

**ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ ТА  
ЕКОЕНЕРГЕТИКИ імені В.С. МАРТИНОВСЬКОГО**

## **МАТЕРІАЛИ**

**XXIII Всеукраїнської науково-  
технічної конференції**

# **АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕКОЛОГІЇ**

3-4 жовтня 2024 року, м. Одеса



**ОДЕСА 2024**

## СКЛАД ОРГКОМІТЕТУ КОНФЕРЕНЦІЇ

### Співголови

**Богдан ЄГОРОВ** – д.т.н., професор, президент Одеського національного технологічного університету

**Надія ДЕЦ** – к.т.н., доцент, в.о. ректора ОНТУ

**Ольга ОЛЬШЕВСЬКА** – к.т.н., доцент, проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків ОНТУ

**Борис КОСОЙ** – д.т.н., професор, директор Навчально-наукового інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики імені В.С. Мартиновського ОНТУ

### Члени оргкомітету

**Гаркович О.Л.** – к.б.н., доцент, завідувач кафедри Екології, води та природоохоронних технологій.

**Тітлов О.С.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри Нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики.

**Семенюк Ю.В.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри Екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології.

Відповідальний за випуск: Гаркович О.Л., завідувач кафедри екології, води та природоохоронних технологій

Мова видання: українська, англійська

Матеріали, занесені до збірника, друкуються за авторськими оригіналами.  
За достовірність інформації відповідає автор публікації

Одеський національний технологічний  
університет  
Навчально-науковий інститут холоду,  
кріотехнологій та екоенергетики імені  
В.С. Мартиновського

## СЕКЦІЯ 1 «АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ»

Керівники секції: д.т.н., проф. Тітлов О.С.; д.т.н., проф. Железний В.П.

УДК 629.06

### УДОСКОНАЛЕННЯ СХЕМНИХ РІШЕНЬ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Яковлев Ю.О.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, Клименко В.В.<sup>2</sup>, д.т.н., професор,  
Яковлева О.Ю.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, Гайдаржи В.Є.<sup>2</sup>, аспірант

<sup>1</sup>Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

<sup>2</sup>Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

Близько 55% населення світу проживає в міських районах, і прогнози вказують на зростання до 68% до 2050. Відповідно, очікується, що кількість автомобілів, що працюють у містах, зростатиме разом із зростанням міського населення. Збільшення кількості автомобілів, що використовуються для поїздок населення, призвело до необхідності використання кондиціонерів у транспортних засобах для забезпечення комфорту людини [1].

Системи кондиціювання повітря у транспортних засобах, включаючи легкові автомобілі та комерційний транспорт, значно впливають на світове споживання нафти та викиди парникових газів. За даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), ці системи припадає понад 1,5 % світового споживання нафти, у своїй 6 % автомобільної енергії виділяється на автомобільне кондиціювання повітря [2].

Основними елементами холодильної машини автомобільного кондиціонера (АК) є компресор, конденсатор, розширювальний клапан, ресивер/осушувач та випарник. Для створення комфортних умов у салоні автомобіля використовується енергія з валу двигуна або від акумулятора автомобіля.

Технологія парокompресійного охолодження давно використовується в автомобільних системах кондиціювання повітря, а більшість компресорів мають механічний привід від колінвала двигуна.

Компресори постійного обертання з'єднані з колінвалом через шків і починають працювати одночасно з ним. Поки потреби в кондиціонері не має, компресор кондиціонера працює вхолосту і тільки при включенні кондиціонера в роботу він починає перекачувати холодоагент.

Компресори непостійного обертання з'єднуються з колінвалом через шків за допомогою соленоїда (електромагнітної муфти), який спрацьовує при включенні кондиціонера і тільки тоді запускає компресор.

Привід компресора від колінвалу забирає у двигуна приблизно від 1,1 до 11 кВт залежно від моделі компресора та потужності самого двигуна. Дослідження показали, що у спекотний період року при роботі АК витрати палива у звичайних транспортних засобах із двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) потенційно можуть збільшитися  $\approx$  на 30%.

В електромобілях (ЕМ) система кондиювання повітря працює за такою ж схемою, як і в автомобілях з ДВЗ, але, крім охолодження повітря в салоні, вона ще

забезпечує регулювання температурного режиму високовольтної батареї (захищає від перегріву).

Системи кондиціонування повітря мають найвище енергоспоживання серед допоміжних компонентів електромобілів. Єдиною доступною енергією для руху електромобілів є електрична енергія, що зберігається в акумуляторній батареї, тому будь-яке додаткове споживання енергії передбачає скорочення запасу ходу ЕМ. Привід компресора кондиціонера здійснюється від електродвигуна, що споживає під час максимальних навантажень 1,5-2 кВт-год, у мінімальному режимі – від 400 до 750 Вт-год заряду батареї. Оскільки середня витрата заряду в змішаному циклі ?? становить близько 20 кВт-год на 100 км, то втрата 1,5-2 кВт-год для електромобіля з робочою високовольтною батареєю не буде критичною.

Взимку тепло, що виділяється при згорянні палива в ДВЗ і відводиться з контуру охолодження двигуна, може бути використане для обігріву салону. Процес є економічним і простим та може здійснюватися доти, доки працює двигун внутрішнього згорання. Він не вимагає додаткового палива та не збільшує витрату палива.

Що стосується електромобілів, то обігрів салону за допомогою терісторного опалення потребує значної кількості енергії, що призводить до скорочення запасу ходу. На відміну від транспортних засобів з ДВЗ, ЕМ неминуче залежить від додаткової витрати електроенергії акумуляторної батареї автомобіля, яка може становити до 65 % за різних умов експлуатації.

Зниження запасу ходу взимку – основний недолік електромобілів. Ефективним рішенням цієї проблеми може бути застосування АК, що працює за схемою теплового насоса [3]. Були проведені експериментальні випробування, коли для обігріву салону в холодну пору використовували кондиціонер, що працює в режимі теплового насоса. В результаті отримано зниження енергоспоживання до 60% порівняно з використанням терісторного опалення та збільшення запасу ходу електромобіля приблизно до 25%. Однак потрібно прийняти до уваги, що теплові насоси традиційних конструкцій не можуть ефективно працювати за температури навколишнього середовища нижче -10 °С. Таким чином, основним технічним рішенням автомобільних компаній, як і раніше, є спільне використання теплових насосів та терісторного опалення.

Альтернативою парокompресійних систем є абсорбційна система охолодження (АСО), в якій компресор парокompресійного циклу замінений абсорбером, генератором та насосом, що їх з'єднує.

Перевагою АСО є безшумна робота, простота обслуговування, відсутність частин, що рухаються. Впровадження абсорбційного охолодження з використанням відпрацьованого низькопотенційного тепла ДВЗ може призвести до зменшення витрати масла, спрощення обслуговування автомобілів, зменшення шкідливих викидів та рівня забруднення. Однак існуючі транспортні системи абсорбційного охолодження важкі та громіздкі, мають обмежену потужність для охолодження салону автомобіля, низький коефіцієнт перетворення теплоти. Ці недоліки обмежують використання АСО в транспортних системах і для їх усунення необхідні подальші дослідження в цій області.

В автомобілях з ДВЗ система кондиціонування працює лише під час роботи двигуна. Коли автомобіль тривалий час знаходиться на стоянці, то АК не працює і не забезпечує комфортні умови у салоні для людей.

Намагання реалізувати схему приводу компресора кондиціонера від електродвигуна успіху не мали. АК міг функціонувати не більше 15 хвилин після зупинки двигуна через високу споживану потужність і малий заряд автомобільного акумулятора.

Забезпечити прохолоду в салоні можна при використанні для охолодження повітря акумулятор холоду фазового переходу, наприклад, газогідратний, у якого прихована теплота фазового переходу незначно поступається водному льоду. Під час роботи АК акумулятор холоду заряджається, шляхом утворення газогідратів, а при зупинці двигуна газогідрати плавлять і теплоту плавлення використовують для охолодження повітря.

Вбудований вентилятор потужністю 10-15 Вт забезпечує циркуляцію повітря через акумулятор холоду, що дозволяє підтримувати прийнятну температуру в салоні.

Система АК з акумулятором холоду є автономною, енергоефективною і не потребує складного обслуговування.

### Інформаційні джерела

1. Peyman Gholamali Zadeh, Jae Dong Chung. Exploring adsorption refrigeration for automobile air-conditioning: A comprehensive review. Applied Thermal Engineering. V.241, 15 March 2024, 122390.

2. S. Vashisht, D. Rakshit. Recent advances and sustainable solutions in automobile air conditioning systems. J. Clean. Prod. V. 329, 20 December 2021, 129754.

3. Halil Bayram, Gökhan Sevilgen, Muhsin Kılıç. Advances on heat pump applications for electric vehicles. Advances in Automotive Engineering, Vol. 1, No. 1 (2018) 79-104.

УДК 643.336547.128

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ДИСИПАЦІЇ ПРИ ТЕЧІЇ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИН В КАНАЛАХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ

Петренко О.В.<sup>1</sup>, к.т.н, доцент, Білецький Е.В.<sup>2</sup>, д.т.н, професор

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
м. Харків

<sup>2</sup>Державний біотехнологічний університет, м. Харків

Сучасні системи охолодження та кондиціонування є складними комплексами, які поєднують в собі охолоджуючі пристрої (випарники, теплообмінники без фазових перетворень), насосне відділення в схемах з проміжним холодоносієм, компресорне обладнання, конденсатори, допоміжне обладнання та апарати, а також систему трубопроводів з регулюючою та запірною арматурою, що сполучає окремі елементи системи. Це досить складні системи з декількома температурами кипіння, різного схемного виконання (безпосереднього охолодження і з проміжним холодоносієм) [1]. Всі трубопроводи мають переважно циліндричну або призматичну форму каналів, тому в більшості випадків рух рідин в них рівномірний. Кожний складний трубопровід можна розглядати як сукупність каналів простих трубопроводів, з'єднаних між собою послідовно, паралельно або змішано [2]. Відомо, що при течії неньютонівських рідин з великою в'язкістю в прямому каналі, частина енергії перетворюється в дисипативне тепло [3, 4]. Клас неньютонівських рідин дуже широкий. До нього входять різні середовища, які мають деякий ступінь пружності, їхня внутрішня енергія може залежати від деформацій; а рівняння стану містить незалежні кінематичні параметри. Визначення величини дисипації дозволить підбирати різноманітне обладнання систем охолодження та кондиціонування з оптимальним запасом потужності, що призведе до енерго-ресурсозбереження.

Авторами в даній роботі запропонована методика визначення енергії дисипації при течії неньютонівських рідин в каналах різної геометрії.

Розглянемо визначення енергії дисипації для плоскої поздовжньої течії неньютонівської рідини в каналах систем охолодження та кондиціонування.

В плоскій поздовжній течії, дисипацію породжує тільки один доданок  $(\partial v_y / \partial y)^2$ . Величина дисипації, що доводиться на перетин плоского каналу, дорівнює:

$$\dot{E} \equiv \iint \left( \frac{\partial v_z}{\partial y} \right)^2 ds = \iint \left( \frac{\partial v_z^+}{\partial y} \right)^2 ds_y^+ + \iint \left( \frac{\partial v_z^-}{\partial y} \right)^2 ds_y^- . \quad (1)$$

Якщо, підставити вираз для  $v_z^\pm(y)$  з формул для  $v_z^\pm$ , то можна прийти до таких інтегралів:

$$\frac{\dot{E}}{\mu} = \frac{1}{h} \int_{-1}^{\gamma^-} d\xi_y (2a_z^- \xi_y + b_z^-)^2 + \frac{1}{h} \int_{\gamma^+}^1 d\xi_y (2a_z^+ \xi_y + b_z^+)^2 . \quad (2)$$

Остаточний результат для величини  $\dot{E}/\mu$  виглядає в такому чині:

$$\frac{\dot{E}}{\mu} = \frac{1}{h} \left\{ \left[ \frac{4}{3} (a_z^+)^2 (1 - \gamma^+)^3 - \frac{4}{3} (a_z^-)^2 (1 + \gamma^-)^3 \right] + \left[ 2a_z^+ b_z^+ (1 - \gamma^+)^2 + 2a_z^- b_z^- (1 + \gamma^-)^2 \right] + \left[ (b_z^+)^2 (1 - \gamma^+) - (b_z^-)^2 (1 + \gamma^-) \right] \right\} \quad (3)$$

Враховуючи вище отримані рівняння, треба прийняти до уваги що алгоритм обчислення енергії дисипації для плоскої поздовжньо-поперечної течії базується на використанні алгоритму обчислення енергії дисипації для плоскої поздовжньої течії.

Розглянемо визначення енергії дисипації для плоскої поздовжньо-поперечної течії неньютонівської рідини в каналах систем охолодження та кондиціонування.

В цьому випадку додається два доданки:  $(\partial v_z^\pm / \partial y)^2$  і  $(\partial v_y^\pm / \partial y)^2$ . Вони обчислюються так само, як і для плоскої поздовжньої течії. Кінцевий результат виглядає наступним чином:

$$\frac{\dot{E}}{\mu} = \frac{\dot{E}_z}{\mu} + \frac{\dot{E}_x}{\mu} ; \quad (4)$$

$$\frac{\dot{E}_z}{\mu} = \frac{1}{h} \left\{ \left[ \frac{4}{3} (a_z^+)^2 (1 - \gamma_y^+)^3 - \frac{4}{3} (a_z^-)^2 (1 + \gamma_y^-)^3 \right] + \left[ 2a_z^+ b_z^+ (1 - \gamma_y^+)^2 + 2a_z^- b_z^- (1 + \gamma_y^-)^2 \right] + \left[ (b_z^+)^2 (1 - \gamma_y^+) - (b_z^-)^2 (1 + \gamma_y^-) \right] \right\} \quad (5)$$

$$\frac{\dot{E}_y}{\mu} = \frac{1}{h} \left\{ \left[ \frac{4}{3} (a_x^+)^2 (1 - \gamma_{yx}^+)^3 - \frac{4}{3} (a_x^-)^2 (1 + \gamma_{yx}^-)^3 \right] + \left[ 2a_x^+ b_x^+ (1 - \gamma_{yx}^+)^2 + 2a_x^- b_x^- (1 + \gamma_{yx}^-)^2 \right] + \left[ (b_x^+)^2 (1 - \gamma_{yx}^+) - (b_x^-)^2 (1 + \gamma_{yx}^-) \right] \right\} \quad (6)$$

Розглянемо визначення енергії дисипації для прямокутної поздовжньої течії неньютонівської рідини в каналах систем охолодження та кондиціонування. У цьому випадку величина дисипації є сумою чотирьох доданків наступного вигляду:

$$\frac{\dot{E}}{\mu} = \iint ds_y^+ \left( \frac{\partial v_z^+}{\partial y} \right)^2 + \iint ds_x^+ \left( \frac{\partial v_z^+}{\partial x} \right)^2 + \iint ds_x^- \left( \frac{\partial v_z^-}{\partial x} \right)^2 . \quad (7)$$

Запропонована методика дозволяє проводити обчислення енергії дисипації при поздовжньому та поздовжньо-поперечному напрямках течії неньютонівських рідин в каналах систем охолодження та кондиціонування. Для обчислення величини енергії дисипації неньютонівських рідин попередньо необхідно провести розбивку перетинів каналів на відповідні ділянки з різними виразами для швидкості течії. Розбивка прямокутника перетину прямого каналу та обчислення інтегралів від похідних швидкості є обов'язковими етапами розрахунків. Неньютонівська рідина має текучість за всім перетином каналу, тому й дисипація відбувається за всім перетином каналу. При інтегруванні похідних швидкості неньютонівських рідин потрібно виконати певні перетворення, які наведено в роботі [5].

Запропонована методика дозволяє обчислювати енергію дисипативного тепловиділення при розрахунку оптимальних параметрів систем охолодження та

кондиціонування, що призводить до нової якості проектування в напрямку зниження питомих енерговитрат і матеріалоємності.

### Інформаційні джерела

1. Семенюк Д.П., Петренко О.В. Холодильне обладнання : підручник. Харків: Світ книг, 2021. 633 с.
2. Тітлов О.С., Горикін С.Ф. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості: Навчальний посібник. Львів: Новий світ-2000, 2012. 286 с.
3. M. Letelier, F.N. Zapata, D.A. Siginer, J.S. Stockle, [Analysis of Secondary Flows and Heat Transfer in Viscoelastic Flow with Viscous Dissipation in Non-Circular Tubes]. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, November 2012, Houston, Texas, USA.
4. Shahbani-Zahiri, A. (2018) "Numerical simulation of inertial flow of heated and cooled viscoelastic fluids inside a planar sudden expansion channel: investigation of stresses effects on the total dissipation.", 2018, *Meccanica* 53.11-12: 2897-2920.
5. Biletsky E.V., Petrenko E.V., Semeniuk D.P. Method for calculating the dissipation energy during the flow of generalized-displaced fluid in the channels of technological equipment // *Journal of Chemistry and Technologies*. – Dnipro: DNU, 2023. – Vol. 31(2). – P. 376-384.

УДК 536.248.2

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ТА РЕЖИМІВ КИПІННЯ ХОЛОДАГЕНТУ R1233zd(E) В ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ТРУБІ

**Борисов В.О., аспірант, Івченко Д.О., к.т.н., Желєзний В.П., д.т.н., професор  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса**

Сучасні тенденції розвитку енергетики в Україні, зумовлені економічною ситуацією, особливостями заселення території та кліматичними умовами країни, визначають актуальність використання енергоресурсів низького потенціалу з метою отримання електричної та теплової енергії. Накопичений зарубіжний досвід вказує на можливе широке застосування установок, що використовують органічний цикл Ренкіна (ОЦР), для вирішення завдань перетворення низькопотенційних енергоресурсів в електричну енергію [1-5]. Причому найперспективнішим напрямом застосування цих установок є завдання підвищення енергетичної ефективності альтернативної енергетики [1].

Доцільність застосування установок, що використовують ОЦР, значною мірою залежить від вибору робочого тіла, даних про його теплофізичні та екологічні властивості, а також інформації про коефіцієнти тепловіддачі та режими кипіння в генераторі пари. Наведений у роботах [1-5] аналіз властивостей потенційно перспективних робочих тіл для установок, які реалізують ОЦР, показує, що до них належить і холодоагент R1233zd(E).

Інформація про коефіцієнти тепловіддачі та про структури режимів кипіння R1233zd(E), має важливе значення в задачах моделювання процесів теплообміну у випарниках високотемпературних кондиціонерів, а також, генераторах пари енергетичних установок, які реалізують органічний цикл Ренкіна [1-5].

