилень контрольованих величин енергообліку та їхня оцінка в абсолютних і відносних одиницях з метою полегшення аналізу енергоспоживання;
- прогнозування (коротко-, середньо- і довгострокове) значень величин енергообліку з метою планування енергоспоживання;
- автоматичне керування енергоспоживанням на основі заданих критеріїв і пріоритетних схем увімкнення/вимкнення споживачів-регуляторів з метою економії ручної праці й забезпечення якості керування;
- точний розрахунок із субабонентами підприємства за енергоспоживання з метою справедливого розподілу енерговитрат.

В Одеській області відносно недавно було введено в експлуатацію сучасну автоматизовану систему обліку електроенергії, яку інтегровано на офіційному веб-ресурсі компанії ПАТ «Одесаобленерго» (http://www.oblenergo.odessa.ua).

На даний момент система орієнтована як на побутових споживачів, так і на підприємства, та надає можливість після реєстрації споживача (вказується обліковий рахунок) отримати широкий спектр функцій, які значно спрощують та автоматизують ряд процесів. А саме:

- внесення показників і формування квитанції на оплату;
- проведення безготівкової он-лайн оплати сервісами довільного банку;
- отримання деталізації за рахунком;

– отримання прогнозу споживання електроенергії на визначений період на основі попередньої статистики;
– перегляд балансу розрахунків;
– формування звітів і подальший їх друк сервісами сайту.

Висновки

Введення даної АСКОЕ вже дозволило суттєво спростити процес оплати і забезпечило динамічний моніторинг за споживанням електроенергії споживачами. Крім того, наявність особистого кабінету споживача гарантує йому своєчасні сповіщення про заборгованість на електронну адресу. Наступним кроком має стати реалізація даного сервісу на мобільних платформах.

Література

1. Праховник А. В. Концептуальні положення побудови АСКОЕ в умовах запровадження перспективних моделей енергоринку України / А. В. Праховник, О. В. Коцар // Енергетика та електрифікація. – 2009. – № 2. – С. 45–50.

UDK 621.565.94:004.2

INFORMATION TECHNOLOGY APPLICATION TO REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING SYSTEMS

Olga V. Olshevska, PhD
Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa

In this paper the instructions for preparing camera ready paper for the Journal Information, communication, control systems and technologies are given. The recommended, but not limited text processor is Microsoft Word 97/2000/XP/2003, 2007, 2010.

Key words: *Camera ready paper, Journal.*

The computer is most necessary things for today's scientist and engineer. The combination of refrigeration engineering and information technology will make this combined marketable. Similarly, modern scientific programs provides strong engineering background that is required in many areas of information technologies.

Information technologies have become critically important area all over the world. Innovations in information technologies and it diffusion lead to much more than faster communication and the simple automation of tasks. The challenges of information technologies across all dimensions in the four interrelated features: awareness, availability, accessibility, and affordability (is actually a manifestation of other underlying divides, spanning economic, social, geographic, gender, and other divides) require improvement in order to reduce the digital divide. Security and privacy issues are key concerns that place an implicit cost on transactions.

Refrigeration and HVAC (heating, ventilating, and air conditioning) systems become as own field in the beginning of XX century, but cooling systems start work to humanity many times ago. Refrigeration and air conditioning systems is used to cool products or a building environment. Basic principle of HVAC is transfers heat from a cooler low-energy body to a warmer high-energy body. We can't imagine any field of human life in what we doesn't use refrigeration technology or air condition systems: markets and shopping malls, offices and business centers, hospitals and laboratories, school and universities, etc. We can't imagine our days without using any kinds of air conditioning systems and ventilation in apartments, offices, cars, etc.

But in discus this question researchers must understand important basic principle of refrigeration and HVAC process in industry. All aspects, theory and methods of industrial cooling become available after long and hard process of calculation and modeling.

Computer programs in XXI century can solve difficult problems in a fraction of the time it used to take. Nowadays, researchers no longer have to write their own software programs to use computers effectively, they can use the numerical programs, but also they need to understand how to apply these programs to specific engineering challenges [1]. All points which appear when resercher explore refrigeration and HVAC systems must be analysis in touch to modern stage science development. There is wide range of application for using for analysis: MathCad, MatLab, AutoCad etc.

The compilation of an exhaustive list of information technology applications tackled in refrigeration and HVAC industry in almost impossible. Each of applications has its own specifics. Each of them may need

computation, communication/data exchange and content management and manipulation, or a combination of those. All these application areas reflect the three major industrial needs which Information Technology is poised to satisfy: complexity management in modeling and everyday operation; management of enormous amounts of data by regulating data streams and data storage; analysis of the data and generation of useful information. These requirements are all geared towards a single goal: increasing results for data and parameters, totally system efficiency and the competitiveness of the companies [1].

Each engineering application starts with a description of the physical problem in general terms. Then those general terms are put into a mathematical context so the computer can represent them. When researchers using computers, it is always important to know if the computer has obtained the correct answer [2].

For about a quarter of a century, developments in information technologies have had a major influence on automation technology. The importance of these developments for the hardware as well as the software sector is further increasing. Currently, a process of integration of industry automation equipment is in progress. In particular, the technical and commercial use of computer and internet technologies are of great importance for the development of local and globally distributed automation solutions. The usage of computer science in the automation of industrial processes is a major element of automation engineering. Communications networks (field bus systems, local data networks, the Intranet and the Internet) make required data available in real time needed for exchanging information between the various levels and components of automation systems and processing it in such systems. The mega trend of ubiquitous computing implies that electronic signal processing components will in future have an even greater influence not only on the distribution of goods but also on many aspects of our daily lives. These developments in turn mean that the demand for automation engineering methods, concepts and technologies will increase [3].