Для отримання інформації про процеси кипіння робочої рідини в парогенераторі було створено експериментальну установку для дослідження локальних коефіцієнтів тепловіддачі, гідравлічних втрат, а також для спостереження за трансформацією режимів

кипіння робочої рідини при різних значеннях теплового навантаження, витрати та якості пари робочої рідини.

У розробленій експериментальній установці [6] для подачі робочої рідини до робочої зони використовується термокомпресорний контур руху холодоагенту R1233zd(E) в генераторі пари (труба з внутрішнім діаметром 5 мм і довжиною 1870 мм). Створена експериментальна установка має низку особливостей проти наявними у літературі аналогами. До її переваг можна віднести високу універсальність при вирішенні комплексних завдань вивчення режимів кипіння робочого тіла, вимірювання локальних (для рідини та пари) та локальних коефіцієнтів тепловіддачі у різних секціях робочої ділянки, а також середніх за довжиною випарника коефіцієнтів тепловіддачі.

На даній установці проведено серію експериментів у діапазонах параметрів: питомий тепловий потік 1024...4071 Вт/м<sup>2</sup>, витрата холодоагенту 0.011...1.780 г/с. Залежність локальних (для рідини і пари) коефіцієнтів тепловіддачі за питомого теплового потоку  $q = 3520$  Вт/м<sup>2</sup> показані на рисунках 1 та 2.

У процесі виконання досліджень локальних (для рідини та пари) та середніх за перерізом труби коефіцієнтів тепловіддачі проводилася візуальна фіксація трансформації режимів кипіння робочого тіла.

Отримані результати експериментального дослідження локальних коефіцієнтів тепловіддачі холодоагенту R1233zd(E) дозволили вивчити вплив ступеня сухості пари та витрати холодоагенту на локальні коефіцієнти тепловіддачі при кипінні робочого тіла в трубі. Досліджено процеси теплообміну при розшарованому режимі кипіння робочого тіла. У результаті проведених досліджень отримано нові дані про локальні та середні за перерізом у трубі коефіцієнти тепловіддачі при кипінні холодоагенту R1233zd(E) в генераторі пари.

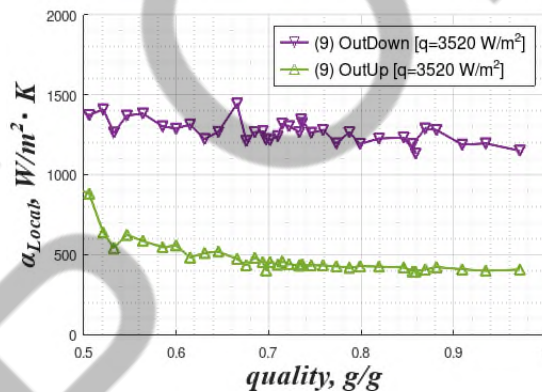


Рисунок 1 – Залежність локальних (для рідини і пари) коефіцієнтів тепловіддачі від ступеня сухості пари за питомого теплового потоку  $q = 3520$  Вт/м<sup>2</sup> і змінної витрати холодоагенту

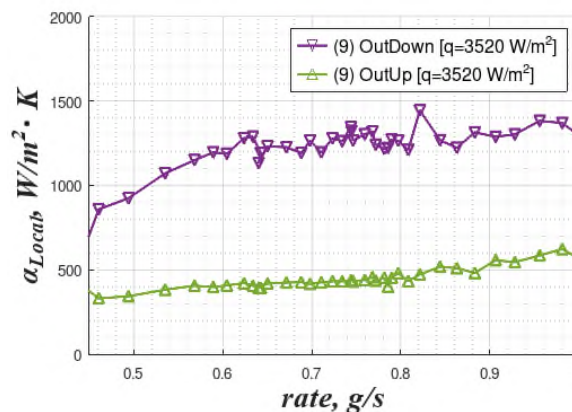


Рисунок 2 – Залежність локальних (для рідини і пари) коефіцієнтів тепловіддачі від витрати холодоагенту за питомого теплового потоку  $q = 3520$  Вт/м<sup>2</sup>

**Інформаційні джерела**

1. Quoilin S., Van Den Broek M., Declaye S., Dewallef P., Lemort V. Technoeconomic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems. *Renewable a Sustainable Energy Rewiews*, 2013, vol. 22, pp. 168–186.
2. Saleh B., Koglbauer G., Wendland M., Fischer J. Working fluids for lowtemperature organic Rankine cycles // *Energy*. 2007. Vol. 32. № 7. P. 1210–1221.
3. Bao J. J.; Zhao L., Zhang W. Z. A novel auto-cascade low-temperature solar Rankine cycle system for power generation // *Solar Energy*. 2011. Vol. 85. № 11. P.2710–2719.
4. Wang D., Ling X., Peng H., Liu L., Tao L. Efficiency and optimal performance evaluation of organic Rankine cycle for low grade waste heat power generation // *Energy*.2013. Vol. 50. P. 343–352.
5. Angelino G., Colonna di Paliano P. Multicomponent working fluids fororganic rankine cycles (ORCs) // *Energy*. 1998. Vol. 23. № 6. P. 449–463
6. Zhelezny, V.P., Zheliba, Y.O., Ivchenko, D.O., Borisov, V.O., Shumskii, O.A., Kantor, S.A. “Experimental study of local heat transfer coefficients during the generation of R245fa steam in a model steam generator.” *Refrigeration Engineering and Energy Technologies*, 2024, Vol. 60, No. 3.

**УДК 543.424:544.7****ВПЛИВ ДОМІШОК ФУЛЕРЕНА C<sub>60</sub> НА СЕЛЕКТИВНІ КОЕФІЦІЄНТИ ПОГЛИНАННЯ СВІТЛА В ТЕХНІЧНИХ РІДИНАХ****Борисов В.О., аспірант, Квасницький Б.А., аспірант, Шумський О.А., аспірант  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса**

За останні роки нанотехнології стали одним із напрямів підвищення енергетичної ефективності обладнання в різних галузях промисловості, який розвивається найшвидше. Присутність наночастинок у теплоносіях і робочих тілах сприяє збільшенню інтенсивності теплообміну при фазових переходах і конвекції. Домішки наноматеріалів у термоакумулюючих матеріалах з фазовим переходом збільшують температуропровідність і теплоту фазових переходів. Наночастинки різних матеріалів підвищують інтенсивність поглинання світла в теплоносіях сонячних колекторів. Застосування наноматеріалів підвищує показники ефективності парокомпресійних холодильних установок

Однак незважаючи на технологічні та теплофізичні переваги застосування нанофлюїдів в енергетичному обладнанні, широке застосування нанотехнологій стримується проблемою стійкості наноматеріалів під час експлуатації устаткування. У літературі пропонуються різні технології отримання наноматеріалів для забезпечення сидементаційної та агрегативної стійкості [1]. При цьому практично відсутні публікації, присвячені порушенню складу нанофлюїдів унаслідок тривалої експлуатації в обладнанні, під час взаємодії теплоносіїв і робочих тіл із внутрішньою поверхнею трубопроводів, теплообмінних апаратів, насосів і компресорів.

Як об'єкти дослідження використовували такі матеріали: компресорну холодильну олію Suniso 3GS, н-ейкозан і тетралін. У цих базових рідинах розчинявся фулерен C<sub>60</sub>. З метою оцінки залежності оптичних властивостей від концентрації домішок фулерену в рідинах були приготовлені розчини різної концентрації.

З метою контролю зміни складу технічних нанофлюїдів під час експлуатації обладнання може використовуватися метод спектральної спектрофотометрії. Дослідження проведено на спектрофотометрі Ulab102UV. Як рідину порівняння в проведеному

дослідженні використовували чисті зразки оливи, *n*-ейкозану та тетраліну. Термостатування зразків у спектрофотометрі забезпечували завдяки встановленню в кюветному відділенні контейнера з термоакумулювальним матеріалом (парафін/терморозширений графіт [2]). Запропонована схема термостатування оптичних кювет дала змогу проводити термостатування в інтервалі температур 25-50 °С, протягом 6 годин. Температуру зразків вимірювали у мідь-константановій термопарі, яка була встановлена в кюветі (довжина оптичного шляху 3.087), з невизначеністю 0.35 °С.

Результати проведеного дослідження наведено на рисунках 1а -1с. З наведеної на рисунку 1а випливає, що поблизу температури фазового переходу зразків *n*-ейкозан/ $C_{60}$  спектральні коефіцієнти поглинання світла різко збільшують своє значення. Цей ефект є наслідком багаточастинкового розсіювання світла на численних флуктуаціях густини твердої фази, що зароджується, у розчині *n*-ейкозан/ $C_{60}$  за збереження переохолодженої рідкої фази *n*-ейкозану. *n*-ейкозан за температур, нижчих за температуру плавлення, залишається в переохолодженій рідкій фазі, а за подальшого зниження температури реалізується фазовий перехід рідина - ротаційна фаза - кристалічна фаза (триклінна сингонія). Домішки фулерена  $C_{60}$  сприяють підвищенню селективних коефіцієнтів поглинання в рідкій фазі за всіх довжин хвиль. Зі зменшенням довжини хвилі ефект впливу фулерена  $C_{60}$  на значення спектральних коефіцієнтів поглинання стають значнішим.

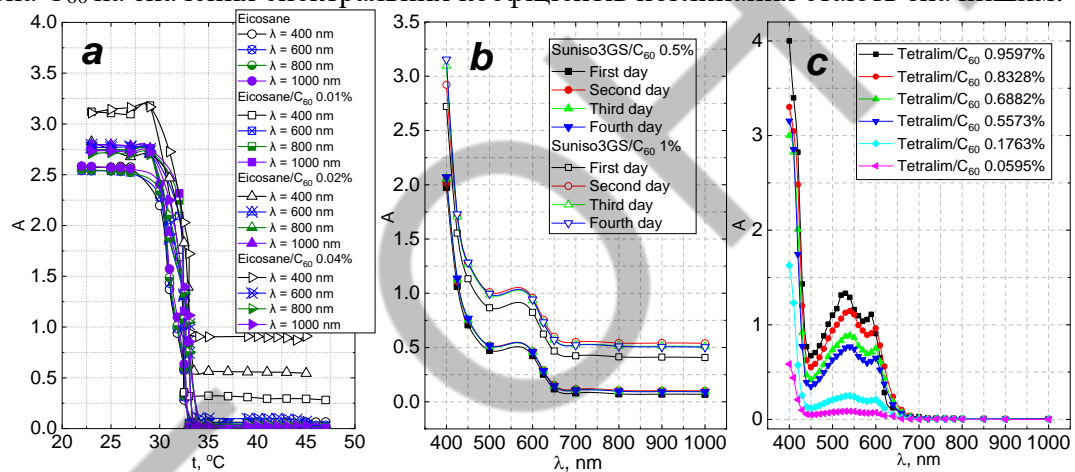


Рисунок 1 – Залежності коефіцієнта поглинання розчинів: а - *n*-ейкозан/ $C_{60}$  за різних концентрацій і довжин хвиль; б - значення коефіцієнта поглинання оливи Suniso 3GS/ $C_{60}$  за різних довжин хвиль протягом 4-х днів; с - значення коефіцієнта поглинання тетраліну/ $C_{60}$  при різних концентраціях залежно від довжин.

Аналіз залежностей спектральних коефіцієнтів поглинання розчинів оливи Suniso 3GS/ $C_{60}$  и тетраліну/ $C_{60}$  від довжини хвилі показує, що вони мають монотонний характер (див. рис. 1б і 1с). Збільшення концентрації фулеренів сприяє збільшенню спектральних коефіцієнтів поглинання. Слід зазначити, що процес розчинення фулеренів і утворення агрегатів має тривалий характер. Наявність точок екстремуму на залежностях спектральних коефіцієнтів поглинання в інтервалі довжин хвиль від 450 до 650 нм вказує на те, що в нанофлюїдах присутні не тільки молекули фулерену  $C_{60}$ , а й агрегати (наночастинки) різних розмірів.

Таким чином, встановлені в результаті проведеного дослідження концентраційні залежності селективних коефіцієнтів поглинання світла відкривають можливості вивчення стійкості різних зразків нанофлюїдів під час їх застосування в енергетичному обладнанні.

## Інформаційні джерела

1. Allan Takudzwa Muzhanje, M.A. Hassan, Shinichi Ookawara, Hamdy Hassan An overview of the preparation and characteristics of phase change materials with nanomaterials/ Journal of Energy Storage 51 (2022) 104353

2. Zhelezny, V., Ivchenko, D., Hlek, Y., Khliyeva, O., & Shestopalov, K. (2024). Experimental study of phase transition heat of composite thermal energy storage materials paraffin wax/expanded graphite. *Journal of Energy Storage*, 77, 110174A

УДК 536.65:543.424:544.7

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОМІШОК ФУЛЕРЕНА C<sub>60</sub> НА КАЛОРИЧНІ ТА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ Н-ЕЙКОЗАНУ В ШИРОКІЙ ОКОЛИЦІ ПАРАМЕТРІВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ

Квасницький Б.А.<sup>1</sup>, аспірант, Івченко Д.О.<sup>1</sup>, к.т.н., Глек Я.О.<sup>2</sup>, PhD

<sup>1</sup>Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

<sup>2</sup>Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса

Нині наноматеріали знаходять дедалі більше застосування в енергетиці як теплоносії, робочі тіла для парокомпресійних холодильних машин і теплоакумуючі матеріали. Опубліковано багато робіт, присвячених моделюванню властивостей нанофлюїдів, у яких досліджувався вплив наночастинок на теплофізичні властивості базових рідин. Було встановлено, що концентрація наночастинок, розмір і форма наночастинок, наявність поверхнево-активних речовин та адсорбційного шару на поверхні наночастинок можуть суттєво впливати на в'язкість, теплопровідність, густину і теплоємність. Також можна констатувати, що на сьогоднішній день не запропоновано коректних термодинамічних моделей, що враховують надлишкові термодинамічні функції при змішуванні компонентів нанорідини.

Для підвищення енергетичної ефективності низькопотенційних джерел енергії необхідно збільшити теплопровідність і різницю ентальпій при фазових переходах у теплоакумуючих матеріалах. Матеріали з фазовими переходами (PCM) забезпечують тепловою енергією за рахунок різниці ентальпій при фазових переходах під час плавлення або кристалізації.

Для вивчення впливу фулерена C<sub>60</sub> на оптичні та теплофізичні властивості н-ейкозану в широкому діапазоні параметрів плавлення (кристалізації) н-ейкозану доцільно використовувати методи адіабатичної калориметрії [1]. При аналізі отриманих експериментальних даних щодо теплоємності та теплоти фазових переходів розчинів фулерена н-ейкозану/C<sub>60</sub> доцільно мати інформацію про показник заломлення та коефіцієнт поглинання світла.

Для приготування композитних PCM було використано такі матеріали:

- н-ейкозан був отриманий від Aldrich Chemical Co., США з чистотою понад 99 мол. %;

- фуллерен C<sub>60</sub> (придбаний у Suzhou Dade Carbon Nanotechnology Co., Ltd., Китай, CAS# 99685-96-8), чистота 0,995 кг-кг<sup>-1</sup>.

Технологія створення композиційного матеріалу ейкозан/C<sub>60</sub> була представлена в роботі [1]. Однак, у нещодавно опублікованій роботі [2] було показано, що процедура ультразвукового диспергування нанофлюїдів може сприяти утворенню кластерів. Тому з технології підготовки зразків н-ейкозан/C<sub>60</sub> процедура ультразвукового диспергування була виключена.

Для аналізу впливу домішок фулерена C<sub>60</sub> на значення спектральних коефіцієнтів пропускання та поглинання світла в широкій околиці фазового переходу за пониження температури зразків було використано методи диференціальної абсорбційної спектроскопії. Дослідження проведено на спектрофотометрі Ulab102UV.

Термостатування зразків у спектрофотометрі забезпечувалося завдяки встановленню в кюветному відділенні контейнера з термоакумлювальним матеріалом (парафін/терморозширений графіт). Запропонована схема термостатування оптичних кювет дала змогу проводити термостатування в інтервалі температур від 25 до 47 °С, протягом 6 годин. Результати проведеного дослідження наведено на рисунку 1.

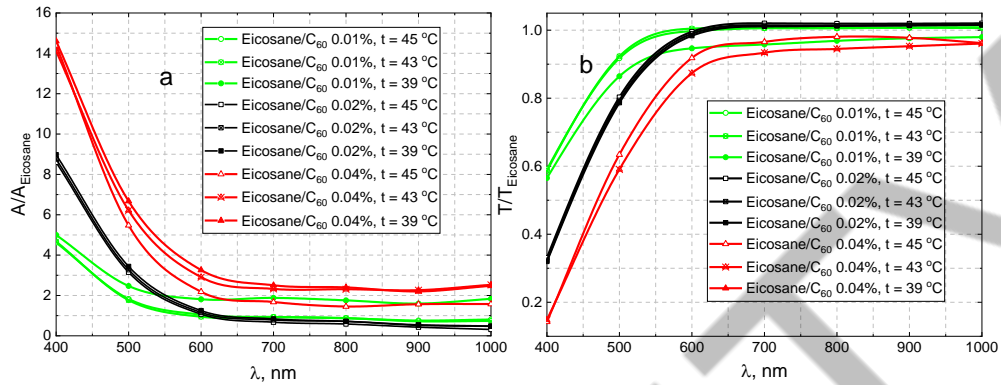


Рисунок 1 - Залежності нормалізованих значень спектральних коефіцієнтів поглинання (а) і пропускання (b) світла від довжини хвиль світла

Монотонний (без точок екстремуму) характер зміни нормалізованих значень спектральних коефіцієнтів поглинання світла вказує (див. рисунок 1), що в розчинах, окрім молекулярного фулерена, є кластери різних розмірів.

Дослідження ентальпії та ефективної теплоємності зразків н-ейкозан/C<sub>60</sub> було виконано методом монотонного нагрівання в калориметрі змінної температури.

Результати дослідження калоричних властивостей композиційних ТАМ ейкозан/C<sub>60</sub> наведено на рисунку 2.