Automation engineers will have to pay greater attention to information technologies and computer science. Computer scientists will play an even greater role in the development of automation technology. New developments like ubiquitous computing will offer promising opportunities for both automation engineers and computer scientists [4].

Modeling and simulation have become powerful complements to theory and experimentation in advancing knowledge in many areas of science. Simulations allow researchers to run virtual experiments when actual experiments would be impractical or impossible. As computer power grows, simulations can be made more complex, and new classes of problems can be realistically simulated. Simulation is contributing to major advances in weather and climate prediction, computational biology, plasma science, high-energy physics, cosmology, materials research, and combustion, among other areas. New visualization techniques for displaying simulation data in comprehensible formats have played an important role.

Computer-aided design (CAD) programs can use CAD data to visualize, animate, simulate, validate, and assemble parts digitally. The goal of such an approach is to address these issues early in the design stage and reduce the need for physical mock-ups and rework. Both aircraft and automobile manufacturers use CAD approaches extensively.

Information technologies has long been important in collecting, storing, and sharing scientific information. More recently, information technologies has enabled automated collection of data. For example, automated gene sequencers, which use robotics to process samples and computers to manage, store, and retrieve data, have made possible the rapid sequencing of the human genome, which in turn has resulted in unprecedented expansion of genomic databases.

In many scientific fields, data increasingly are collected in digital form, which facilitates analysis, storage, and dissemination [5].

Scientists and engineers have been among the earliest and most intensive users of many information technologies applications. It is not surprising that information technologies has played a major role in the practice of science and in the evolution of science institutions.

Advances in computing, information storage, software, and networking are all leading to new tools for science, ranging from automated scientific instruments to supercomputers for modeling and simulation. Information technologies has made possible new collections of data and new ways to access scientific information. Also information technologies has made possible new modes of communication among scientists, allowing them to collaborate more easily. Information technologies affects how research is conducted, how new products and processes are developed, and how technical information is communicated.

Conclusion

The role of information technologies is not uniform across all areas of science. Some areas of research, such as high-energy physics, fluid dynamics, engineering, have long relied on high-end computing. That's why all way of information technologies and engineering is mixed an couldn't be used one without another.

References
1. P. Varbanov, “Information Technology (IT) in Chemical Industry,” in Lecture notes, CPI2, FIT, University of Pannonia, pp. 1–17.
2. B. A. Finlayson, Introduction to chemical engineering computing. Seattle, Washington: A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2006.
3. “Why Automation & IT ?,” Apr. 2008.
4. О. А. Титлова, “Автоматизированное рабочее место исследователя тепловых процессов в абсорбционных холодильных приборах,” Автоматизация технологических и бизнес-процессов, no. 5-6, с. 60–64, 2011.
5. “Chapter 8: Significance of Information Technology: IT and S&E.” [Online]. Available: http://www.nsf.gov/statistics/seind02/c8/c8s3.htm. [Accessed: 20-Mar-2016].

УДК 004.415.2

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ

Сиромля С.Г.
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

В статье рассматриваются особенности решения задачи проектирования технологических процессов, как составной части технологической подготовки предприятия (ТПП) в условиях виртуального предприятия (ВП) энергетического машиностроения. Для построения архитектуры АС ТПП наиболее приемлемым решением является использование агентно-ориентированной архитектуры в качестве каркаса системы, разделенной на интеллектуальные агенты. Автоматизированное проектирование как комплекс мультиагентных подсистем решающих бизнес-задачи с охватом различных видов производства, выдвигает требования представления обширных данных, множества закономерностей и методов в виде базы знаний.

Ключевые слова: *Мультиагентная система; Виртуальное предприятие; Проектирование технологических процессов; Архитектура мультиагентной системы.*

The article discusses the features of technological preparation the company (TPC) in terms of a virtual enterprise (VE) energy machine manufacturer. The main way of the development of the TPC is complex automation on the basis of increasing the level of intelligence of the AS TPC. Integration of the system in terms of VE takes place on the basis of CALS-technologies, which provides a link for various business processes. As a basis for building such systems was selected multi-agent paradigm. To build as architecture AS TPC the most appropriate solution is to use agent-oriented architecture as a framework, divided into intelligent agents.

Keywords: *Multi-agent system; Virtual enterprise; Technology preparation of enterprise; Architecture a multi-agent system.*

Особенности современной геоэкономики требуют от предприятий выпуска высококачественной сложной техники в условиях ее постоянного обновления и учета индивидуальны запросов потребителей. Существующие объекты энергомашиностроения постоянно совершенствуются: уменьшается материалоемкость, улучшаются и унифицируются конструкции оборудования, повышается его энергетическая эффективность, надежность, долговечность, снижаются эксплуатационные затраты. Чтобы обеспечить эти требования необходимо совершенствовать не только отдельные бизнес-процессы, но и весь жизненный цикл изделия.

По мере участия в конкурентной борьбе компании принимают различные организационные формы, такие как цепи поставок, виртуальные предприятия (ВП), предприятия, основанные на технологии Интернет, производственные сети, электронный бизнес, кластеры и многие другие. Создание ВП сегодня рассматривается как один из путей оптимизации промышленного производства.