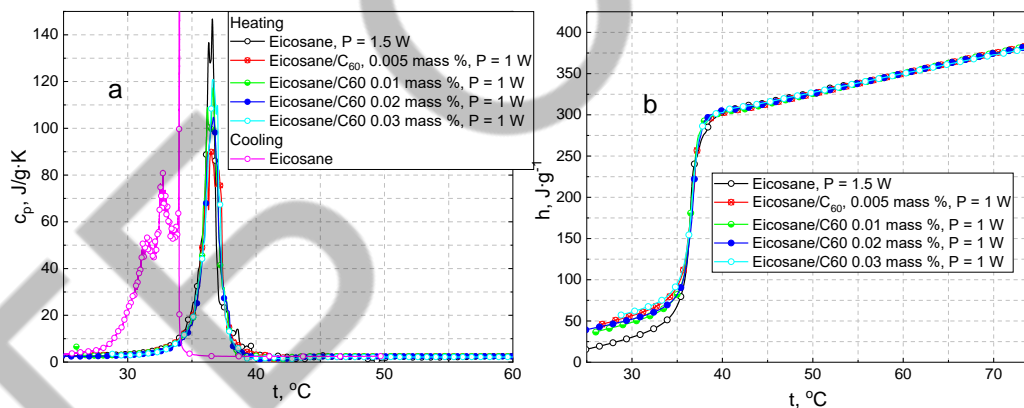


Рисунок 2 - Температурна залежність ефективної теплоємності зразків н-ейкозан/C<sub>60</sub> -(a); температурна залежність ентальпії при фазовому переході зразків н-ейкозан/C<sub>60</sub> -(b)

З наведеної на рисунку 2а інформації також можна зробити такі висновки. По-перше, процес плавлення н-ейкозану і розчинів н-ейкозан/C<sub>60</sub> реалізується в досить широкому інтервалі температур (від 27 до 40 °С). По-друге, чим більша потужність, що подається на калориметричний нагрівач, тим ширший інтервал температур процесу плавлення. Аналіз наведеної на рисунку 2b інформації показує, що домішки фулерена C<sub>60</sub> сприяють підвищенню значень ентальпії зразків н-ейкозан/C<sub>60</sub> у твердій фазі. При охолодженні зразків реалізується структурний фазовий перехід.

### Інформаційні джерела

1. V. Zhelezny, D. Ivchenko, Y. Hlek, O. Khliyeva, P. Zajdel, K. Shestopalov, N. Khliiev, Y. Grosu, "Effect of fullerene C<sub>60</sub> on phase transition enthalpy of paraffin wax: Calorimetry and structural analysis," Journal of Energy Storage, 2023. Vol.72, 108713.

2. Makhmanov, U.; Ismailova, O.; Kokhkharov, A.; Zakhidov, E.; Bakhramov, S. Features of self-aggregation of C60 molecules in toluene prepared by different methods. *Physics Letters A*. 2016. 380 (24). 2081-2084. DOI: 10.1016/j.p

УДК 536.65: 544.7

## СЕДИМЕНТАЦІЙНА СТАБІЛЬНІСТЬ ТА КАЛОРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПАРАФІН/ТЕРМОРОЗШИРЕНИЙ ГРАФІТ/ОКСИД МІДІ

Квасницький Б.А.<sup>1</sup>, аспірант, Глек Я.О.<sup>2</sup>, PhD, Івченко Д.О.<sup>1</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup>Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

<sup>2</sup>Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса

Нове покоління термоакумулюючих наноматеріалів орієнтоване на підвищення ефективності та надійності систем зберігання теплової енергії. Наукове обґрунтування вибору компонентів композиційних термоакумулюючих наноматеріалів (КТАНМ), з метою підвищення теплопровідності та теплоти фазового переходу, є необхідним етапом впровадження нанотехнологій в енергетику. На сьогодні найперспективнішими термоакумулювальними матеріалами для низькотемпературних сонячних енергетичних установок залишаються технічні парафіни (PW) [1]. У низці опублікованих робіт показано, що терморозширений графіт (EG) має пористу структуру, що призводить до збільшення площі контакту з теплоакумулювальним матеріалом (парафіном) і сприяє підвищенню теплопровідності та теплоти фазового переходу композиційних теплоакумулювальних матеріалів [2].

Для приготування композиційних КТАНМ було використано такі матеріали: парафін (виробництво Німеччина, TOP промислова марка Т-3, температура застигання 52 - 54°C за даними постачальника); інтеркалірований графіт (виробництво Unimate International Co., Ltd, КНР, порошок, чистота 96,07 мас. %, розмір частинок 81,4% на 80 MESH, коефіцієнт спінування 350 см<sup>3</sup> г<sup>-1</sup> за даними постачальника); наночастинки CuO: (вироблені SIGMA-ALDRICH CHEMIE GmbH., чистота 99.5% діаметр 50≤nm, CAS:1317-38-0 CuO MW: 79.55 г/моль; питома поверхня 65,38 м<sup>2</sup>/г).

Результати дослідження калоричних властивостей композиційних КТАНМ PW/EG і PW/EG/CuO наведено на рисунках 1-2:

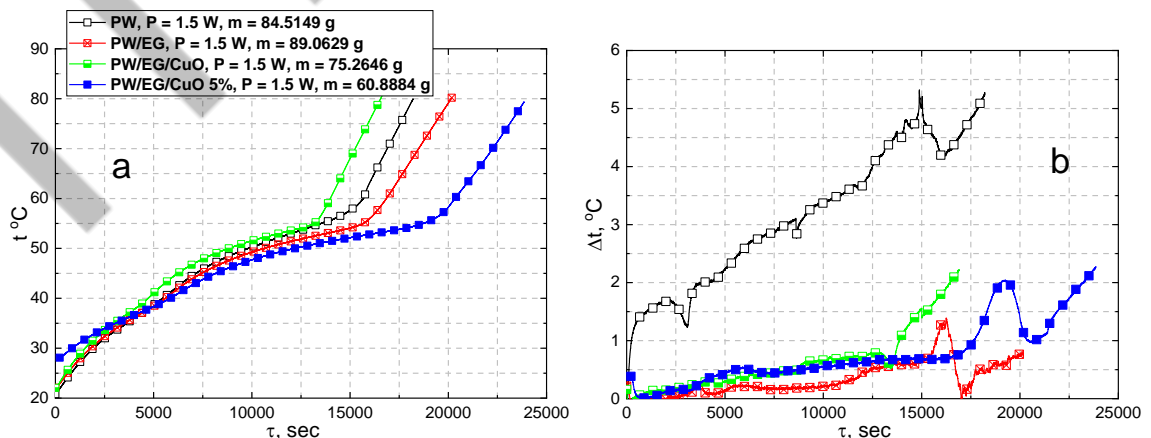


Рис. 3 - Термограми процесу плавлення досліджуваних зразків різного складу

З наведеної на рисунку 2b інформації випливає, що час фазового переходу зразків КТАНМ залежить не тільки від складу зразків, теплового навантаження та маси. Домішки

EG і наночастинок CuO сприяють істотному зменшенню градієнта температур за радіусом досліджуваних зразків. Отже, присутність домішок EG і наночастинок CuO в парафіні сприяє збільшенню коефіцієнта теплопровідності парафіну. Швидкість зміни температури в зразках (див. рисунок 2b) є складною функцією від температури і залежить не тільки від теплопровідності зразків, а й від зміни густини та теплоємності під час фазового переходу, тобто від температуропровідності. Аналіз зміни нормалізованих значень швидкості зміни температури в центрі зразка дає змогу зробити кілька висновків. Домішки EG і наночастинок CuO можуть як збільшувати, так і зменшувати швидкість зміни температури парафіну як за рахунок згаданих вище факторів, так і зміни калоричних властивостей зразків.

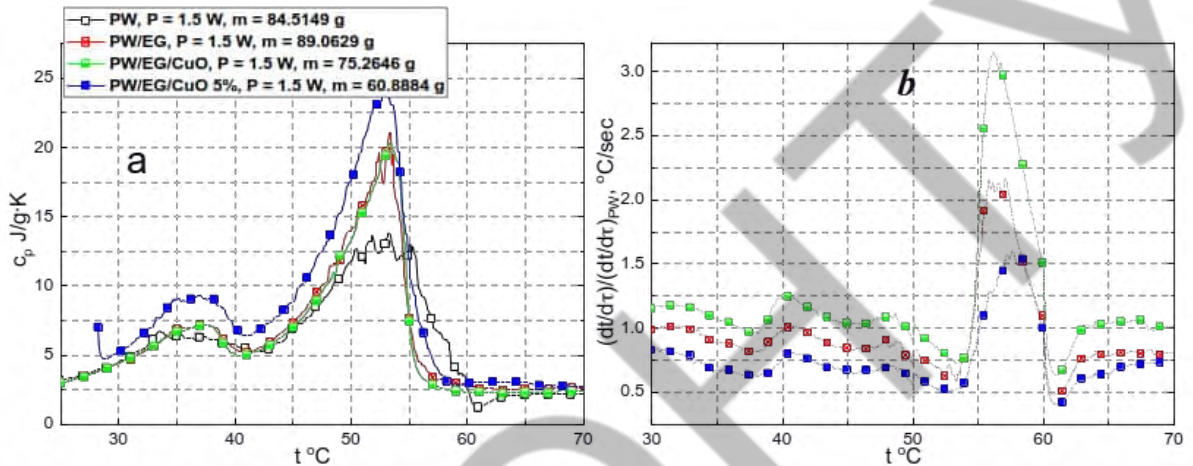


Рис. 4 - Температурна залежність ефективної теплоємності зразків PW/EG/CuO - (a); температурна залежність нормалізованих значень швидкості нагріву зразків PW/EG/CuO- (b)

Інформацію про вплив EG і наночастинок на калоричні властивості представлено на рисунках 3

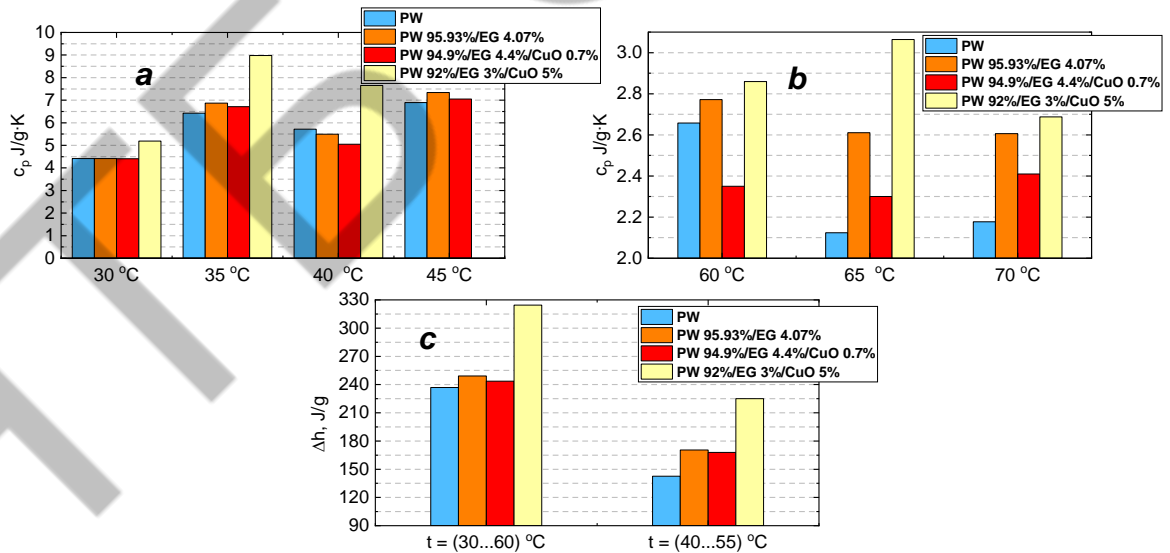


Рис. 5 - Значення ефективної теплоємності, отриманих за різних температур під час нагрівання для зразків PW, PW/EG, PW/EG/CuO - (a,b); різниця ентальпій фазових переходів, отримана в різних температурних діапазонах при нагріванні PW- (c)

З наведеної на рисунках інформації випливає, що домішки EG і наночастинок CuO сприяють збільшенню ефективної теплоємності парафіну. Винятком є діапазон температур з околиці структурного фазового переходу в твердій фазі (приблизно 40 °C), де домішки наночастинок CuO і EG сприяють зниженню ефективної теплоємності гібридних КТАНМ.

**Інформаційні джерела**

1. M. Mofijur, Teuku Meurah Indra Mahlia, Arridina Susan Silitonga, Hwai Chyuan Ong, Mahyar Silakhori, Muhammad Heikal Hasan, Nandy Putra and S.M. Ashrafur Rahman Phase Change Materials (PCM) for Solar Energy Usages and Storage: An Overview// *Energies* 2019, 12, 3167; doi:10.3390/en12163167

2. Zhelezny, V., Ivchenko, D., Hlek, Y., Khliyeva, O., & Shestopalov, K. (2024). Experimental study of phase transition heat of composite thermal energy storage materials paraffin wax/expanded graphite. *Journal of Energy Storage*, 77, 110174A

**УДК 536.7:543.57****ТЕХНОЛОГІЯ ПРИГОТУВАННЯ ТА СЕДИМЕНТАЦІЙНА  
СТАБІЛЬНІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ ТЕРМОАКУМУЛЮВАЛЬНИХ  
НАНОМАТЕРІАЛІВ**

**Глек Я.О.<sup>2</sup>, PhD, Халак В.Ф.<sup>1</sup>, PhD, Івченко Д.О.<sup>1</sup>, к.т.н.**

<sup>1</sup>Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

<sup>2</sup>Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса

Нове покоління термоакумуючих наноматеріалів орієнтоване на підвищення ефективності та надійності систем зберігання теплової енергії. На сьогоднішній день найбільш перспективними термоакумуювальними матеріалами для низькотемпературних сонячних енергетичних установок залишаються технічні парафіни (П). В даний час накопичено значний досвід створення композиційних термоакумуювальних наноматеріалів із фазовим переходом (КТАНМ) на основі парафіну з метою акумулювання теплоти. Однак багато аспектів застосовуваних технологій залишаються недостатньо вивченими. Наприклад, автори деяких досліджень, наприклад [1, 2], вказують, що для збільшення швидкості вирівнювання температури в нерівноважних теплових процесах заряджання і розряджання термоаккумуляторів і збільшення ентальпії фазових переходів необхідний етап ретельної підготовки компонентів КТАНМ. Завдання такої підготовки компонентів КТАНМ полягає у видаленні сорбованих на поверхні наночастинок або пористих структур адсорбційного шару компонентів вологого повітря. Проведені експериментальні дослідження показують, що в парафіні при температурі 20 - 25°C та вологості повітря 50-60% може розчинитися до 0,16 г·кг<sup>-1</sup> повітря.

Для виготовлення КТАНМ використовувалися такі матеріали: парафін (виробництво Німеччина, промислова марка Т-3, температура застигання 52 - 54°C за даними постачальника); інтеркалірований графіт (виробництво КНР, порошок, чистота 96,07%, розмір часток 81,4% на 80 MESH, коефіцієнт спінювання 350 см<sup>3</sup>·г<sup>-1</sup> за даними постачальника); наночастки CuO (вироблені SIGMA-ALDRICH CHEMIE GmbH, чистота 99.5%, діаметр 50 нм, CAS:1317-38-0, MW: 79.55 г·моль<sup>-1</sup>).

Для виключення впливу домішок сторонніх речовин у КТАНМ у цій роботі було використано кілька технологій створення КТАНМ П/ТРГ/CuO. Перша технологія одержання наногібридного КТАНМ складалася з виконання кількох етапів: 1) одержання терморозширеного графіту (ТРГ) шляхом нагрівання інтеркалірованого графіту протягом 1 хв при температурі 900°C; 2) деаерування ТРГ протягом 30 хв при 60°C; 3) деаерація парафіну при багаторазовій процедурі кристалізація-плавлення; 4) створення обмежено стабільного в часі нанофлюїду ізопропанол/CuO для перенесення наночастинок CuO у пори ТРГ при його вакуумному просоченні; 5) просочення ТРГ нанофлюїдом ізопропанол/CuO при температурі 30°C; 6) видалення ізопропанолу з пор ТРГ шляхом нагрівання в сушильній шафі до 56°C; 7) вакуумування нанопідсиленого матеріалу ТРГ/CuO при

температурі 60°C з метою видалення компонентів повітря сорбованих на поверхні пір ТРГ та поверхні наночастинок CuO; 8) вакуумне просочення ТРГ/CuO деаерованим парафіном (процедура виконувалася з використанням ультразвукового генератора частотою 22 кГц і потужністю 0,1 кВт при температурі 60°C). На всіх етапах проводилося вакуумування до тиску 5 кПа.

Використання запропонованої технології отримання КТАНМ сприяє підвищенню якості композитних матеріалів за рахунок видалення повітря із зразків та запобігання його адсорбції його компонентів на поверхні ТРГ та наночастинок CuO. З використанням цієї технології були отримані такі зразки композиційних матеріалів: КТАНМ (П/ТРГ 4,07%) та гібридний КТАНМ (П/ТРГ 4,401%/CuO 0,605%).

Для суттєвого збільшення теплопровідності зразків П/ТРГ/CuO, а отже, збільшення швидкості зарядки термоакумулятора, необхідно використовувати великі концентрації наночастинок КТАНМ. Для підготовки зразків КТАНМ з великою концентрацією наночастинок CuO протестовано другу технологію: 1) отримання ТРГ шляхом нагрівання інтеркалірованого графіту протягом 1 хвилини при температурі 900°C; 2) деаерування ТРГ протягом 30 хвилин при 60°C; 3) деаерація парафіну при багаторазовій процедурі кристалізація-плавлення при температурі 60°C; 4) видалення сорбованих на поверхні наночастинок CuO компонентів вологого повітря за рахунок сушіння в сушильній шафі при температурі 150°C; 5) одержання тимчасово стабільного розчину П/CuO 5% при обробці зразків ультразвуком при температурі 60°C протягом 70 хвилин; 6) вакуумне просочення ТРГ розчином П/CuO 5% при обробці ультразвуком при температурі 60°C. На всіх етапах проводилося вакуумування до тиску 5 кПа. З використанням цієї технології створення КТАНМ було розроблено зразки наступного складу: П/ТРГ 3%/CuO 5% та П/ТРГ 3,143%/CuO 7%.

Розроблювані КТАНМ повинні мати хороші технологічні властивості, такі як: ступінь заповнення пір ТРГ парафіном, частка витоку парафіну і зміна складу гібридного КТАНМ за обсягом зразка при циклічному тепловому навантаженні. З цією метою зразки піддавали багаторазовій процедурі циклічного теплового навантаження (10 циклів) в інтервалі температур 20 - 60°C. Проведені дослідження показують частка витоку композиційних матеріалів для зразка П/ТРГ становить 0,2% та відсутні для зразків П/ТРГ 3%/CuO 5% та П/ТРГ 3,143%/CuO 7%.