Технологическая подготовка производства (ТПП), находясь на стыке проектирования и производства является ядром ЖЦ и во многом определяет качество производимого изделия, сроки его выхода на рынок и уровень кооперации участников ВП[4]. Одним из главных направлений совершенствования ТПП изделий является создание автоматизированных систем (АС) ТПП. Анализ проблем автоматизации ТПП показывает, что для современных систем АСТПП характерно следующее [2]:

1. в АСТПП используются как универсальные (CAD/CAE/CAM/CAPP – системы), так и

специализированные комплексы, направленные на решение узких технологических задач;

2. в АСТПП начинают использовать PDM для поддержки жизненного цикла изделия и организации единого информационного пространства;

3. подсистемы АСТПП имеют разный уровень автоматизации и слабо интегрированы как между собой, так и с ERP – системами.

Проектирование технологических процессов (ТП) является главной составляющей частью технологической подготовки производства. Роль проектирования ТП особенно возрастает в условиях ВП при создании инновационных изделий. Задача разработки ТП изготовления изделия является сложной многовариантной задачей, решаемой в разных проблемных областях энергомашиностроения, т.е. с охватом различных видов производства, выдвигает требования представления обширных данных, множества закономерностей и методов в виде базы знаний.

Автоматизированное проектирование представляет собой процесс последовательного преобразования исходного описания объекта конструкторской декомпозиции изделия, описанной с помощью конструкторско-технологического языка в иерархическую структуру технологического процесса, описывающего последовательность действий по изготовлению объекта производства. Процесс преобразования представляет собой множество процедур (бизнес процессов) осуществляемой системой принятия решений (решатель) на основе взаимодействия с базой знаний (БЗ) и представляет собой синтез проектных решений выполняемых последовательно с учетом возможности рекурсивного взаимодействия.

БЗ автоматизированного проектирования ТП является иерархической сетью справочников - фреймов, в которой сбалансированы совокупности обеспечений логических и эвристических, процедур по определению единиц проектирования для различных технологических переделов. БЗ системы организованна независимо от решателя, выполняющего функции использования знаний.

Предлагаемая обобщенная модель автоматизированного проектирования ТП, рассматривается как сообщество мультиагентных подсистем [3], выполняющих отдельные бизнес - задачи. Для построения архитектуры наиболее приемлемым решением является использование агентно-ориентированной архитектуры в качестве каркаса системы, разделенной на интеллектуальные агенты, где каждый агент выполняет свою конкретную задачу, не зависящую друг от друга, но взаимодействующие друг с другом. Агенты обеспечивают динамическое связывание и взаимодействие, используя стандартные интерфейсы и форматы данных (или знаний). При этом вся бизнес-логика работы системы может обеспечиваться различными средствами – от простейших приложений до интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Использование агентного подхода в таком случае сделает изначально закрытые системы открытыми и обеспечит возможность интеграции их в единое информационное пространство. При этом также не будут потеряны ценные данные (знания), хранящиеся в этих системах. Компоненты программы могут быть распределены по разным узлам сети, и предлагаются как независимые, слабо связанные, заменяемые сервисы-приложения.

Агент - Решатель берет на себя обязанности принятия решений в области технологического проектирования. Он представляет собой совокупность мультиагентных подсистем (МАПС) – для решения логически самостоятельных блоков бизнес – процессов, таких как – проектирование архитектуры ТП, расчет операционных процессов, выбор оснастки, расчет детальных параметров, формирование содержания операции, расчет трудовых и материальных нормативов. Блок состоит из бизнес-задач, например – проектирование архитектуры ТП, состоит из формирования конструкторско-технологической структуры, выбор оборудования, выбор переходов, формирование маршрута и структуры операции. Каждый такой бизнес – процесс выполняется своим агентом во взаимодействии с другими агентами[4]. Агенты решателя должны генерировать запросы и рассчитывать или извлекать из памяти множество ответов-решений и позволять оценивать и выбрать один вариант либо подмножество вариантов этих ответов, сообразуясь с информацией, заложенной в исходных данных.

Специальный агент - менеджер знаний, который помимо хранения, обеспечивает еще множество функций связанных с управлением знаниями (Knowledge Management): сбор знаний, организация и структурирование знаний, поддержание хранилища знаний в актуальном состоянии, распределение знаний, производство знаний [5].

Остальные задачи – такие как, например, хранение информации о ТП, формирование технологической документации и др. решаются агентами МАС ТПП

Выводы

Результаты исследований показали, что для совершенствования решения задач АС ТПП, наиболее важной из которых является проектирование технологических процессов, целесообразно использовать элементы теории многоагентных систем, т. е. создать многоуровневую иерархическую агентную сеть, отвечающую за интеграцию средств информационного обеспечения и комплекса сервисных приложений платформы технологической подготовки производства.

Автоматизированное проектирование как комплекс мультиагентных подсистем решающих бизнес-задачи в разных проблемных областях энергомашиностроения, т.е. с охватом различных видов производства, выдвигает требования представления обширных данных, множества закономерностей и методов в виде базы знаний.

Представленная структурная организация обеспечивает работу МАС ТПП в едином информационном пространстве ВП, коммуникацию с другими автоматизированными системам, обеспечивающими бизнес процессы ВП на основе CALS-стандартов.