Так само важливою технологічною характеристикою гібридних КТАНМ є стабільність складу зразків П/ТРГ/CuO при циклічних теплових навантаженнях. З метою вивчення стабільності П/ТРГ/CuO зразок заправлявся в пробірку невеликого діаметру і піддавався циклічному термічному навантаженню в інтервалі температур 20 - 60°C. Час термостатування за кожної температури становило близько 15 хвилин. Кількість фазових трансформацій у зразках П/ТРГ/CuO становила 100 циклів протягом 7 днів. Після теплового навантаження зразок П/ТРГ/CuO був поділений на чотири частини. Концентрація ТРГ та CuO у різних частинах досліджуваного зразка визначалася ваговим методом. З цією метою здійснювалося промивання КТАНМ органічним розчинником (бензином) з метою видалення парафіну із зразків. Отриманий сухий залишок компонентів ТРГ/CuO промивався розчином сірчаної кислоти за температури 70°C з метою розчинення наночастинок CuO. Постійна концентрація ТРГ та CuO за висотою в пробірці вказувала на незмінність складу гібридних КТАНМ при циклічному термічному навантаженні. За результатами експериментів слід, що концентрація компонентів зразків П/ТРГ 4,401%/CuO 0,605% після багаторазових циклів плавлення-кристалізація залишається практично незмінною за висотою.

Визначення середньої та справжньої щільності КТАНМ, а також ступеня заповнення пір матриці ТРГ/CuO парафіном виконано пікнометричним методом. Маючи в своєму розпорядженні інформацію про середню  $\rho_0$  та істину  $\rho$  густини КТАНМ можна розрахувати пористість зразків матеріалу та коефіцієнт заповнення пор.

Наведені дослідження показують, що запропоновані технології приготування

гібридних КТАНМ відповідає технологічним вимогам експлуатації термоакумуляторів для низько- та середньотемпературних сонячних енергетичних установок.

### Інформаційні джерела

1. Zhelezny V., Ivchenko D., Hlek Y., Khliyeva O., Zajdel P., Shestopalov K., Khliiev N., Grosu N. (2023) Effect of fullerene C60 on phase transition enthalpy of paraffin wax: calorimetry and structural analysis, *J. Energy Storage*. 72, 108713, <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108713>
2. Zhelezny V., Ivchenko D., Hlek Y., Khliyeva O., Shestopalov K. (2023). Experimental study of phase transition heat of composite thermal energy storage materials paraffin wax/expanded graphite. *Journal of Energy Storage*, 77, 110174A <https://doi.org/10.1016>

УДК 664.3:602

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ ДАНИХ ПРОЦЕСУ ХЛАДОНОВОЇ ЕКСТРАКЦІЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Потапов В.О., д.т.н., професор, Білий Д.В., аспірант  
Державний біотехнологічний університет, м. Харків

За останні 50 років були розроблені нові технології екстракції, які є більш екологічно чистими завдяки скороченню використання синтетичних та органічних хімікатів, скороченню часу роботи та підвищенню виходу та якості екстракту. Для підвищення загального виходу та селективності біоактивних компонентів, що витягуються з рослинних матеріалів, набирають популярності нові методи екстракції. Було розроблено нові стратегії екстракції для усунення деяких недоліків традиційних методів екстракції. Деякі з нових підходів до екстракції також відомі як «зелені технології», оскільки вони використовують менше енергії та органічних розчинників і не завдають жодної шкоди навколишньому середовищу. Харчова промисловість зацікавлена в нових допоміжних методах екстракції, таких як ультразвукова, імпульсна електрична, ферментна, мікрохвильова та рідина під тиском [1].

Технологія низькотемпературної хладонової екстракції знаходить все більшого застосування під час перероблення біологічної сировини. Процес хладонової екстракції може проводитися при низьких температурах від 15°C до 40°C, що особливо важливо для термочутливих компонентів, таких як ефірні олії, поліненасичені жирні кислоти і антиоксиданти. Хладони мають високу розчинну здатність для ліпідів та інших біоактивних речовин, що дозволяє ефективно витягувати важливі компоненти навіть із важкодоступних ділянок рослинного сировини. Хладонова екстракція забезпечує високий вихід екстракту порівняно із традиційними методами

Графік залежності виходу екстракту (рис. 1) кмину чорного від температури і тиску ілюструє, що при вищих температурах вихід екстракту збільшується, де крива з крапками показує залежність логарифма маси від зворотній температури, а пунктирна крива – залежність тиску від зворотній температури. Це пов'язано з покращенням розчинності ліпідних фракцій та біоактивних компонентів при більш високих температурах. Чорний кмин містить поліненасичені жирні кислоти, такі як лінолева та олеїнова, які при дуже високих температурах можуть зазнавати термічної деградації. Крім того, такі компоненти, як тимохінон та анетол, також термочутливі, що пояснює необхідність контролю температури для запобігання руйнуванню цих речовин. Збільшення тиску в системі з підвищенням температури, підвищує розчинність цільових компонентів.

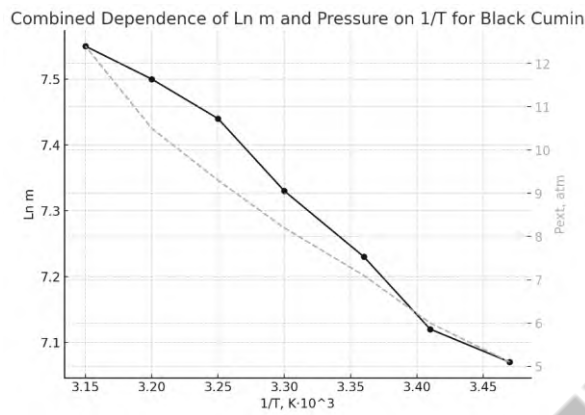


Рис. 1 – Графік залежності логарифма маси екстракту кмину чорного від температури процесу екстракції

З отриманих даних оптимальні параметри екстракції обох видів сировини перебувають у діапазоні температур 30–35°C і тиску 1,2–1,3 МПа. Для чорного кмину перевищення температури вище 35°C може призвести до руйнування ключових компонентів, таких як ефірні олії та поліненасичені жирні кислоти, що робить контроль температури необхідним для збереження цілісності екстракту.

Ряд переваг роблять хладонову екстракцію одним з найкращих методів отримання високоякісних екстрактів, особливо для збереження важливих термочутливих речовин і забезпечення високої екологічної безпеки процесу.

### Інформаційні джерела

1. Avinash Kumar Jha, Nandan Sit. Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods: A review. Trends in Food Science & Technology, Volume 119, January 2022, P 579-591.

УДК 621.036; 697.4

## ПЕРСПЕКТИВНА СИСТЕМА ЗБІЛЬШЕННЯ ГЕНЕРОВАНОЇ ТЕПЛОТИ ДЛЯ КОМБІНОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ДООХОЛОДЖЕННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Петраш В. Д., д.т.н., професор, Баришев В. П., к.т.н., доцент,  
Шевченко Л. Ф., к.т.н., доцент, Хоменко О. І., к.т.н., доцент  
Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса

Авторами запропонована нова система теплопостачання цивільних будівель та промислово-технологічних підприємств на основі парокompресійної трансформації інтегрованої енергії з характерними для них низькотемпературними джерелами теплоти. Зокрема, доохолодження відпрацьованого теплоносія з теплової мережі, вихідної холодної води та відпрацьованих газів дозволяє розширити загальну потужність теплоти, що генерується з традиційним теплогенератором на основі двоступеневої схеми в роботі з ТНУ. Результатом стало також покращення енергоекологічної ефективності використання первинного палива. Вирішення зазначеної проблеми енергозбереження спрямоване на підвищення ефективності теплопостачання. Виконане аналітичне дослідження умов загального збільшення потужності генерованої теплоти для удосконаленої системи комбінованого теплопостачання з парокompресійною трансформацією енергетичного потенціалу доохолодження зазначених низькотемпературних джерел теплоти. Розв'язання

актуальної задачі дослідження досягається аналітичним визначенням впливу вихідних та режимних параметрів для збільшення загального обсягу генерованої теплоти.

Запропонований підхід дав змогу визначити вплив вихідних умов на підвищення енергетичних показників двоступеневої схеми генерації теплоти з регулюванням проміжної температури відпрацьованого теплоносія в стандартному температурному графіку відпуску теплоти для абонентських систем теплоспоживання. Основним результатом аналітичного дослідження є встановлена узагальнена залежність для визначення дійсного коефіцієнта перетворення в роботі теплового насоса, а також умов збільшення генерації теплової потужності з традиційними генераторами теплоти. Отриманий результат дає змогу якісно проаналізувати залежність енергетичної ефективності системи від зміни температури зазначених джерел теплоти, співвідношення потоків води та їх розподілу для комунально-побутових і виробничо-технологічних потреб. Результати аналітичного дослідження вдосконаленої системи теплопостачання створюють основу для її інженерної розробки з урахуванням характерних умов децентралізованого теплопостачання та режимів роботи структурних підсистем.

Встановлено, що значення проміжної температури парокомпресійного догрівання енергоносія на вході в теплогенератор на протязі опалювального періоду повинне корегуватися на співставленні термодинамічної та економічної ефективності зі зниженням різниці температур теплоносія в системі опалення та кипіння робочого тіла в випарнику ТНУ. Результати дослідження важливі та актуальні для вирішення проблеми збільшення теплової потужності в Україні при модернізації існуючих систем децентралізованого теплопостачання.

**УДК 621.575**

## **РОЗРОБКА АБСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

**Березовська Л.В., PhD, доцент, Тітлов О.С., д.т.н., професор  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса**

Сучасні системи холодильної техніки споживають від 25 % до 30 % світового обсягу електричної енергії, що виробляється електричними станціями. При цьому ряд країн, що розвиваються, має постійний дефіцит електричної енергії, а наявні джерела електричної енергії часто характеризуються її низькою якістю. Як наслідок, населення цих країн не може експлуатувати побутову холодильну техніку належним чином. Ситуація, що склалася з джерелами електричної енергії і визначає напрями вдосконалення сучасної побутової холодильної техніки: а) підвищення енергетичної ефективності термодинамічних циклів та теплотехнічних характеристик холодильних приладів; б) максимальне використання альтернативних, вторинних та непрямих джерел електричної енергії.

Незважаючи на те, що основна увага розробок приділяється енергетичній складовій, головною вимогою нової техніки в сучасному світі є екологічна безпека (захист озонового шару, мінімізація парникового ефекту тощо).

Проведені огляд та аналіз спеціалізованих літературних джерел та патентів, а також сучасного рівня технічних рішень показав перспективність досліджень та розробок АХП з альтернативними джерелами енергії. Такі АХП дозволяють вирішити не лише проблеми енергозбереження, а й екологічні проблеми щодо несприятливого техногенного впливу на навколишнє середовище. Найбільші перспективи для вирішення завдань у галузі побутової холодильної техніки мають сонячні батареї, що перетворюють сонячне випромінювання на постійний електричний струм. АХП використовують електроенергію у вигляді тепла, тобто

при використанні електронагрівача. Залежно від діапазону необхідного теплового навантаження на генератор абсорбційного холодильного агрегату (АХА) без проблем може бути виготовлений необхідний тип електронагрівача.

Виконано варіантні розрахунки термодинамічних циклів АХА та моделювання процесів тепломасообміну в контурі природної циркуляції. Було доведено, що для температури випаровування від мінус 9 °С до мінус 27,5 °С потрібно підвищити теплове навантаження в генераторі АХА на 40 %, при цьому теплові навантаження на елементи також зростають: абсорбера – на 25 %, конденсатора – на 44 %, дефлегматора – на 40%. Збільшення температури кипіння у генераторі погіршує енергетичні характеристики холодильного циклу АХА. Так, наприклад, при збільшенні температури кипіння в генераторі від 135 °С до 195 °С тепловий коефіцієнт циклу АХА знижується від 23,5 % до 6,7 %, а питома теплове навантаження в генераторі та дефлегматорі зростає в 3,5 і 11...12 разів, відповідно. Доведено також, що АХП у тропічному виконанні при температурах зовнішнього повітря 40...45 °С працюють із підвищеним на 25...30 % енергоспоживанням.

Отримані результати моделювання процесів тепломасообміну в контурі природної циркуляції типового АХА показують, що при збільшенні перепаду висот між випарником і абсорбером від 0,2 до 0,8 м холодопродуктивність зростає в 4,4 рази. Зниження температури абсорбера АХА від 35 °С до 15 °С, яке може бути досягнуто або при роботі в умовах низьких температур зовнішнього повітря, або за рахунок інтенсифікації зовнішнього теплообміну, призводить до збільшення холодопродуктивності випарника приблизно 9,5 рази. Зниження температур випаровування призводить до збільшення теплового навантаження на трипоточковий теплообмінник-випарник.

Доведено, що при підвищенні ступеню очищення парогазової суміші в абсорбері АХА з'являється можливість збільшити продуктивність випарника при одночасному збільшенні витрат холоду на переохолодження потоків рідкого аміаку і парогазової суміші. При цьому зростання теплового навантаження на трипоточковий теплообмінник-випарник для однокамерних моделей та морозильників, порівняно з мініхолодильниками, становитиме 24 % та 48 %, відповідно. З урахуванням технічних особливостей конструкції трипоточного теплообмінника-випарника та інтенсивності процесів тепломасообміну рекомендовано для розробників трипоточну модель теплообмінника-випарника з коаксіальним розташуванням каналів очищеної та насиченої парогазових сумішей та винесеним за межі міжтрубного простору каналом рідкого аміаку.

Виконано комплекс експериментальних досліджень абсорбційних холодильних приладів двох типів: однокамерний холодильник із НТО «Київ-410» АШ-160; мініхолодильник у транспортному виконанні типу «скриня» (модель «Київ» АЛ-35). Експериментальні дослідження виконано у широкому діапазоні чисельних значень теплових навантажень (50...130 Вт) у генераторах АХА. Показано, що при мінімальних теплових навантаженнях в генераторі (50...60 Вт) забезпечують нормативний рівень температур в камерах, що охолоджують, а при максимальних теплових навантаженнях в генераторі АХА (100...130 Вт) мають «запас» по холодопродуктивності.

Таким чином, в експериментальних дослідженнях була встановлена можливість роботи АХП з тепловим навантаженням генератора АХА, що змінюється в часі.

Виконано тестові експериментальні дослідження з підведенням теплового навантаження на генератор від сонячної монокристалічної батареї «Sunport» SPP350N60H з електричною потужністю 350 Вт, які показали працездатність мініхолодильника «Київ» АЛ-35. Дослідження мініхолодильника «Київ» АЛ-35 показали перспективність встановлення «містків холоду» на базі Г-подібних теплових труб. Досягнуті температури в охолоджуваному об'ємі значно нижчі за нормативні (0...5 °С), при цьому добове енергоспоживання, порівняно з базовою моделлю, було знижено на 11...13 %.

Показано перспективність застосування колекторної теплової труби – зниження температури в об'ємі, що охолоджується, мініхолодильника «Київ» АЛ-35 становило 1,8...2,4 °С порівняно з базовим варіантом. Доведено, що створення ізотермічної зони на

піднімній ділянці генератора АХА у складі мініхолодильника «Київ» АЛ-35 знижує енергоспоживання, порівняно з базовою моделлю, на 6...7 %.

Розроблені перспективні конструкції АХП з сонячними джерелами енергії не тільки включають енергозберігаючі технології, але й мають покращені, порівняно з аналогами, споживчі характеристики. Зокрема, за рахунок застосування Г-подібних двофазних термосифонів і теплових труб не тільки підвищується енергетична ефективність АХА, а й вирівнюються температури у всьому охолоджуваному об'ємі холодильних камер.

Доведено, що акумулятори холоду на основі сольових розчинів у комбінації з «містками холоду» на базі Г-подібних теплових труб і двофазних термосифонів дозволяють вирішити як завдання енергозбереження, так і задачі термостабілізації корисного об'єму камер охолодження, про цьому для морозильної камери в якості холодоакumuлюючого матеріалу можна потрібен водний розчин натрію хлориду з температурою плавлення мінус 21,2 °С, а для холодильної камери – водний розчин сульфату натрію з температурою плавлення мінус 1,2 °С.

Розроблено інженерна методика конструктивного розрахунку основних елементів АХА (конденсатора, регенеративного теплообмінника, дефлегматору, абсорбера, випарника, регенеративного газового теплообмінника) та виконано розрахунок типової моделі двокамерного АХА з холодопродуктивністю 50 Вт і з температурою в морозильній камері мінус 18 °С, і з температурою в холодильній камері 6 °С при температурі навколишнього середовища 32 °С.

### Інформаційні джерела

1. Березовська, Л., & Тітлов, О. (2023). Аналіз перспектив застосування абсорбційних холодильних систем з альтернативними джерелами теплової енергії. *Refrigeration Engineering and Technology*, 59(1), 73 – 83.
2. Березовська, Л., & Тітлов, О. (2023). Експериментальні дослідження абсорбційних холодильних приладів при роботі з сонячними панелями. *Refrigeration Engineering and Technology*, 59(2), 97 – 108. <https://doi.org/10.15673/ret.v59i2.2631>
3. Berezovska, L., & Titlov, O. (2023). Analysis of the possibilities of increasing the energy efficiency of absorption refrigeration appliances through the use of refrigerating accumulators. *Technology Audit and Production Reserves*, 4(3(72)), 43 – 49. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286709>.
4. Березовська, Л., & Тітлов, О. (2023). Результати термодинамічного аналізу типових абсорбційних холодильних агрегатів. *Refrigeration Engineering and Technology*, 59(3), 182 – 190. <https://doi.org/10.15673/ret.v59i3.2665>

**УДК 621.575**

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОНОМНИХ ГЕЛІОСИСТЕМ ОТРИМАННЯ ВОДИ З АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ АБСОРБЦІЙНИХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ**

**Білий О.С., аспірант, Нікітін Д.М., д.т.н., професор  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса**

Найближчим часом найціннішим ресурсом на планеті стане вода і ця тенденція буде тільки зростати в досяжному майбутньому.

Великі перспективи для вирішення проблеми водозабезпечення мають методи, пов'язані з роботою автономних генераторів штучного холоду, які гарантовано

забезпечують температуру нижче точки роси.

Особливий інтерес для країн з дефіцитом водних ресурсів представляють системи отримання води з атмосферного повітря на базі абсорбційних термотрансформаторів (АТТ), що працюють від джерела низько потенційного тепла - сонячної енергії.

Найближчим часом найціннішим ресурсом на планеті стане вода і проблема водозабезпечення населення буде тільки зростати в досяжному майбутньому. Для сприяння у вирішенні цієї проблеми Генеральна Асамблея Організації Об'єднаних Націй оголосила 2005-2015 роки Міжнародним десятиріччям дій «Вода для життя».

Відомо, що основна частина прісної води знаходиться в 1 кілометровому шарі атмосфери планети, а середня абсолютна вологість становить  $11 \text{ г/м}^3$ , а в тропічних регіонах вона доходить до  $25 \text{ г/м}^3$  і вище.

З давніх часів прісну воду в обмежених кількостях отримували шляхом збору сконденсованих крапель з повітря в результаті природного добового радіаційного охолодження земної поверхні.

В даний час для підвищення ефективності процесів конденсації водяної пари з атмосферного повітря використовують холодоакумулятори на основі щебню, двофазні термосифони, що забезпечують передачу тепла на значні відстані і сорбентів, які працюють в циклічному режимі «зарядки-розрядки».

Проте для стабільного водозабезпечення найбільші перспективи мають методи, пов'язані з роботою генераторів штучного холоду, гарантовано забезпечують температуру нижче точки роси.

Як показали численні дослідження реальних генераторів штучного холоду для отримання 1 літра води з атмосферного повітря потрібно затратити в середньому близько 1 кВт·год електроенергії, а з 1 кг повітря виділити 10 г води. При холодильному коефіцієнті компресійної холодильної машини, що дорівнює 3, на виробництво 1 літра води буде витрачатися енергія порядку 0,33 кВт·год.

У сучасному світі основний обсяг ринку обладнання по отриманню води з повітря припадає на системи, які мають в своєму складі компресійну холодильну установку з електричним приводом.

Необхідною умовою роботи компресійної холодильної машини є наявність електричної енергії, а переважна кількість країн (Північна Африка, Центральна Азія і Америка), які відчувають дефіцит води, обмежені в електрогенеруючих потужностях, але в надлишку мають сонячну енергію.

Найбільш раціональним вирішенням проблеми водозабезпечення в такій ситуації може бути використання абсорбційних термотрансформаторів, що працюють від сонячної енергії.

Аналіз режимів роботи абсорбційних термотрансформаторів показав, що основні завдання, які треба вирішити при використанні їх в системах отримання води з атмосферного повітря, такі:

- а) по-перше, розробити конструкції термотрансформаторів з повітряним охолодженням теплорассеиваючих елементів;
- б) по-друге, запропонувати цикл, який можна було б реалізувати при підвищених температурах атмосферного повітря ( $30\text{...}40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) і температурах традиційних водяних сонячних колекторів ( $80\text{...}100 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Аналіз різних типів термотрансформаторів показав, що найбільші перспективи в умовах експлуатації систем отримання води з атмосферного повітря мають абсорбційні термотрансформатори (АТТ).

АТТ на відміну від аналогів - бромістолітєвих абсорбційних термотрансформаторів тепла і пароводяних ежекторних термотрансформаторів тепла мають більш широку сферу застосування, зокрема, в області температур до мінус  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

На відміну від бромістолітєвих абсорбційних термотрансформаторів АТТ не настільки критичні до зміни температур гріє джерела тепла, в їх конструкції

використовуються звичайні конструкційні сталі, а цикл реалізується при тисках, що перевищують атмосферний.

Особливий інтерес представляють АТТ, що працюють на енергії сонячного випромінювання. Такий інтерес пов'язаний з можливістю цілорічного використання сонячних колекторів, що знаходять в даний час широке застосування в системах опалення та гарячого водопостачання. Передбачається, що при надлишку сонячної енергії в теплий період року частина її можна направляти на генератор АТТ для подальшого низькотемпературного охолодження в системах отримання води з атмосферного повітря і в системах кондиціонування.

Останнім часом все частіше у світовому співтоваристві обговорюються теми "апокаліптичного" сценарію розвитку подій.

Тема світового катаклізму і подальшого виживання людства, що залишилося.

Умови відсутності світових джерел електричної енергії.

У таких умовах необхідні автономні джерела електричної енергії – насамперед сонячні батареї, які можуть забезпечити роботу та систем отримання води з атмосферного повітря за відсутності централізованого електропостачання.

Таким чином, дослідження, що стосуються розробки нових схем і конструкцій АТТ на сонячній енергії для роботи в системах отримання води з атмосферного повітря, є актуальними.

Для вирішення цієї проблеми передбачається провести роботи з підвищення ефективності автономних систем одержання води з атмосферного повітря за рахунок підвищення енергетичної ефективності АТТ із сонячними джерелами енергії.

Для цього, у першому наближенні, пропонується схема автономної системи отримання води з атмосферного повітря за допомогою АТТ абсорбційного типу та сонячних батарей (рис.1).

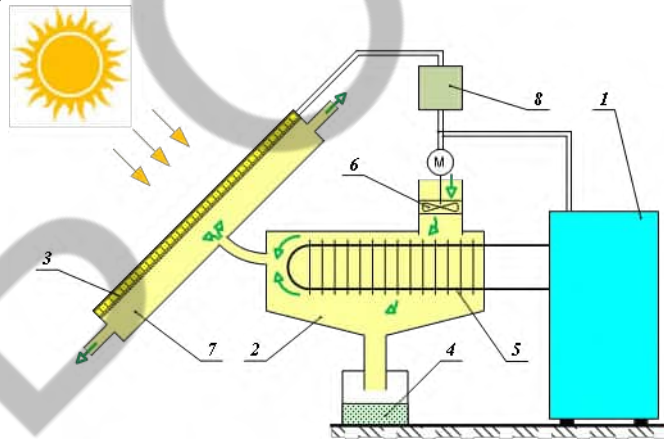


Рис. 1 – Схема автономної системи отримання води із атмосферного повітря: 1 – абсорбційний термотрансформатор; 2 – повітроохолоджувач; 3 – сонячна батарея; 4 - збірник конденсату; 5 – випарник; 6 – напірний вентилятор; 7 – повітряний охолоджувач сонячної батареї; 8 – блок керування силовим навантаженням

Пропонована система працює в такий спосіб.

При надходженні сонячного випромінювання поверхню сонячної батареї 3 генерується електричний струм, який подається на генератор АТТ 1. Генератор запускає безнасосний дифузійний цикл із виробництвом штучного холоду при температурах нижче за точку роси у випарнику 5.

Випарник 5 АТТ 1 розташований в об'ємі охолоджувача повітря 2, де контактує з атмосферним повітряним потоком.

При контакті повітряний потік охолоджується, а на охолодженій поверхні випарника 5 відбувається конденсація водяної пари.

Отриманий конденсат стікає в спеціальну збірку 4, а охолоджений і частково осушений повітряний потік направляється в повітряний канал 7, розташований на поверхні сонячної батареї 3.

При контакті повітря частково прогривається і викидається в атмосферу, а сонячна батарея 3 - частково охолоджується.

Подача атмосферного повітря на систему здійснюється з допомогою напірного вентилятора 6.

Отриманий сонячної батареї 3 електричний струм подається в генератор АТТ 1 і на привід повітряного вентилятора 6 за допомогою спеціального блоку управління 8.

Запропонована схема роботи дозволяє підвищити енергетичну ефективність сонячної батареї за рахунок додаткового охолодження потоком відпрацьованого частково осушеного повітря.

Зрештою, підвищується ефективність роботи системи отримання води з атмосферного повітря за рахунок збільшення кількості отриманого конденсату.

### Інформаційні джерела

1. Василів О.Б., Тітлов О.С., Осадчук Є.О. Спосіб одержання води з атмосферного повітря. Патент на корисну модель: пат. 100195 Україна: МПК (2015.01) E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/00. № 201501512; заявл. 20.02.2015; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 13.

2. Василів О.Б., Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Кузаконь В.М. Установка для одержання води з атмосферного повітря. Патент на корисну модель: пат. 104853 Україна: МПК E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10. № 201507385; заявл. 23.07.2015; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4.

3. Василів О.Б., Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Кузаконь В.М. Спосіб одержання води з атмосферного повітря. Патент на корисну модель: пат. 104854 Україна: МПК E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10. № 201507386; заявл. 23.07.2016; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4.

4. Василів О.Б., Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Кузаконь В.М. Спосіб одержання води з атмосферного повітря і установка для його здійснення. Патент на винахід: пат. 114658 Україна: МПК E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10 (2006.01). F25D 21/14 (2006.01). № 201506905; заявл. 13.07.2015; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13.

5. Іщенко І. М., Тітлов О.С. Моделювання і аналіз циклів абсорбційних водоаміачних холодильних машин. Наукові праці ОНАХТ. 2009. № 36. Т.2. С. 263—266.

Тітлов О. С., Захаров М.Д. Науково-технічні основи створення енергозберігаючих побутових абсорбційних холодильних приладів. Наук. праці ОНАХТ. 2009. № 35. Т. 1. С. 113—127.

6. Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Цой О.П., Алімкешова А.Х., Джамашева Р.А. Розробка автономних систем охолодження з урахуванням відновлювальних і непридатних джерел теплової енергії. Холодильна техніка та технологія. 2019. № 2. С. 84—96. DOI: <https://dx.doi.org/10.15673/ret.v55i2.1357>

7. Тітлов О.С., Осадчук Є.О. Пошук енергоефективних режимів роботи систем отримання води з атмосферного повітря на базі абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів тепла і сонячних колекторів. Холодильна техніка та технологія. 2020. № 3—4. С. 78-91. DOI: <https://doi.org/10.15673/ret.v56i3-4.1951>.

8. Titlov A., Osadchuk E., A. Tsoy, Alimkeshova A., Jamasheva R. Development of cooling systems on the basis of absorption water-ammonia refrigerating machines of low refrigeration capacity. Eastern- European Journal of Enterprise Technologies. 2019. № 2/8(98). С. 57—67. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.164301. Scopus.

9. The European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF). Режим доступу: URL : <http://www.estif.org>. (дата звернення: 25.05.2021).

10. Walliams A. G., Kroger D. G., Rohsenow W. M. Review of Methods for Enchasing Heat Transfer Rates in Surface Condensers. Chem. Eng. Sci. 1968. № 223. P. 367—373.

11. Wang Q., Gong L., Wang J.P., Sun T.F, Cui K., Chen G.M. A numerical investigation of a diffusion absorption refrigerator operating with the binary refrigerant for low temperature applications. *Applied Thermal Engineering*. 2011. № 31. P. 1763—1779.

12. Zhang N. Development of a Novel Combined Absorption Cycle for Power Generation and Refrigeration. *Journal of Energy Resources Technology J. Energy Resour. Technol.* 2007. № 129(3).

**УДК 621.575.932:621.565.92**

## **ЗАСТОСУВАННЯ ГЕЛІОСИСТЕМ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВОДИ З ПОВІТРЯ**

**Кравченко В.В. аспірант, Нікітін Д.М., д.т.н., професор  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса**

Дефіцит водних ресурсів представляє собою одну з найбільш важливих проблем сучасності. В наші дні країни всього світу відчувають на собі наслідки впливу даного питання в різних масштабах. Звіти та дослідження проведені ООН стверджують, що більше 2 мільйонів осіб не мають доступу до безпечної води і ситуація погіршується з кожним роком [1, 2]. Важливо відмітити, що в Україні, яка відноситься до малозабезпечених водними ресурсами країн, у зв'язку з війною ситуація загострюється і потребує негайного втручання.

Проблема дефіциту воду не нова, і вчені з усього світу займаються вирішенням цієї проблеми. Існують декілька способів для скорочення дефіциту води: імпорт, опріснення солоної води та отримання води з атмосферного повітря. У свою чергу існує декілька методів отримання води з повітря, найпоширенішими з яких є охолодження повітря нижче точки роси або використання спеціальних матеріалів для поглинання води з його подальшим виділенням [3]. Вибір методу залежить від кліматичних умов та економічних факторів.

Представлені методи отримання води з повітря потребують певної енергії і в якості джерела необхідної енергії буде розглядатись сонячне випромінювання.

В даний час найбільш поширеним та досліджуваним методом є проектування систем осушувачів повітря за допомогою спеціальних матеріалів, які поглинають воду (процес абсорбції) в нічний період часу. Для подальшого виділення води (процес десорбції) необхідно нагрівати матеріал. Для реалізації даного метода достатньо температури в діапазоні 50-80°C, що досить задовільно реалізується використанням сонячних систем. Існує велика кількість досліджень та матеріалів для реалізації даного методу, але на даному етапі цього все ще недостатньо для їх впровадження.

Іншим перспективним напрямком є розробка систем для отримання води з повітря на базі геліосистем та абсорбційних водоаміачних холодильних машин (АВХМ) [4-6]. В них реалізується процес конденсації води з повітря при досягненні температури нижче точки роси. Особливістю використання та дослідження АВХМ є взаємозалежність температур: гріючого середовища, охолоджуючого середовища та температури об'єкта охолодження. Змінним параметром з цих трьох є температура гріючого джерела. Для реалізації роботи даної системи необхідно задатися температурами об'єкта охолодження і визначитись з діапазоном температур гріючого джерела.

Для даного типу систем було проведено дослідження для різних умов та з деякими модифікаціями. Перевагою використання АВХМ є мінімальна кількість споживаної енергії, надійність і довговічність, відсутність складних механізмів та доступність деталей і конструкційних матеріалів, і, також, природне робоче тіло яке має багато переваг –

водоаміачний розчин. Вибір геліосистем пов'язаний з їх автономністю, широким розповсюдженням та великим асортиментом пристроїв для різних завдань.

Однією з таких схем для отримання води з повітря є схема АВХМ з бустер-компресором (Рис. 1). Необхідність встановлення бустер-компресора обумовлена високим діапазоном робочих температур АВХМ 120-170°C. Додатковий компресор дозволяє знизити діапазон оптимальних робочих температур до 70°C. Недоліком представленої системи є потреба в підвищеній кількості енергії для роботи.

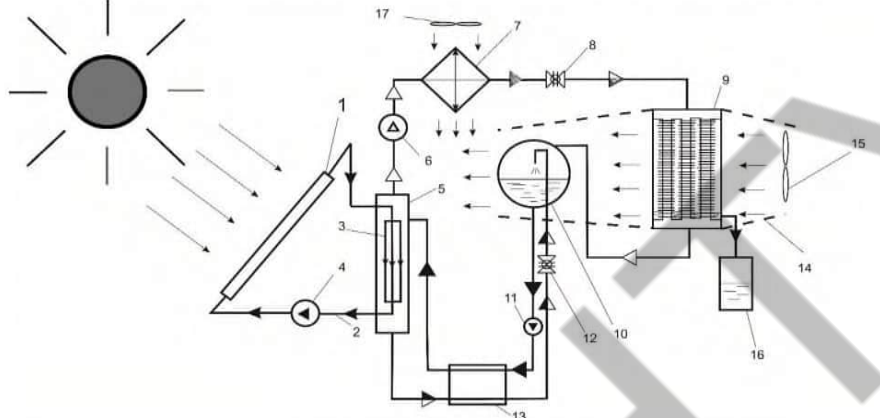


Рис. 1 – Схема АВТТ з бустер-компресором: 1 – геліосистема; 2 – циркуляційний контур; 3 – теплообмінник; 4 – циркуляційний насос; 5 – генератор; 6 – бустер-компресор; 7 – конденсатор пари аміаку; 8 – дросель рідкого аміаку; 9 – випарник; 10 – абсорбер; 11 – насос міцного розчину; 12 – дросель слабкого розчину; 13 – теплообмінник; 14 – повітряний канал; 15, 17 – вентилятори; 16 – збірник конденсату.

У випадку коли додаткове джерело електричної енергії відсутнє доцільно розглянути схему АВХМ з додатковим випарником розчину (Рис. 2).

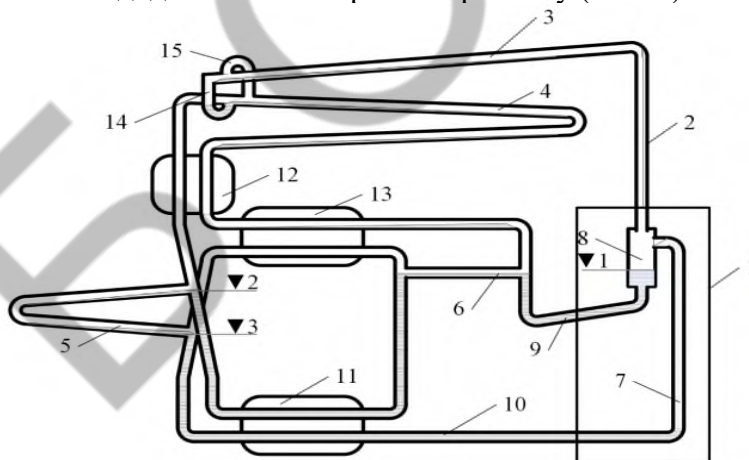


Рис. 2. Принципова схема АВХМ з додатковим випарником розчину: 1 - генераторний вузол; 2 — дефлегматор; 3 — конденсатор; 4 — випарник аміаку; 5 — абсорбер; 6 - випарник розчину; 7 — генератор; 8 — сепаратор; 9 — канал слабкого ВАР; 10 — канал міцного ВАР; 11 — теплообмінник розчинів; 12, 13 — теплообмінники ПГС; 14 — гідрозатвір аміаку; 15 — вирівнююча магістраль; ▼1, ▼2, ▼3 — рівні, відповідно, слабкого розчину в сепараторі, на вході та виході абсорбера.

Представлена схема з додатковим випарником розчину має більшу концентрацію аміаку та може використовувати для своєї роботи джерело теплоти з температурою 75 °С.

Представлені та інші існуючі схеми для отримання води з повітря поступово привертають увагу все більшої кількості людей і виглядають в певній мірі перспективно. Проте, для їх впровадження необхідно проводити подальші дослідження режимів роботи, вдосконалення методики розрахунку, підбору більш ефективних матеріалів з точки зору тепломасообміну та мінімізації економічних витрат.

## Інформаційні джерела

1. UNESCO. The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water. UNESCO: Paris, France, 2021. Available online: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375724>
2. . Koncagül E. , Connor R. , Abete V. The United Nations World Water Development Report 2024: water for prosperity and peace; facts, figures and action examples // programme and meeting document / UNESCO. Colombella, Perugia, Italy, 2024. P. 19.
3. Wang, Y.; Danook, S.H.; AL-bonsrulah, H.A.; Veeman, D.; Wang, F. A Recent and Systematic Review on Water Extraction from the Atmosphere for Arid Zones. *Energies* 2022, 15, 421. <https://doi.org/10.3390/en15020421>.
4. Osadchuk, Ye.O., Titlov, O.S., Mazurenko, S.Yu. (2014) The designation of energy efficient operation modes of absorption water-ammonia refrigeration machine in systems for removing water from atmospheric air. *Refrigeration engineering and technology*, 4, 54-57.
5. Біленко, Н., & Тітлов, О. (2021). Розробка абсорбційних холодильних агрегатів на низькопотенційних джерелах теплової енергії. *Refrigeration Engineering and Technology*, 57(1), 13-25. <https://doi.org/10.15673/ret.v57i1.1976>
6. Осадчук, Є., & Тітлов, О. (2021). Пошук енергоефективних режимів роботи систем отримання води з атмосферного повітря на базі абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів тепла і сонячних колекторів. *Refrigeration Engineering and Technology*, 56(3-4), 78-91. <https://doi.org/10.15673/ret.v56i3-4.1951>

УДК 621.575.932:621.565.92

## РОЗРОБКА АБСОРБЦІЙНИХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ В СИСТЕМАХ ОТРИМАННЯ ВОДИ З АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Осадчук Є.О., к.т.н., старший викладач  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Загальновідомо, що найціннішим ресурсом на планеті найближчим часом стане вода, а боротьба за водні ресурси в світі є одним з факторів в сучасних збройних конфліктах і, ця тенденція буде тільки зростати в досяжному майбутньому. Тому одним з найважливіших завдань є більш розвинутою технологій дозволяють витягати воду з повітря, причому безпосередньо на місці, де вона необхідна. Найбільші перспективи мають методи, пов'язані з роботою автономних генераторів штучного холоду, які гарантовано забезпечують температуру охолодження повітря нижче точки роси.