Литература

1. Саломатина А. А. Методы и алгоритмы функционирования технологической подготовки производства в информационной среде виртуального предприятия: Дис… канд. техн. наук. СПб: НИУИТМО, 2011. 149 с.
2. Филюков Н. Е. Технологическая подготовка производства как многоагентная система // Сборник тезисов докладов конференции молодых ученых. Вып. 2. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – С. 276-277.
3. Евгенев Г. Б. Технология создания многоагентны прикладных систем // Труды XI национальнойконференции по искусственному интеллекту с международным участием. Москва, Дубна, 2008. Т. 2. – С. 306–312.
4. Сиромля С. Г. Мультиагентная система технологической подготовки виртуального предприятия. Холодильна техніка та технологія, 52 (2), 2016
5. Управление знаниями и системы автоматизации проектирования А.Е.Алексейчук, Х.П.Гамбарян, Л.И.Микулич. Институт проблем управления им. Трапезникова РАН.Машиностроение, 1991. -324 с.ил.

НТБ ОНАХТ

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1
Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії теплові насоси та тепловикористовуючі холодильні машини і агрегати 3

СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕПЛОВОГО НАСОСА ТА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ҐРУНТОВОГО КОЛЕКТОРА *Басок Б.І., Недбайло О.М., Ткаченко М.В., Божко І.К.* 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА УТВОРЕННЯ ПАЛИВНИХ ПЕЛЕТ, ЩО ВМІЩУЮТЬ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ (ПЕТФ)
Клименко В.В., Кравченко В. І., Личук М.В., Солдатенко В.П. 7

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УКРАИНЫ*Стоянов П.Ф., Лагутин А.Е.* 9

ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ПАРИ СИСТЕМ ВИПАРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ДОМЕННИХ ПЕЧЕЙ *Кошельнік О.В.* 11

СИСТЕМА УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ДИМОВИХ ГАЗІВ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ СКЛЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ *Кошельнік О.В.Долобовська О.В.* 12

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ КОГЕНЕРАЦІЙНО-ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК ПОРІВНЯНО З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ *Остапенко О. П.* 13

НАУКОВІ ОСНОВИ З ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ КОГЕНЕРАЦІЙНО-ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК*Остапенко О. П.* 15

ЭФФЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК ДЛЯ ПОДОГРЕВА МАЗУТА
Потапов М.Д., Дорошенко Ж.Ф. 17

СЕКЦІЯ 2
Процеси тепломасообміну і тепломасообмінні апарати. Нанотехнології в теплоенергетиці і енергомашинобудуванні. Теплофізичні властивості теплоносіїв і робочих тіл 19

СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ КОНДЕНСАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ
Бутовский Е. Д., Когут В. Е., Бушманов В. М., Хмельнюк М. Г. 20

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У ТРУБЧАТОМУ УТИЛІЗАТОРІ ТЕПЛОТИ ГАЗІВ, ЩО ВІДХОДЯТЬ З ДОМЕННОГО ВИРОБНИЦТВА *Ганжа А. М., Заєць О. М.* 22

МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ З УРАХУВАННЯМ РОЗПОДІЛУ ЛОКАЛЬНИХ ІНТЕНСИВНОСТЕЙ ТЕПЛООБМІНУ
Ганжа А. М., Марченко Н. А., Підкопай В. М. 24

КОНСТРУИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ МИКРОВОЛНОВОГО ЭКСТРАКТОРА *Георгиеш Е.В.* 26

ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОС У КОНВЕКТИВНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ КОМІРКАХ З ПАРАБОЛІЧНИМ ПРОФІЛЕМ ДНА І ТВЕРДИМИ ГРАНИЧНИМИ УМОВАМИ
Іванюк М. І., Андрєєва О. Л., Кулик О. П. 28

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ *Колесниченко Н.А., Волгушева Н. В.,Бошкова И.Л.* 30

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОМАССООБМЕНА МАСЛЯНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ В ГТД
Михайленко Т. П., Петухов И.И., Лисица А. Ю., Немченко Д. А.., Дуаиссиа Омар Хадж Аисса 33

СТРУЙНЫЕ АППАРАТЫ В СИСТЕМАХ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЖИДКОСТИ *Петухов И. И., Шахов Ю.В.* 37

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНВЕКЦІЙНОГО КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ Й ВТРАТ НАПОРУ ПРИ ВИМУШЕНОМУ РУСІ НАНОХОЛОДОНОСІЯ НА ОСНОВІ ПРОПІЛЕНГЛІКОЛЮ В ТРУБІ *Рябікін С.С., Хлієва О.Я.* 41

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ У НАНОФЛЮЇДІ ІЗОПРОПІЛОВИЙ СПИРТ / НАНОЧАСТИНКИ Al_2O_3 *Лозовський Т. Л.., Желєзний В. П., Мотовой И. В., Гордейчук Т.В.* 42

АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ *Хлієва О.Я.* 43

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ПОЄДНАННЯ АВІАЦІЙНИХ БЕНЗИНІВ З АЛІФАТИЧНИМИ СПИРТАМИ *Бойченко С.В., Кондакова О.Г.* 45

ВРАХУВАННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ЗА УМОВ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ ГТС ТА ВАНТАЖНОЇ СИСТЕМИ CNG СУДНА *Волинський Д. А.* 46