Найбільш перспективним напрямком тут є розробка систем отримання води з атмосферного повітря на базі абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів (АВТТ), що працюють від джерела низько потенційного тепла - сонячної енергії.

Було виконано моделювання та аналіз енергетичних характеристик термодинамічних циклів АВТТ і тепло-гідралічних режимів дефлегматора насосної схеми АВТТ у складі систем отримання води з атмосферного повітря.

Однією з особливостей АВТТ є взаємозалежність температур в характерних процесах циклу - температури гріючого середовища  $t_h$ , температури охолоджуючого середовища  $t_w$ , температури об'єкта охолодження  $t_{ob}$ . З трьох температур довільно можуть бути задані тільки дві.

Як показує практика, робота холодильної установки повинна забезпечувати заданий рівень охолодження, а сама установка працювати у відповідних кліматичних умовах, тобто

при заданій температурі охолоджуючого середовища. Тому, реальним параметром, який може змінюватися є тільки температура гріючого джерела.

На першому етапі аналітичних досліджень за наведеним нижче алгоритмом було виконано пошук діапазону температур гріючого джерела, який би задовольняв умовам роботи АВТТ та вимогам до об'єкта охолодження.

Алгоритм пошуку робочих режимів АВТТ полягав у наступному.

Задаються температури об'єкта охолодження  $t_{ob} = -30\text{ }^\circ\text{C}; -15\text{ }^\circ\text{C}; -5\text{ }^\circ\text{C}$ .

Для кожного чисельного значення температури  $t_{ob}$  проводився розрахунок з фіксованим значенням температурі  $t_w$  з діапазоном 25...43  $^\circ\text{C}$  і з кроком в 1  $^\circ\text{C}$ . Для заданих значень  $t_{ob}$  і  $t_w$  проводився розрахунок кратності циркуляції  $f$  зі змінною  $t_h$  з кроком в 1  $^\circ\text{C}$ . У разі, якщо  $f > 0$ , роблять висновок, що режим роботи АВТТ може бути реалізований, а в іншому випадку, коли  $f < 0$  - режим роботи не існує.

Результати розрахунків мінімально необхідної температури гріючого джерела залежно від температур об'єкта охолодження та охолоджувального середовища представлені на рис. 1.

Представлені на рис.1. залежності характеризують граничні чисельні значення температур гріючого джерела тепла, які необхідні для реалізації циклу АВТТ при роботі в заданих кліматичних умовах.

Аналіз цих результатів показує, що АВТТ в системі з сонячним колектором на воді у якості теплоносія може знайти застосування тільки в системах кондиціонування повітря при температурі охолоджуючого середовища не вище 32  $^\circ\text{C}$ .

Як показав аналіз, при низьких температурах охолоджуючого середовища і гріючого джерела зона дегазації може мати від'ємне значення, тобто цикл АВТТ не може бути реалізований.

На другому етапі термодинамічних розрахунків проведено аналіз циклів насосних АВТТ і визначені енергетичні характеристики циклів — теплове навантаження на елементи та тепловий коефіцієнт залежно від температури гріючого джерела і охолоджуючого середовища.

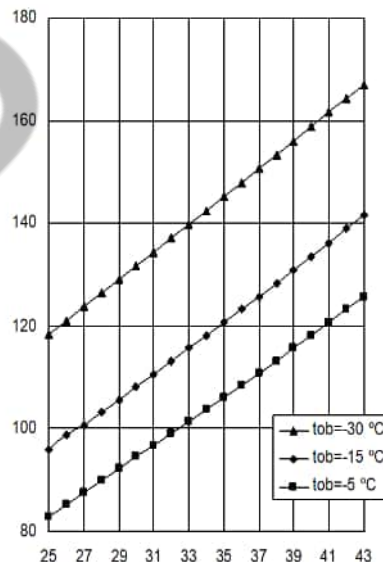


Рис. 1 – Результати розрахунку мінімально необхідної температури гріючого джерела ( $t_h$ ) залежно від температур об'єкта охолодження ( $t_{ob}$ ) та охолоджуючого середовища ( $t_w$ )

Температура об'єкта охолодження в розрахунках склала:  $-5\text{ }^\circ\text{C}; -15\text{ }^\circ\text{C}; -25\text{ }^\circ\text{C}$ , температура охолоджуючого середовища: від 10 до 32  $^\circ\text{C}$ . Мінімальна температура гріючого середовища при аналізі склала 90  $^\circ\text{C}$ , максимальна — 170  $^\circ\text{C}$ . Чисельні значення

мінімальної температури вибрано на межі реалізації циклів АВТТ, а максимальної — з урахуванням початку активної корозії конструкційного матеріалу.

Розрахунок циркуляційного насоса проведено для теплового навантаження випарника АВТТ 1000 Вт.

Результати розрахунку насосної схеми АВТТ представлені у вигляді графічних залежностей на рис.2.

Аналіз наведених на рис. 2 результатів показує наступне.

У всіх випадках спостерігається максимум енергетичної ефективності циклів АВТТ.

При зниженні температури випарника максимум енергетичної ефективності зміщується в область високих температур гріючого середовища, а його чисельні значення зменшуються.

Аналіз результатів розрахунку показав, що такий вигляд залежностей пояснюється:

а) при низьких температурах гріючого джерела тепла має місце висока кратність циркуляції розчина;

б) при високих температурах гріючого джерела тепла має місце зростання кількості води в паровому потоці водоаміачної суміші, наприклад, при температурі охолоджувального середовища 25 °С і температурі об'єкта охолодження – 5 °С зростання частки води становить більше, ніж на порядок.

У розрахунковому діапазоні у всіх випадках збільшення температури гріючого джерела призводить до різкого зменшення потужності циркуляційного насоса АВТТ, що перекачує міцний розчин з абсорбера в генератор.

При температурах гріючого джерела тепла від 90 °С до 130 °С потужність циркуляційного насоса має мінімальні чисельні значення. З ростом температури гріючого джерела спостерігається її зменшення.

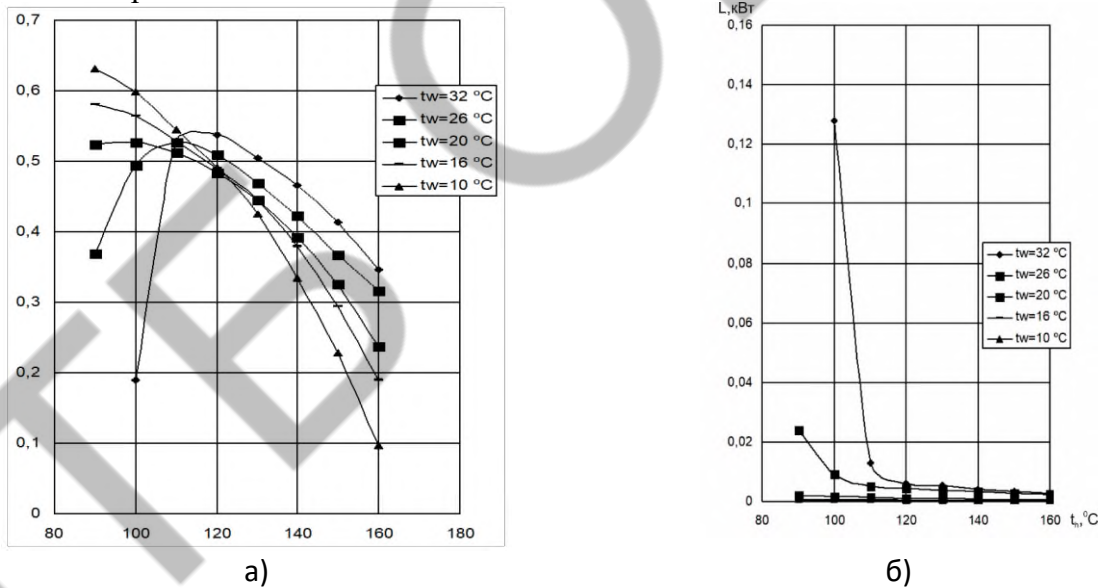


Рис. 2 – Результати розрахунку енергетичних характеристик: теплового коефіцієнта циклу (а) і потужності циркуляційного насоса (б) насосної АВТТ при різних температурах навколишнього ( $t_w$ ) і гріючого середовища ( $t_h$ ), при температурі об'єкта охолодження

$$t_{ob} = -5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Проведено аналітичне дослідження циклу АВТТ з регенеративними теплообмінниками і побудовано залежності температури гріючого джерела при різних температурах об'єкта охолодження і охолоджувального середовища, що забезпечують максимальну енергетичну ефективність в даних умовах (рис. 3). У частині перспективи роботи АВТТ на низькопотенційних джерелах теплової енергії, аналіз отриманих результатів розрахунку (рис.3) дозволяє зробити наступні висновки.

По-перше, у діапазоні розрахункових параметрів з ростом температури зовнішнього повітря (охолоджувального середовища  $t_w$ ) збільшується і необхідна температура гріючого джерела  $t_h$ . Так, наприклад, при зростанні  $t_w$  від 20 °С до 45 °С при фіксованій температурі  $t_{ob} = 5$  °С температура  $t_h$  збільшиться від 65 °С до 110 °С.

По-друге, у діапазоні розрахункових параметрів зростання температури об'єкта охолодження, наприклад, від -30 °С до 15 °С при фіксованій температурі зовнішнього повітря 45 °С призведе до зниження температури гріючого джерела від 138 °С до 85 °С.

По-третє, для роботи в умовах тропічного клімату ( $t_w = 35...45$  °С) і при температурі об'єкта охолодження 5 °С (гарантована температура «точки роси») температура гріючого джерела повинна бути вище 110 °С.

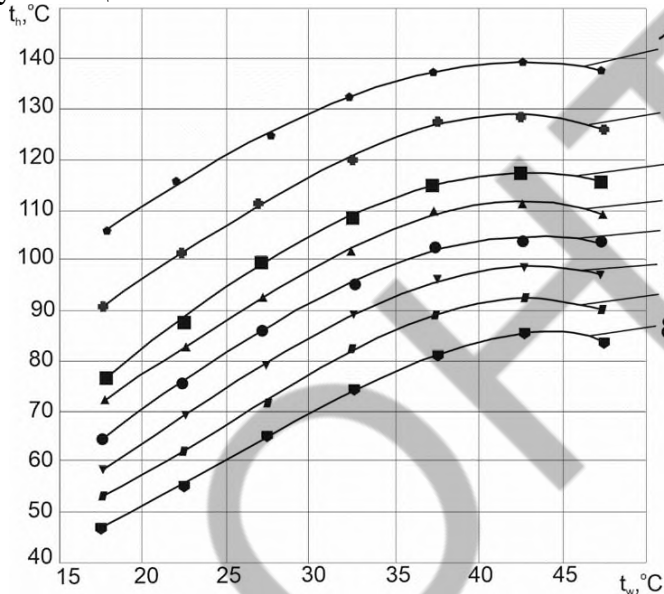


Рис. 3 – Залежність температури гріючого джерела від температури охолоджуючого середовища при різних значеннях температури об'єкта охолодження і при максимальному значенні теплового коефіцієнта: температура об'єкта охолодження: 1: -30 °С; 2: -20 °С; 3: -10 °С; 4: -5 °С; 5: 0 °С; 6: 5 °С; 7: 10 °С; 8: 15 °С

З урахуванням наведеного вище аналізу була запропонована оригінальна конструкція АВТТ з бустер-компресором (рис.4) після генератора, яка захищена патентними документами України [7-8].

Система (рис.4) містить сонячні колектори 1 із замкнутим циркуляційним контуром 2, заповненим рідким теплоносієм, і з теплообмінником 3. Циркуляція теплоносія по контуру 2 і теплообміннику 3 здійснюється за допомогою насоса 4.

До складу установки входить АВТТ, яка містить: генератор 5; бустер-компресор 6; повітряний конденсатор 7; дросельний вентиль холодильного агента 8; випарник 9; абсорбер 10; насос «міцного» розчину 11; дросельний вентиль 12, теплообмінник «міцного» і «слабкого» ВАР 13.

Випарник 9 і абсорбер 10 встановлені послідовно у спеціальному повітряному каналі 14 таким чином, щоб повітряний потік за допомогою вентилятора 15 надходив спочатку на випарник 9, а потім на абсорбер 10. Нижня частина випарника 9 пов'язана з ємністю для збору конденсату 16.

Охолодження конденсатора 7 здійснюється окремим вентилятором 17. У внутрішній порожнині генератора 5 встановлені канали теплообмінники 3 циркуляційного контуру 2.

У результаті розрахунку було визначено в практичному діапазоні параметрів експлуатації систем з сонячними колекторами енергетично ефективний режим для бустер-компресора.

Для систем при експлуатації в помірному кліматі це: тиск кипіння в генераторі 1,0 МПа і температура 80 °С.

Доведено, що для умов роботи випарника при температурі  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  зниження електричної потужності в системах АВТТ з бустер-компресором, порівняно з ПКТ, у 3,3 рази при експлуатації в помірному кліматі і у 2,4 рази — у тропічному кліматі.

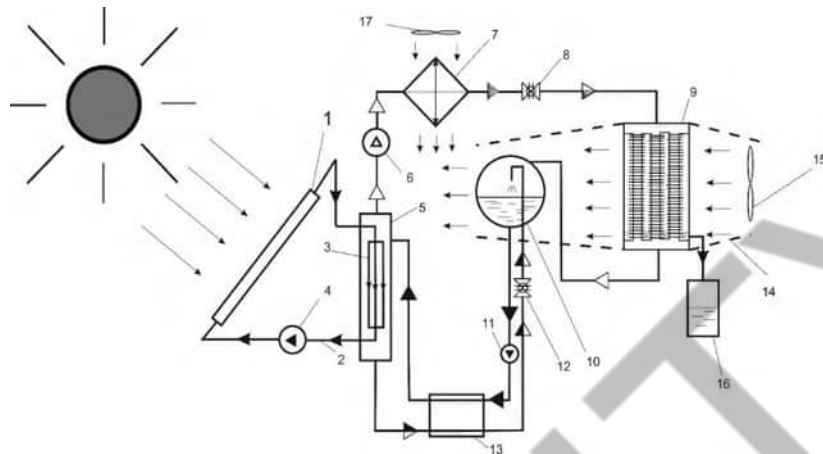


Рис .4 – Схема АВТТ з бустер-компресором: 1 — система сонячних колекторів; 2 — циркуляційний контур ; 3 — теплообмінник; 4 — циркуляційний насос; 5 — генератор; 6 — бустер-компресор; 7 — конденсатор пари аміаку; 8 — дросель рідкого аміаку; 9 — випарник; 10 — абсорбер; 11 — насос міцного розчину; 12 — дросель слабкого розчину; 13 — теплообмінник розчинів; 14 — повітряний кагал; 15, 17 — вентилятор; 16 — збірник конденсату

### Інформаційні джерела

1. Василів О.Б., Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Кузаконь В.М. Установка для одержання води з атмосферного повітря. Патент на корисну модель: пат. 104853 Україна: МПК E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10. № 201507385; заявл. 23.07.2015; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4. *Особистий внесок автора: виконані термодинамічні розрахунки для*
2. Василів О.Б., Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Кузаконь В.М. Спосіб одержання води з атмосферного повітря. Патент на корисну модель: пат. 104854 Україна: МПК E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10. № 201507386; заявл. 23.07.2016; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4.
3. Василів О.Б., Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Кузаконь В.М. Спосіб одержання води з атмосферного повітря і установка для його здійснення. Патент на винахід: пат. 114658 Україна: МПК E03B 3/28 (2006.01) F25B 15/10 (2006.01). F25D 21/14 (2006.01). № 201506905; заявл. 13.07.2015; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13.
4. Kholodkov A., Osadchuk E., Titlov A., Boshkova I., Zhykhareva N. Improving the energy efficiency of solar systems for obtaining water from atmospheric air. Eastern- European Journal of Enterprise Technologies. № 3/8(93)2018. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.133643.
5. A. Titlov A., E. Osadchuk E., A. Tsoy, A. Alimkeshova, R. Jamasheva. Development of cooling systems on the basis of absorption water-ammonia refrigerating machines of low refrigeration capacity. Eastern- European Journal of Enterprise Technologies. № 2/8(98)2019.
6. Тітлов О.С., Осадчук Є.О., Цой О.П., Алімкешова А.Х., Джамашева Р.А. Розробка автономних систем охолодження з урахуванням відновлювальних і непридатних джерел теплової енергії. Холодильна техніка та технологія. 2019. № 2. С.84-96.
7. Osadchuk, E., Titlov, O. (2020). Analysis of the climatic features of the regions of the primary application of the systems for producing water from the atmospheric air. ScienceRise, 4, 3–9.
8. Тітлов О.С., Осадчук Є.О. Пошук енергоефективних режимів роботи систем отримання води з атмосферного повітря на базі абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів тепла і сонячних колекторів. Холодильна техніка та технологія. 2020. № 3-4. С.78-91.

УДК 621.575

## РОЗРОБКА АБСОРБЦІЙНИХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ МАЛОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

Пономарев К.М., аспірант, Тітлов О.С., д.т.н., професор  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

У світі завдання забезпечення продовольчої безпеки припускають [1]:

- а) формування мережі заготівельних пунктів;
- б) створення умов розширення чисельності об'єктів торгової інфраструктури;
- в) покращення транспортної доступності віддалених територій для гарантованого забезпечення основними видами харчових продуктів;
- г) первинну холодильну обробку у місцях заготівлі.

Реалізація цих заходів передбачає створення безперервного холодильного ланцюга, елементом якого є стаціонарні холодильники первинного охолодження та транспортні холодильники.

Такі холодильники мають попит у фермерських і селянських господарствах. Вони можуть використовуватися як у транспортному, так і стаціонарному виконанні. У першому випадку – для доставки на ринки та заготівельні пункти охолодженої та замороженої сільськогосподарської продукції. По-друге – для первинної холодильної обробки та низькотемпературного зберігання харчових продуктів та сировини в місцях заготівлі.

Використання компресійних моделей холодильників у всіх випадках передбачає наявність електричної енергії та певних температурних умов під час експлуатації.

У стаціонарних умовах роботи компресійні холодильники використовують мережеву електричну енергію, а під час роботи у транспортних умовах – енергію, що виробляється з допомогою дизель-генератора чи енергію, запасену в акумуляторних батареях.

У віддалених районах, у місцях заготівлі сільськогосподарської продукції найчастіше виникають проблеми з постачанням якісної електричної енергії, що призводить до нестабільної роботи компресійних холодильників.

Для надійної роботи компресійних моделей холодильників потрібна і певна температура зовнішнього повітря, яка унеможливорює загусання олії в компресорі. Чинні нормативні документи [2] допускають роботу компресорів у складі холодильних агрегатів лише за температури зовнішнього повітря вище плюс 10 °С.

Під час роботи компресійних моделей на транспорті передбачається і додаткова витрата палива для роботи дизель-генератора та наявність спеціальної системи термостатування компресора, що забезпечує певні температурні умови експлуатації.

Цікаві рішення завдань первинної холодильної обробки та зберігання сільськогосподарської продукції у місцях заготівлі та у транспортних умовах можуть бути знайдені за допомогою тепловикористовуючих холодильних машин. Такі машини можуть працювати на неелектричних джерелах теплової енергії, у тому числі і на альтернативних відновлюваних та непридатних джерелах тепла [3, 4].

Найбільші перспективи при роботі в районах із проблемною подачею електричної енергії та на транспорті мають абсорбційні водоаміачні холодильні машини (АВГМ) та агрегати безнасосного типу

Протягом століть людство використовувало різні системи охолодження. З минулого століття до сьогоднішнього дня системи компресійного охолодження використовуються в усьому світі для задоволення широких соціальних потреб у консервації продукції та кондиціонуванні приміщень.

Проте в останні десятиліття ці системи привернули увагу через вплив на довкілля їхнього невикорочного використання, передусім пов'язаного з їх високим енергоспоживанням та прямим і непрямим внеском у глобальне потепління.

В даний час пропонуються різні альтернативи традиційним системам охолодження. Однією з технологій, що пропонує деякі привабливі переваги в порівнянні з ними, є абсорбційні термотрансформатори (АТТ), які використовують низькопотенційне тепло як основне джерело енергії.

Таким чином, джерела енергії, такі як сонячна, геотермальна енергія та промислове тепло, демонструють значний потенціал для охолодження виробництва за допомогою абсорбційних систем.

На додаток до свого привабливого потенціалу, АТТ дає можливість використовувати природні холодоагенти, такі як вода або аміак, які, на відміну від деяких холодоагентів, що використовуються в системах стиснення, мають менший потенціал глобального потепління або руйнування озону або взагалі його не мають. Ще однією перевагою натуральних холодоагентів перед синтетичними є їх економічність та широка доступність.

Ці властивості в сукупності роблять АТТ привабливою альтернативою за наявності низькотемпературного джерела тепла. Незважаючи на описані переваги, одним із найбільш суттєвих недоліків цих систем є їхня менша ефективність у порівнянні з системами стиснення.

У зв'язку з цим в останні десятиліття значна частина досліджень АТТ була зосереджена на підвищенні їхньої продуктивності за допомогою різних стратегій, включаючи, серед іншого, проектування компонентів з використанням методів чисельного моделювання, оптимізації умов експлуатації, динамічного аналізу, нові робочі рідини, удосконалені цикли та інші дослідження.

Як перспективний об'єкт для вирішення завдань автономного охолодження невеликих об'єктів було обрано схему бромистолітєвеного термотрансформатора американської фірми «Arkla», яка спочатку була розроблена для роботи в системах домашнього кондиціонування повітря [5, 6].

Принципову схему такої установки наведено на рис.1.

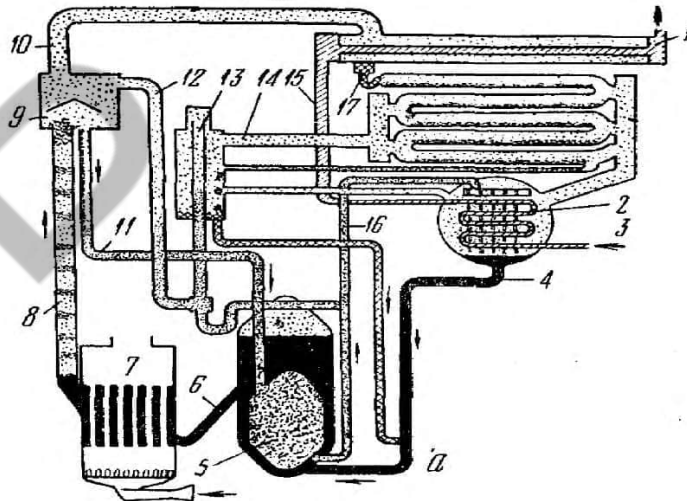


Рис.1 – Принципова схема установки «Arkla»

У схемі водяна пара і міцний розчин з кип'ятильника 7 потрапляє в сепаратор 9. Міцний розчин по трубі 11 через теплообмінник 5 надходить по трубі 16 в абсорбер 2, а водяна пара направляється по трубі 10 в конденсатор 1. Утворюється в конденсаторі дистилат випарник, де в процесі кипіння при низькому тиску виробляє штучний холод. Далі водяна пара надходить до абсорберу, в якому поглинається міцним розчином. Слабкий бромистолітєвий розчин, що утворюється, стікає в нижню частину апарату і по трубах 4 і 6 надходить назад в кип'ятильник.

Температура конденсації в такому термотрансформаторі лежить в діапазоні 40...45 °С, а кипіння 5...10 °С. Відповідно до цього максимальний перепад тисків між конденсатором і випарником, а також кип'ятильником і абсорбером не перевищує 600...700 мм. рт.ст. Вказана різниця тисків достатня для здійснення циркуляції за рахунок різниці густин парорідкісного потоку в кип'ятильнику та холодного слабкого розчину в абсорбері.

Проведений термодинамічний аналіз такої схеми показав, що для ефективної роботи такої схеми в системах з альтернативними джерелами поновлюваних теплової енергії з температурами до 100 °С слід звернути особливу увагу на кип'ятильник.

Кип'ятильник забезпечує як генерацію водяної пари (як холодильного агента), так і циркуляцію розчину. За попередніми оцінками, основні втрати від незворотності процесів теплообміну в кип'ятильнику становлю 60...65 %.

З урахуванням складності та взаємозумовленості процесів теплообміну та гідродинаміки при роботі кип'ятильника подальші дослідження передбачається на експериментальному стенді.

### Інформаційні джерела

1. Про продовольчу безпеку України: Закон України № 8370-1 за станом на 28.04.2011 р./Верховна Рада України. Київ: Парлам. Вид-во, 2011.

2. ДСТУ 3023-95 (ГОСТ 30204-95, ISO 5155-83, ISO 7371-85, ISO 8187-91). Прилади холодильні побутові. Експлуатаційні характеристики та методи випробувань. К., 1996. 22 с.

3. Іщенко І. М. Розробка методики розрахунку транспортних абсорбційних холодильних приборів для безперервного холодильного ланцюга//Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2009. № 35. Т.1. С. 174-178.

4. Dincer I., Ratlamwala T. A. Developments in Absorption Refrigeration Systems. Integrated Absorption Refrigeration System//Green Energy and Technology. 2016. P. 241–257. doi:10.1007/978–3–319–33658–9\_8

5. Abdullah Yildiz. Thermoeconomic analysis of diffusion absorption refrigeration systems//Applied Thermal Engineering. 2016. 99. 23–32. doi:10.1016/j.applthermaleng.2016.01.041.

6. Kholodkov A., Osadchuk E., Titlov A., Boshkova I., Zhykhareva N. Improving the energy efficiency of solar systems for obtaining water from atmospheric air //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. 3/8 (93). P. 41-51. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.13364.

**УДК 621.575.932:621.565.92**

## **РОЗРОБКА ПЕРСПЕКТИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ КОМБІНОВАНИХ АБСОРБЦІЙНИХ ПОБУТОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ**

**Гратій Т.І., PhD, старший викладач**

**Одеський національний технологічний університет, м. Одеса**

Перспективним напрямом в енергозберігаючих розробках є створення побутових приладів, що поєднують функції холодильного зберігання та теплової обробки харчових продуктів, напівфабрикатів та сільськогосподарської сировини. До складу таких приладів входить традиційна холодильна та додаткова тепла камера (ТК), температурні режими якої забезпечуються за рахунок утилізації скидного тепла холодильного циклу.

З усіх типів сучасного побутового холодильного обладнання необхідний температурний потенціал (вище 70 °С) мають лише теплорозсіюючі елементи абсорбційного холодильного агрегату (АХА) – ректифікатор та дефлегматор.

Термодинамічний та ексергетичний аналіз холодильного циклу АХА показав практичну доцільність використання скидного тепла з теплонавантажених елементів для підтримки температурного режиму додаткової теплової камери.

Таким чином, дослідження та розробки комбінованих побутових абсорбційних холодильних приладів, що поєднують функції охолодження та нагріву без додаткових витрат енергії, можуть вважатися актуальними.

На рис 1 наводиться перспективна конструкція комбінованого побутового приладу, в якому можна максимально використовувати теплоту дефлегмації абсорбційного холодильного циклу. Це досягається за рахунок повного розміщення підйомної гілки дефлегматора в об'ємі теплової камери 2, вертикальну підйомну ділянку дефлегматора не закривають тепловою ізоляцією.

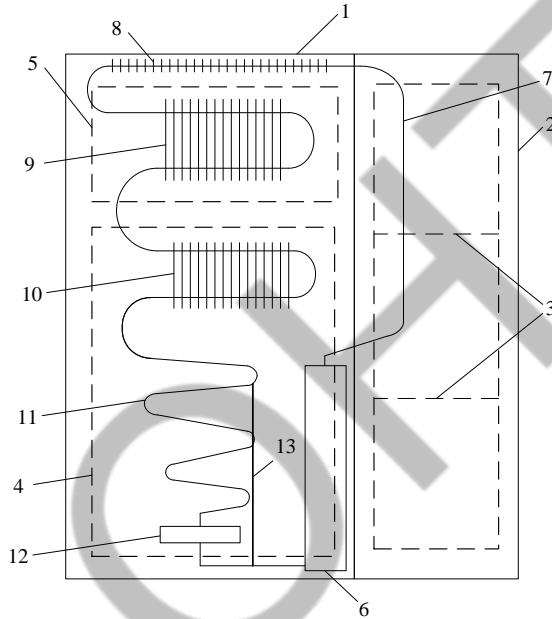


Рис. 1 – Перспективна конструкція комбінованого побутового абсорбційного холодильного приладу:

1 – корпус камер охолодження; 2 – корпус теплової камери; 3 – полиці теплової камери; 4(5) – ХК(НТО); 6 – генераторний вузол; 7 – підйомна магістраль дефлегматора; 8 – конденсатор; 9(10) – випарник НТО(ХК); 11 – абсорбер; 12 – ресивер міцного розчину; 13 – канал слабкого ВАР

Для реалізації такої технології тепла камера 2 розміщується з боку генераторного вузла АХА і висотою і глибиною повністю відповідає габаритам холодильної шафи 1. Робота такого комбінованого приладу здійснюється наступним чином:

При подачі теплового навантаження на генераторний вузол АХА 6 здійснюється генерація переважно парів аміаку з одночасним збідненням міцного водоаміачного розчину.

Парова водоаміачна суміш піднімається у верхню частину генераторного вузла 6 і підходить у підйомну гілку дефлегматора 7, а збіднений по аміаку «слабкий» ВАР надходить каналом 13 у верхню частину абсорбера 11.

У дефлегматорі 7 відбувається переважно конденсація пари висококиплячого компонента (води) з виділенням теплоти фазового переходу. Так як дефлегматор 7 має безпосередній контакт з корисним об'ємом теплової камери 2, відбувається постійний прогрів внутрішнього повітря. У верхній частині теплової камери температура максимальна, а в нижній частині мінімальна, з урахуванням такого природного розподілу температур встановлюються розділюючі полиці 3.

У верхній частині дефлегматора 7 відбувається повне очищення пари аміаку від пари води.

Чистий пар аміаку надходить у конденсатор 8, де скраплюється з відведенням теплоти фазового переходу в навколишнє середовище. Для підвищення ефективності теплоізоляції конденсації на конденсаторі встановлюють вертикальні ребра.

З конденсатора 8 рідкий аміак стікає у випарники 9 і 10. У випарнику 9 НТО 5 температура випаровування аміаку мінімальна, а випарнику 10 ХК 4 - максимальна. Випаровування аміаку відбувається в парогазове середовище (водень) з подальшим зростанням його парціального тиску.

Насичена аміаком парогазова водоаміачна суміш за рахунок більшої щільності опускається в абсорбер 11, де зустрічається з потоком слабкого ВАР, що надходить по каналу 13. В результаті контактної взаємодії слабкого ВАР і водневої аміачної суміші відбувається абсорбція пари аміаку.

Очищена від пари аміаку бідна парогазова суміш надходить назад у верхню частину випарника, а насичений аміаком (міцний) ВАР прямує через ресивер 12 в генераторний вузол 6 та цикл роботи повторюється.

Таким чином, у запропонованій конструкції з високою енергетичною ефективністю вирішуються завдання як низькотемпературної, так і теплової обробки харчових продуктів, напівфабрикатів та харчової сировини.

Аналіз відомих технічних рішень щодо організації перенесення тепла між джерелом тепла та теплообмінником показав, що найбільш ефективними є системи з безпосереднім підігрівом об'єкта впливу (продукту).

У зв'язку з цим передбачається наступна конструкція комбінованого побутового абсорбційного холодильного приладу (рис. 2).

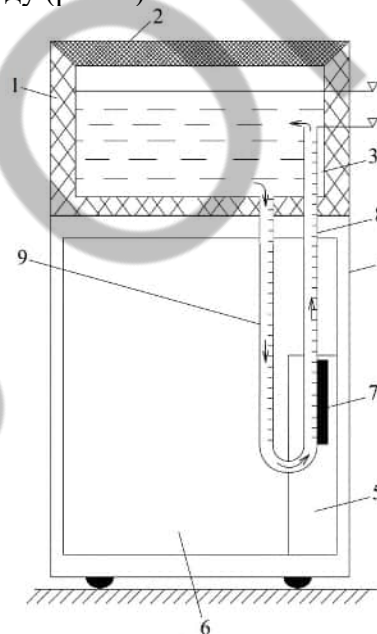


Рис. 2 – Схема комбінованого абсорбційного холодильного приладу з безпосереднім нагріванням рідини в тепловій камері: 1 – теплова камера; 2 – кришка теплової камери; 3 – рідина; 4 – камери охолодження; 5 – генераторний вузол; 6 – АХА; 7 – зона підводу тепла до циркуляційного контуру; 8 (9) – підйомна (опускна) магістраль контуру природної циркуляції

Запропонована схема підігріву найефективніша для рідинної теплової камери.

Теплова камера 1 встановлюється зверху камер 4 охолодження побутового холодильного приладу. Вона виконана у вигляді коробки з верхньою кришкою 2. Всі огорожувальні конструкції 1 камери теплоізолювані. Камера 1 заповнюється рідиною (водою) 3 рівня  $\nabla 1$ .

На задній стінці камер охолодження 4 розташовані теплорозсіювальні елементи АХА 6 з вузлом генераторним 5.

Для безпосереднього підігріву води 3 теплової камери 1 організований контур природної циркуляції з підйомною 8 і опускною 9 магістраллю.

Нижня частина підйомної магістралі 8 пов'язана в тепловому відношенні з джерелом 7 тепла (скидного тепла дефлегмації).

Вхід до опускної магістралі 9 знаходиться на рівні дна теплової камери, а вихід підйомної магістралі 8 знаходиться нижче рівня  $\nabla 1$ , тобто  $\nabla 1 > \nabla 2$ .

Робота пропонованої конструкції комбінованого побутового абсорбційного приладу здійснюється в такий спосіб.

При підведенні теплового навантаження генераторний вузол 5 здійснює генерацію пари, що містить переважно пар холодильного агенту -аміаку. Парова водоаміачна суміш надходить у дефлегматор, де очищується від пари води та нагрівається в конденсаторі АХА. У конденсаторі пар аміаку скраплюється з відведенням теплоти у довкілля.

У дефлегматорі АХА також відбувається конденсація. При цьому конденсат (флегма) складається переважно з води (висококиплячого компонента).

У пропонованому пристрої теплота дефлегмації не відводиться в навколишнє середовище, а за допомогою спеціально організованого теплового зв'язку 7 прямує в контур природної циркуляції підйомну магістраль 8.

Вода в магістралі 8 підігрівається, густина її знижується і вона піднімається у верхню частину теплової камери 1. Одночасно по опускній магістралі 9 холодна вода з нижньої частини теплової камери 1 подається в зону нагрівання 7 і циркуляційний цикл повторюється.

Таким чином, у запропонованій конструкції за рахунок мінімізації числа контактних термічних опорів здійснюється максимально ефективний процес нагрівання води за допомогою непрямой теплоти дефлегмації абсорбційно-дифузійного холодильного циклу.

Такий принцип роботи може теоретично використовуватися й у повітряних теплових камерах, проте низька ефективність процесів конвективного теплообмінника із боку повітря дозволяє працювати у режимі природної конвекції в контурі циркуляції.

Проте вирішити проблему можна за допомогою міні-вентиляторів, що працюють, наприклад, від термоелектричного генератора електричного струму.

Для роботи такого електрогенератора можна використовувати різницю температур між повітрям навколишнього середовища, що існує при реалізації абсорбційного холодильного циклу. ( $10 \dots 32^\circ\text{C}$ ) та дефлегматором ( $50 \dots 170^\circ\text{C}$ ).

**УДК 621.575**

## **РОЗРОБКА ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ КОМБІНОВАНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ДІЇ**

**Дмитренко Д.В., аспірант**

**Одеський національний технологічний університет, м. Одеса**

Бажання людей жити в комфортних умовах і користуватися всіма благами цивілізації нестримно зростає, як і вартість енергоносіїв, які забезпечують ці потреби, оскільки запаси традиційного палива – нафти, газу, вугілля, деревини виснажуються. Крім того, споживання природних ресурсів у необмежених кількостях (як це відбувається зараз) загрожує людству глобальною екологічною катастрофою. З цієї причини використання низькопотенційної енергії: ґрунту, води, повітря, непридатного тепла – це один із найбільш ефективних способів знизити рівень теплового забруднення планети та надати ефективну економічну альтернативу традиційним системам життєзабезпечення.