ТЕРМОДИНАМІЧНА РІВНОВАГА СУМІШІ ХОЛОДОАГЕНТІВ R407C І R410A З КОМПРЕСОРНИМИ МАСТИЛАМИ *Геллер В.З., Губанов С.Н.* 50

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕТЕРОГЕННЫХ ЛИОФОБНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГИДРОФОБИЗИРОВАНОГО СЕЛИКАГЕЛЯ *Желєзний В.П., Лозовський Т.Л., Лук'янов М.М., Нікулін А.Г.* 50

УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕТЕРОГЕННИХ ЛІОФОБНИХ СИСТЕМ *Желєзний В.П., Лозовський Т.Л., Лук'янов М.М., Нікулін А.Г.* 52

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТІ РІДКОЇ ФАЗИ РОЗЧИНІВ ДИМЕТИЛОВОГО ЕТЕРУ (DME) З ТРИЕТИЛЕНГЛІКОЛЕМ (TEG) *Івченко Д.О., Мотовой І.В., Лозовський Т.Л.* 54

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГУСТИНИ НАНОФЛЮЇДІВ ІЗОПРОПАНОЛ / AL_2O_3 *Лозовський Т.Л., Полюганіч М.П., Швидюк Г.О.* 55

ЕКСПЕРИМЕНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОМІШОК ФУЛЕРЕНІВ C_{60} НА В'ЯЗКІСТЬ КОМПРЕСОРНОГО МАСЛА ХФ16-12 І РОЗЧИНІВ ХОЛОДОАГЕНТУ R600a /МАСЛО ХФ16-12 *Мороз С.О., Лозовский Т.Л., Лук'янов Н.Н.* 57

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ й РОЗРАХУНКОВе ДОСЛІДЖЕННЯ ГУСТИНИ та В'ЯЗКОСТІ трикомпонентних ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СПИРТІВ *Полюганіч М.П., Хлієва О.Я., Нікуліна А.С.* 59

ТЕРМОДИНАМІЧНА РІВНОВАГА СУМІШІ ХЛОДОГЕНТІВ R407C І R410A З КОМПРЕСОРНИМИ МАСЛАМИ *Романенко В.С.* 61

ИССЛЕДОВАНИЕ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАНОФЛЮИДАМИ ПРИ ИХ КИПЕНИИ *Семенюк Ю.В., Никулин А.Г.* 62

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ КИПЕНИИ НАНОФЛЮИДОВ В СВОБОДНОМ ОБЪЕМЕ *Якуб Л.Н., Бодюл Е.С.* 65

ПЛАВЛЕНИЕ И СВОЙСТВА СОСУЩЕСТВУЮЩИХ ФАЗ МЕТАНА ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ 69

СЕКЦІЯ 3
Енергоресурсозбереження в нафтогазовому комплексі 72

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ *Андерсон А.Ю., Кологривов М.М.* 73

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О РАСЧЁТЕ ВРЕМЕНИ СЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АЗС *Бузовский В.П., Кологривов М.М.* 77

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ТИСКУ В ЛІНІЙНІЙ ЧАСТИНІ МАГІСТРАЛЬНОГО НАФТОПРОВОДУ ПРИ ЗАПУСКАХ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ *Григорський С. Я., Середюк М. Д.* 81

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕРОЗІЙНОГО ЗНОШУВАННЯ ВІДВОДІВ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ *Дорошенко Я. В., Марко Т. І., Дорошенко Ю. І.*..... 85

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИКСОТРОПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОВ'ЯЗКОЇ ДОЛИНСЬКОЇ НАФТИ НА ЕКСПЛУАТАЦІЮ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ *Пилипів Л.Д.*..... 88

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТИПОВОГО НАФТОПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА ДОВКІЛЛЯ *Пузік О.Г., Черняк Л.М.*..... 93

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГУСТИНИ ТЕХНІЧНОГО АМІАКУ ЗА УМОВ МАГІСТРАЛЬНОГО АМІАКОПРОВОДУ ТОЛЬЯТТІ-ОДЕСА *Сусак О. М., Григорський С. Я.* 94

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАФТОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ УКРАЇНИ В УМОВАХ НАДХОДЖЕННЯ РІДКИХ ВУГЛЕВОДНІВ З АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСТАЧАННЯ *Якимів Й.В., Бортняк О.М.* 96

СЕКЦІЯ 4

Теоретичні основи екологічно безпечних технологій. Ресурсоефективні і більш чисті технології. Екологічно безпечні технології поводження з відходами. Технології захисту навколишнього середовища. Управління ресурсними потоками. Екологічний дизайн продукції. Методи оцінки еколого-енергетичної ефективності технологій і обладнання..... 99

МОДЕЛЮВАННЯ МІГРАЦІЇ РАДІОНУКЛІДУ (CS-137) ПО КАСКАДУ КИТАЇВСЬКИХ СТАВКІВ (НПП «ГОЛОСІЇВСЬКИЙ», М. КИЇВ) *Кравець М.О., , Кутлахмедов Ю.О.*.....100

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ *Крусір Г.В., Гаркович О.Л., Чекал Г.Л* 101

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ЕКОЛОГІЧНОГО ПАСПОРТУВАННЯ КВАРТИРИ *Крусір Г. В., Мадані М.М., Саввова К.О.*.....103

ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ У АДМІНІСТРАТИВНИХ РАЙОНАХ ТА МІСТАХ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ *Ригас Т.Є., Шмандій В.М.*.....103

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ В УМОВАХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ *Харламова О.В., Мальований М.С.* 105

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВОДНЕВОГІДРИДНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГОПЕРЕТВОРЮЮЧИХ СИСТЕМ *Чорна Н.А.*.....106

РОЗРОБКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ПРИНЦИПІВ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОПЕРЕТВОРЮЮЧИХ МЕТАЛОГІДРИДНИХ СИСТЕМ *Чорна Н.А.* 108

ЗМІНИ ЛІПІДНОГО ОБМІНУ В КРОВІ ЛЮДИНИ ПІД ДІЄЮ ЗАБРУДНЕНЬ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА *Щекатоліна С.А., Жарюк В.М.*.....109

ШЛЯХИ ПОДОЛАННЯ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КРИЗИ УРБОСИСТЕМ УКРАЇНИ ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ФЕП *Вамболь С.О., Сичікова Я.О.* 110

ОКРАСКА ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ ПРОТИВОПРИГАРНЫМИ НАНОПОРОШКОВЫМИ КРАСКАМИ С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА *Крушенко Г.Г., Двирный В.В., Решетникова С.Н.*.....112

СУЧАСНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ І УТИЛІЗАЦІЇ МЕДИЧНИХ ВІДХОДІВ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ *Арабаджи Я. А., Мішкой Ю. Є., Цикало А.Л., Косой Ю. І.* 114

ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИЙ АНАЛІЗ НЕОБХІДНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЛЕЖНОГО РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ *Бойченко М., Вовк О. О.*.....115

ЗНЕПИЛЮВАННЯ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ У ДВОКОНТУРНІЙ КОМБІНОВАНІЙ СИСТЕМІ ОЧИЩЕННЯ *Бутенко А.Г., Арсірій В.А., Смик С. Ю.*.....116

ВИЗНАЧЕННЯ РТУТНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА ЗАЛЕЖНО ВІД МІСЦЬ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ *Дмитруха Т.І., Петрусенко В.П.*.....118

ВИКОРИСТАННЯ ВОДОРОСТЕЙ ДЛЯ ДООЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД *Свіржевський О., Кіріяк А.В.* 119

СМІТТЯ АТАКУЄ ОДЕСУ? ВІДСОРТУЄМО ЙОГО! *Крусір Г.В., Поліщук І.С.* 120

МЕДИЦИНСКИЕ ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОГО СЕКТОРА АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ УКРАИНЫ *Панченко Т.И., Сафранов Т.А.* 122

КІНЕТИКА АБСОРБЦІЇ ОКСИДІВ СІРКИ З ТОПКОВИХ ГАЗІВ ЛУЖНИМИ ВИРОБНИЧИМИ СТОКАМИ *Цейтлін М.А., Райко В.Ф.* 124

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД В УКРАЇНІ *Шаманський С. Й., Бойченко С. В.* 126

ШЛЯХИ ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЗНЕВОДНЕННЯ ТОНКОДИСПЕРСНИХ ШЛАМІВ *Шкоп А. А., Шестопалов О. В.* 127

ВРАХУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ВПЛИВУ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ: ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД *Безвербна О.В., аспірант, Білик Т.І.* 129

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ҐРУНТІВ ПРИ ЗАХОРОНЕННІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ *Березюк О. В., Березюк Л. Л.* 130

ЗАБРУДНЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ СПОЛУКАМИ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ *Бойко В.В., Кіріяк А.В.* 132

ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ЗДІЙСНЕННЯ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ *Бойченко С.В., д.т.н., проф., Зеленська О.С.* 133

СУЧАСНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАВКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТОРУ, ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ *Борщова О.В.* 134

СОПУТНИКОВЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ЯК СУЧАСНИЙ МЕТОД ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ *Кіріяк Г.В., Носенко К.В.* 135

ПРОБЛЕМИ СВІТОВОГО ОКЕАНУ *Артюхова А., Лиходід Н., Кіріяк Г.В.* 137

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИСНИХ СПОРУД *Короткевич М.І., Шевченко Р.* 138

БІОТЕХНОЛОГІЧНА УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ – ЕКОЛОГІЧНИЙ МЕТОД ТА ВИРІШЕННЯ ГЛОБАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ ЛЮДСТВА *Крусір Г.В., Вітюніна Ю.І.* 140

КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ПОТОЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОЧИСНИХ СПОРУД ПІДПРИЄМСТВ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ *Маджд С.М.* 141

ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД НАФТОПРОДУКТАМИ ТА ШЛЯХИ ЙОГО ЗНИЖЕННЯ *Січевий О. В., Левицька О. Г.* 143

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕКОЛОГІЇ *Солошенко С. Ю., Кіріяк А. В.* 143

ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН МЕГАПОЛІСІВ СВІТУ ТА НАЙВАЖЛИВІШІ ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЦЕЙ СТАН *Фундамент А.В., Цикало А.Л.* 144

ПРО ЗАЛЕЖНІСТЬ ІМОВІРНОСТІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, АВАРІЙ ТА КАТАСТРОФ ВІД ВАЖКОСТІ ЇХНІХ НАСЛІДКІВ ТА ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, СИСТЕМ ТА ОБЛАДНАННЯ *Цикало А. Л., Клошка Н. В.* 145

ПРО УРАХУВАННЯ ФАКТОРІВ РИЗИКУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ,АВАРІЙ ТА КАТАСТРОФ ПРИ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОМУ АНАЛІЗІ ПОВНОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ *Цикало А. Л., Погольша К. В.* 146

АНАЛІЗ МЕТОДІВ УТИЛІЗАЦІЇ ХАРЧОВОЇ УПАКОВКИ *Пашняк А.В., Михайлова Н.Г.,Кіріяк Г.В.* 146

ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ВІКОННИХ КОНСТРУКЦІЙ *Басок Б.І., Гончарук С.М., Кужель Л.М.* 148

SEVEN STEPS THE MIPS *Butenko D., Shevchenko R.*.....149

ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ *Дзвоник М.О.*.....152

LIFE CYCLE ASSESSMENT PHOTOVOLTAIC PANELS *Krestinkov I., Borsh K.*.....154

ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОЛОГІЧНІЙ СКЛАДОВІЙ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ *Муріна О.В., Соколов Є.В.*.....156

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ LCA В ЕКОЛОГІЧНОМУ УПРАВЛІННІ *Шевченко Р.І., Губіна В.Ю.*.....158

LIFE CYCLE ASSESSMENT DAIRY INDUSTRY *Shevchenko Roman, Ph.D, Tolmachenko Anna*.....161

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF THE NEW GENERATION GAS-TURBINE MODULAR HIGH-TEMPERAURE NUCLEAR POWER PLANT *Paul Koltun*.....164

ПІДПРИЄМСТВА ГАЛУЗІ ХЛІБОПРОДУКТІВ – ДЖЕРЕЛА ВПЛИВУ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ І ШЛЯХИ ЙОГО ЗМЕНШЕННЯ *Зацерклянний М.М.*.....165

ВИКОРИСТАННЯ АЕРОБНИХ ДИСКОВИХ БІОФІЛЬТРІВ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ДОМІШОК *Зацерклянний М.М., Столевич Т.Б., Зацерклянний О.М.*.....169

ПОВОДЖЕННЯ З ПИЛОВИДНИМИ ВІДХОДАМИ ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ *Шостік Д.І., Зацерклянний М.М.*.....170

ПРІОРИТЕТНИЙ ЕЛЕМЕНТ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ НАФТОХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА *Столевич Т.Б.*.....171

БАЗОВІ ПРИЧИНИ НЕДОСКОНАЛОСТІ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА МУНІЦИПАЛЬНОМУ РІВНІ *Бахарєв В.С.*.....172

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПАЛИВНОГО ГОСПОДАРСТВА ТЕС ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЗАКРИТОЇ СИСТЕМИ АСПІРАЦІЇ *Карамушко А. В. Буров О. О.*.....173

СЕКЦІЯ 5
Енергетичні та екологічні проблеми теплоенергетики та енергомашинобудування. Енергетичні та екологічні проблеми харчової промисловості Оптимальне управління процесами в теплоенергетиці і енергомашинобудуванні.....175

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПАЛИВНОГО ГОСПОДАРСТВА ТЕС ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЗАКРИТОЇ СИСТЕМИ АСПІРАЦІЇ *КАРАМУШко А. В., Буров О. О.*.....176

УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОУСТАНОВОК Смирнова В.А., Арсирий А.Н.....177

ВПЛИВ МІНЛИВОСТІ ПОГОДНО-КЛІМАТИЧНОГО ЧИННИКА НА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСЕРГЕТИЧНОЇ ОЦІНКИ СИСТЕМ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ *Волощук В.А.*.....179

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ *Кіріяк Г.В., Арнаут О. І.*.....181

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЭЖЕКТОРЕ *Когут В. Е., Бушманов В. М., Бутовский Е. Д.,Хмельнюк М. Г.*.....182

ТЕПЛОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ ВЗРЫВОВ В ПРОЦЕССЕ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ НА АЭС С ВВЭР *Козлов И.Л., Скалозубов В.И.*.....184

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДЕЯКИХ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ *Геллер В.З., Крайносвіт М.С., Юшкевич А.В.*.....187

СНИЖЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ *Мазур В.А., Петренко М. А.*.....188

ТЕПЛОФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ПОРИСТОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ *Павленко А.М., Шумська Л.П.*.....191

ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОГРАМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В АЕРОПОРТАХ *Радомська М.М., Черняк Л.М., Самсонюк О.В.*.....197

ЕКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОВОГО ВОДОТРУБНОГО КОТЛА ДКВР – 10/14 *Редько А.О., Давіденко А.В.* 199

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ С КОМПОЗИЦИОННЫМИ КАПИЛЛЯРНЫМИ СТРУКТУРАМИ *Шаповал А.А, Стрельцова Ю.В.* 201

РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗМОРОЖУВАННЯ М'ЯСА В ТУШАХ, ПІВТУШАХ ТА ЧЕТВЕРТИНАХ *Желіба Ю.О., Желіба Т.О.* 204

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ *Кифоренко В. Є., Кіріяк Г.В.* 205

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ВИРОБНИЦТВА *Коваль В.Г.* 207

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ КАМЕРАХ *Лисица А. Ю., Петухов И. И., Михайленко Т. П., Немченко Д. А.* 208

РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЛЬОДОАКАМУЛЯТОРІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ТА ПЛАВЛЕННЯ ЛЬОДУ *Пилипенко О.Ю., Засядько Я.І., Форсюк А.В., Грищенко Р.В.* 210

ВИМОГИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО АПАРАТА ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ МОЛОКА *Постнов Г.М., Червоний В.М., Шипко Г.М.* 211

ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯМ БУДІВЛІ *Басок Б.І., Давиденко Б.В., Лисенко О.М.* 213

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА *Жихарєва Н. В.* 216

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ УСТАНОВКИ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ НАСОСОВ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК *Скалозубов В.И., Чжоу Хуиюй* 219

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛОВ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ *Озолин Н.Е., Титлов А.С., Краснопольский А.Н.* 225

НОВЫЕ СХЕМЫ АБСОРБЦИОННЫХ ВОДОАММИАЧНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ РАБОТЫ В СИСТЕМАХ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА *Осадчук Е.А., Васылив О.Б., Кирилов В.Х., Мазуренко С.Ю.* 238

МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ЗЕРНА МЕЛКОСЕМЕННЫХ КУЛЬТУР *Петушенко С.Н., Олейник Е.В.* 241

РАЗРАБОТОК ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АБСОРБЦИОННЫМИ ХОЛОДИЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ (АХП) *Титлова О.А., Ольшевская О.В.* 243

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ХОЛОДА НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПРИРОДНОГО ГАЗА *Титлов А.С., Дьяченко Т.В., Артюх В.Н., Альсаид Хекмат* 247

ЗАСТОСУВАННЯ ПОБУТОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ, НАПІВФАБРИКАТІВ І СИРОВИНИ *Тітлов О.С., Приймак В.Г.* 247

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН *Мазуренко С.Ю., Озолин Н.Е., Савинков П.В.* 249

АНАЛІЗ МЕТОДІВ НАДКРИТИЧНОЇ ФЛЮЇДНОЇ ЕКСТРАКЦІЇ *Лук'янова О.С., Бошкова І.Л.* 250

ПРИМЕНЕНИЕ ВПРЫСКА ПЕРЕГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ В ТЕРМОПРЕССОРНОЙ СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА ДВС *Коновалов Д.В., Кобалава Г.А.* 253

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПРЕССИИ В СИСТЕМЕ ТУРБОНАДДУВА СРЕДНЕОБОРОТНЫХ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ *Коновалов Д.В., Джуринская А.А.* 255

ТЕНДЕНЦІЇ ЕКСПОРТУ, ІМПОРТУ СПГ У СВІТІ *Дьяченко Т.В., Артюх В.М.* 257

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ СНИЖЕНИЯ КОНТАКТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРА И ПЛОСКОСТИ *Титлов А.С., Двирный В.В.* 260

РОЗРОБКА СУДНОВИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ НА БАЗІ МОДУЛЬНИХ АБСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ АГРЕГАТІВ *Редунов Г.М., Гожелов Д.П., Тимофєєв І.В., Мазуренко С.Ю.* 261

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТРАНСФОРМАЦИИ СБРОСНОГО ТЕПЛА ГПД СОВМЕСТНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН И ДВУХПОТОЧНОЙ ПОДАЧИ ОБРАТНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ *Остапенко А.В.*.....266

ОСОБЕННОСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА МАШИННОГО ЗАЛА ТРИГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ *Грич А.В.*.....268

СТУПЕНЧАТАЯ СИСТЕМА ЗОНАЛЬНОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ МАШИННОГО ОТДЕЛЕНИЯ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ С ТРАНСФОРМАЦИЕЙ СБРОСНОЙ ТЕПЛОТЫ КАСКАДНОЙ АБСОРБЦИОННО-ПАРОКОМПРЕССОРНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНОЙ *Радченко А.Н., Грич А.В.* 271

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ЕЛЕКТРОННОЮ СКЛАДОВОЮ МУНІЦИПАЛЬНИХ ВІДХОДІВ *Бучка А. В., Шаніна Т. П.* 273

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ВАКУУМНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПЛОДІВ ЧЕРЕШНІ *Ломейко О.П., Єфіменко Л.В.* 276

ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ *Волчок В.О.*.....279

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПО ТОПЛИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА НОМИНАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА *Радченко А.Н., Коновалов А.В.*.....281

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ТОПЛИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ЧАСТИЧНЫХ НАГРУЗКАХ *Радченко А.Н., Коновалов А.В.* 289

СЕКЦІЯ 6
Інтелектуальні мережі в енергетиці і холодильній техніці. Інформаційні технології в енергетиці.....293

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТАНОВОК *Бодюл С.В., Сухоруков А.А.* 294

РОЛЬ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ГАЛУЗІ ЕНЕРГЕТИКИ *Болтач С.В.*.....297

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ «ОДЕСАОБЛЕНЕРГО» *Кржевицький В.С., Попков Д.М.*.....298

INFORMATION TECHNOLOGY APPLICATION TO REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING SYSTEMS *Olga V. Olshevska.*.....299

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ *Сиромля С.Г.* 301

ПБОНАХТ

НТБ ОНАХТ

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ім В.С. МАРТИНОВСЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА НАФТОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МАТЕРІАЛИ

XVI Всеукраїнської

науково-технічної конференції

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕКОЛОГІЇ

5-7 жовтня 2016 року, м. Одеса

НТБ ОНАХТ

Підписано до друку 28.09.2016 р.
Формат 60х84/8. Папір Офс.
Ум. арк. 34,64 . Наклад 300 примірників.

Видання та друк: ФОП Грінь Д.С.,
73033, м. Херсон, а/с 15
e-mail: dimg@meta.ua
Свід. ДК № 4094 від 17.06.2011