Дослідження показує, що відпрацьоване тепло становить близько 19 млрд. кВт/год загального обсягу споживання енергії у галузі, тобто. близько 25 %. Тут, отже, закладено великий потенціал для виробництва електроенергії та тепла, які можуть бути використані.

Проблеми енергозбереження в даний час мають важливе значення в першу чергу у зв'язку з обмеженістю природних ресурсів, нерівномірним їх розподілом, а також у зв'язку з дедалі більшим техногенним забрудненням навколишнього середовища, частиною якого є скидання холодильних машин.

Зменшення шкідливого впливу на довкілля може бути досягнуто підвищенням ефективності побутових теплових та холодильних систем як при їх створенні, так і в процесі експлуатації.

Життєва важлива проблема, що виникає у промисловості, а й під час використання побутових приладів – як ефективно використовувати обмежені джерела енергії.

У галузі побутової техніки до генеруючих систем відносяться тепловикористовуючі абсорбційні холодильні машини.

Перспективним, з погляду енергозбереження, напрямом у сучасній техніці є створення конструкцій комбінованих побутових абсорбційних холодильних приладів, що поєднують функції холодильного зберігання та теплової обробки харчових продуктів, напівфабрикатів та сільськогосподарської сировини. Теплова камера комбінованого абсорбційного холодильника в даний час може забезпечувати підтримання температурного рівня в межах від 25 до 70 °С, а в майбутньому можливе досягнення та високих температур. Застосування теплових камер орієнтоване насамперед для домашнього господарства різних кліматичних зон.

Використання теплових камер можливе для:

- збереження та підтримання температури на певному рівні (термостатування);
- підігріву продукту до заданої температури;
- різних видів технологічної обробки, внаслідок якої може бути отриманий новий продукт (сушіння, в'ялення, бродіння та ін.).

Під час проведення більшості побутових технологічних процесів температура вибирається у 70 °С. Для технологічних режимів з рівнем температур нижче 70 °С в тепловій камері (ТК) холодильника можуть бути використані пристрої, що дозволяють відводити нагріте повітря за межі камери, наприклад, шибери, заглушки і т.п. З усіх типів сучасного побутового холодильного обладнання такий температурний потенціал мають елементи абсорбційного холодильного агрегату (АХА) — дефлегматор і ректифікатор.

Розроблено різні схеми побутових холодильних приладів з додатковою ТК, що відрізняються: способом передачі тепла (безпосередній контакт дефлегматора та ТК, використання проміжних теплопередаючих пристроїв, у тому числі з ефектом «осмосу»); розташуванням ТК (згори холодильної шафи та в нижній частині); конструктивним виконанням ТК (однокамерна, двокамерна); джерелом непрямого тепла і, відповідно, температурним рівнем (конденсатор, дефлегматор).

Найбільш простий у конструктивному виконанні є схема з про-проміжним теплопередавальним пристроєм, що передбачає мінімум змін у складі побутового комбінованого приладу та АХА.

Розроблено та досліджено два типи таких побутових комбінованих приладів - з повітряної ТК та рідинної ТК (рис 1).

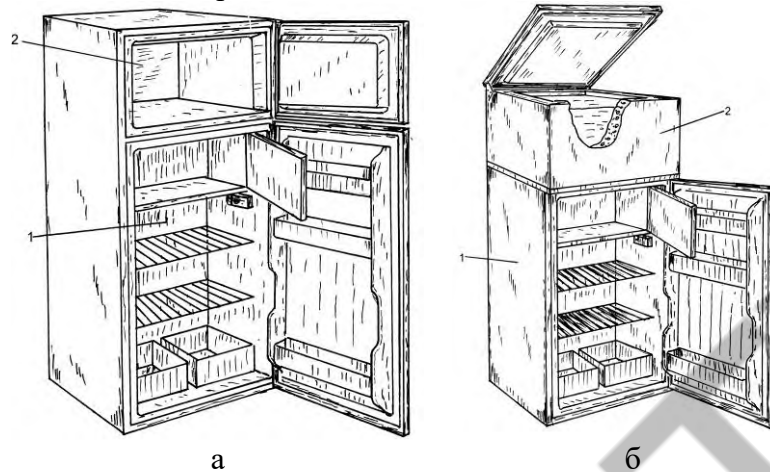
Розрахунок конструктивних параметрів ТК було проведено з теплового навантаження на підйомній ділянці дефлегматора 19...22 Вт.

Товщини теплоізоляції бічних стінок, дна та кришки визначені в результаті математичного моделювання нестационарних температурних полів.

При цьому враховувалися:

- орієнтація поверхонь камери та її тепловий зв'язок із холодильною камерою;
- конструктивні особливості ТК (повітряна камера виконана у вигляді шафи, а рідинна у вигляді скриньки);

– коефіцієнт робочого часу КРВ серійної моделі побутового однокамерного абсорбційного холодильника Кристал-408 АШ-150.



а) з повітряною з рідинною ТК; б) з рідинною ТК; 1- ТК; 2-холодильний прилад.  
Рис. 1 – Побутові комбіновані прилади – з повітряною ТК (а) та рідинною ТК (б).

Досвідчені конструкції було виготовлено на Васильківському заводі холодильників. У всіх випадках зовнішні геометричні параметри ТК становили: висота – 0,420 м; глибина – 0,540 м; ширина – 0,570 м; корисний об'єм – 35 дм<sup>3</sup>. Товщина теплоізоляції: бічних стінок – 0,080 м; дна – 0,075 м; кришки, задньої та передньої стінок – 0,10 м. У рідинній ТК внутрішній корпус був виготовлений у вигляді цілісного короба. Матеріал короба – нержавіюча сталь. Товщина стінки – 0,001 м.

Внутрішній корпус повітряної ТК виготовлений із харчового алюмінію. Товщина стінки становила – 0,001 м. Для забезпечення теплового зв'язку підйомної ділянки дефлегматора АХА з ТК використовувався двофазний термосифон (ДФТС) завдовжки 1,2 м та діаметром – 0,001 м.

Матеріал корпусу ДФТС – нержавіюча сталь. Теплоносій – етиловий спирт. Кріплення ДФТС до дефлегматора діаметром 0,016...0,0014 м здійснювалося за допомогою мідної стискаючої пластини, причому для зниження термічного опору в зоні контакту знаходився стислий високопористий пористий матеріал на основі міді, пори якого були заповнені теплопровідною пастою типу КТ. У всіх випадках випарна ділянка ДФТС кріпилася в нижній частині підйомної ділянки дефлегматора і встановлювалася паралельно до нього.

Довжина ділянки випаровування ДФТС у дослідженнях варіювалася шляхом зміни зони теплового зв'язку з дефлегматором. Транспортна зона ДФТС закривалася теплоізоляційним кожухом. Довжина конденсаційної ділянки ДФТС не змінювалася і становила 0,3 м. Дослідження теплових режимів ТК здійснювалося як у стаціонарному (в «жорстких» умовах -  $t_{0.c} = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , КРВ = 1), так і в перехідних ( $t_{0.c} < 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , КРВ < 1) режимах роботи АХА. В результаті досліджень було визначено оптимальну довжину випарної ділянки ДФТС — 0,15 м. На виході цієї ділянки температура дефлегматора становить 73...76 °С. Найбільш сприятливими умовами для ТК були режими з підвищеними температурами навколишнього середовища, коли знижуються теплові втрати, а КРВ АХА і відповідно період подачі теплового навантаження збільшується. У зв'язку з недостатньою величиною теплової потужності дефлегматора для підігріву води чи іншої рідини в ТК вивчалася робота апарату як термостатирования. У цьому випадку вода нагрівалася до температури 60 °С спеціальним електронагрівачем, а після його відключення теплові втрати в навколишнє середовище компенсувалися за рахунок підведення тепла від дефлегматора, що дозволяло підтримувати температуру ТК в діапазоні 55...65 °С. З урахуванням результатів експериментальних досліджень проведено варіантний розрахунок товщини теплоізоляції ТК. Для створення деякого запасу розрахунок проведено при  $t_{0.c} =$

20 °С КРВ = 0,55 і представлений у вигляді номограм. Розглянуто два варіанти теплоізоляції — пінополіуретан та скловолокно, при цьому зафіксовано зовнішню ширину (0,570 м) та глибину (0,54 м), відповідно до стандартних розмірів холодильної шафи. Вибір певної конструкції ТК проводиться з урахуванням наявного теплового навантаження підйомної ділянки дефлегматора з температурним рівнем 70 °С і вище, при цьому параметрами, що варіюються, є: тип теплової ізоляції (вартість); корисний обсяг ТК; висота ТК.

### Висновок

1. Слід зазначити, що при вдосконаленні комбінованого побутового холодильника з двоступінчастим конденсатором забезпечується нагрівання води в термоізованому автономному блоці від 25 °С до 42 °С. Що значно менше за температуру в ТК при розробці побутових комбінованих приладів абсорбційного типу, температура повітря в яких може досягати 70 °С.

2. Встановлено, що перспективним напрямом енергозбереження побутової техніки є розробка приладів, що поєднують функції холодильного зберігання та теплової обробки харчових продуктів, напівфабрикатів та 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.

3. Доцільно проводити подальші дослідження та розробки в галузі комбінованих побутових приладів.

УДК 664.723.047

## СУШІННЯ НАСІННЕВОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦІ В РЕЖИМІ ПУЛЬСУЮЧОГО МІКРОХВИЛЬОВОГО НАГРІВУ

Бошкова І. Л., д.т.н. професор, Волгушева Н. В., к.т.н. доцент, Капауз К. О., аспірант  
Одеський національний технологічний університет, м., Одеса

Підвищення схожості насінневого матеріалу зернових та олійних культур в загальнодержавному масштабі дозволить збільшити прибуток від зменшення витрат насінневого матеріалу і суттєво підвищити врожайність [1]. Сушіння повинно знизити вологовміст в насінні до безпечних меж, щоб зберегти його життєздатність під час зберігання, яке в іншому випадку може швидко зіпсуватися через ріст цвілі, нагрівання та активізацію мікробів [2]. Сушіння насіння також дозволяє ранній збір, тривале зберігання насіння, більш ефективне використання землі та робочої сили та отримання високоякісного продукту [3]. Метою роботи є отримання даних за кінетикою сушіння насіння пшениці при пульсуючому мікрохвильовому підводі енергії та оцінка посівних якостей зерна після сушіння.

В експериментах проводилося дослідження сушіння пшениці при середній потужності магнетрону  $P=300$  Вт,  $P=180$  Вт та  $P=100$  Вт. Пульсуючий режим полягав у механізмі підведення мікрохвильової енергії: при  $P=300$  Вт  $\tau_{\text{МВ}}=10$  с, пауза  $\tau_{\text{п}}=25$  с; при  $P=180$  Вт  $\tau_{\text{МВ}}=5$  с, пауза  $\tau_{\text{п}}=25$  с; при  $P=100$  Вт тривалість включення магнетрону  $\tau_{\text{МВ}}=3$  с, пауза  $\tau_{\text{п}}=25$  с. Досліджувалась кінетика сушіння пшениці твердих та м'яких сортів. На рис. 1 представлені результати дослідження кінетики сушіння твердої пшениці в залежності від часу і потужності магнетрону.

Аналіз графіків показує, що на всіх обраних рівнях потужності можна визначити періоди постійної швидкості сушіння, причому зниження потужності призводить до більш придатних для насінневого зерна температурним режимам. Зміна вологовмісту носить

рівномірний характер. Подібні криві отримані також для дослідження кінетики сушіння пшениці м'якої. темп нагрівання вищий для пшениці м'якої, ніж для твердої пшениці. Це можна пояснити таким. Незважаючи на однаковий початковий вміст вологи, форма зв'язку вологи може бути різною. Можна припустити, що частка вільної вологи вище у м'якої пшениці, що дозволяє дипольним молекулам води інтенсивно переорієнтуватися в мікрохвильовому полі. Внаслідок цього більша частка мікрохвильової енергії перетворюється на теплову. Як результат, швидкість сушіння виходить вищою для м'якої пшениці в порівнянні з твердою. На рис. 2 наведено графіки швидкості сушіння шару пшениці в залежності від потужності, що підводиться, і сорту зерна.

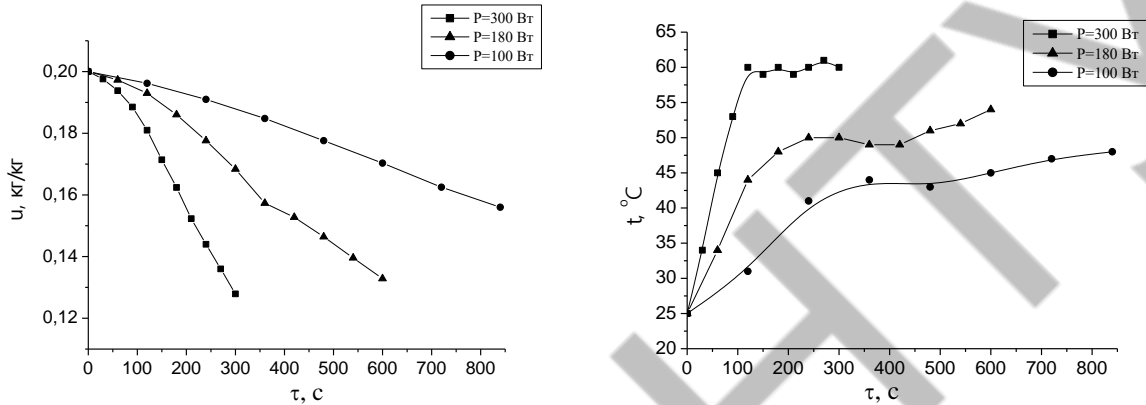


Рисунок 1 – Кінетика сушіння щільного шару зерна пшениці твердої в пульсуючому режимі МХ сушіння  
а – зміна вологовмісту в часі, б – зміна температури матеріалу в часі

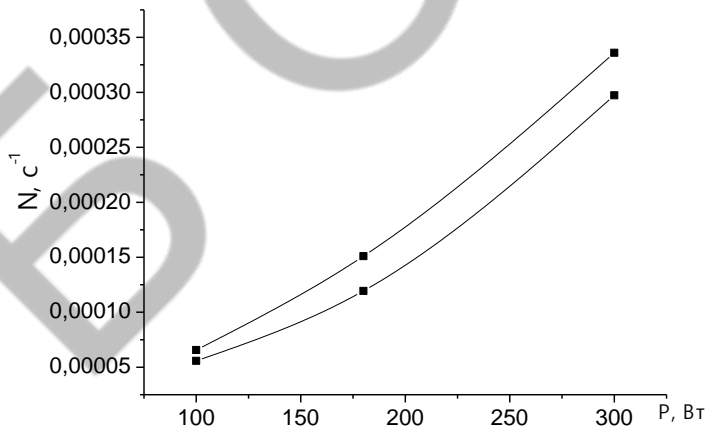


Рисунок 2 – Залежність швидкості сушіння пшениці м'якої (верхня лінія) та твердої (нижня лінія) від вихідної потужності магнетрону

Видно, що залежність швидкості сушіння від потужності має нелінійний характер. У зазначеному діапазоні параметрів ця залежність може бути представлена у такому вигляді:

$$N = 7 \cdot 10^{-8} \cdot P^{1,486} \cdot \zeta^{-0,356}, \text{ c}^{-1}$$

де  $\zeta$  - характеристика зерна, для м'якої пшениці  $\zeta=1$ , для пшениці твердої  $\zeta=2$ .

Похибка емпіричної формули становить 4,2% у вказаному діапазоні досліджуваних параметрів.

Згідно даним за посівними якостями насіння після сушіння в різних режимах пульсуючого мікрохвильового нагріву, МХ потужність  $P=300$  Вт неприпустима для сушіння насінневого зерна. Також питома потужність  $0,18$  Вт/кг призводить до пригнічення проростання насіння. МХ потужність  $P=100$  Вт не призводила до зниження посівних

якостей, тому значення питомої потужності 0,1 Вт/кг рекомендується до використання в процесах сушіння насінневого зерна.

### Інформаційні джерела

1. Пазюк В. М. Теплотехнічні основи сушіння насінневого зерна – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика (144 – Теплоенергетика) – Інститут технічної теплофізики НАНУ, Київ, 2019. – 41 с.
2. Effects of Drying Methods on the Physicochemical and Functional Properties of Cinnamomum camphora Seed Kernel Protein Isolate / M. Ye et al. *Foods*. 2024. Vol. 13, no. 6. P. 968. URL: <https://doi.org/10.3390/foods13060968>.
3. Characteristic of Corn drying (*Zea Mays* L) using recirculated column dryer / J. N. W. Karyadi et al. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 355. P. 012047. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/355/1/012047>.

УДК 621.355.9

## КІНЕТИКА СУШІННЯ ЦЕОЛІТІВ 13X ТА 4A В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ

Гречановський А. П., аспірант, Тортіка Д. М., аспірант  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

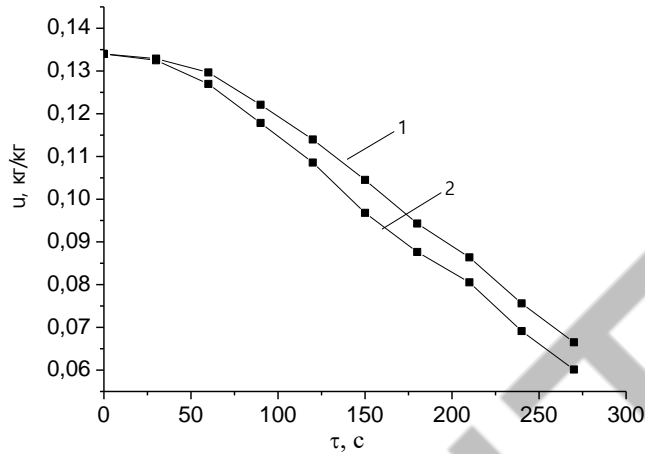
Методи нагрівання на основі енергії мікрохвильового поля, на відміну від відомих процесів, дають можливість перетворювати енергію в тепло безпосередньо в об'ємі шару і, таким чином, оминати обмеження, пов'язані з перенесенням тепла теплопровідністю. Перетворення енергії МХ поля в теплову в об'ємі матеріалу здатне призвести до унікальних ефектів, які не проявляються при застосуванні традиційних способів термообробки, як то зміна внутрішньої структури матеріалу, що дає можливість отримати кінцевий продукт з якісно новими властивостями, що спостерігається при регенерації цеолітів або при спіканні порошків для технічної кераміки. Процеси, засновані на МХ нагріванні матеріалів, що характеризуються достатньо високими діелектричними коефіцієнтами, або мають в своєму складі речовини з властивостями полярних молекул, мають великий потенціал енергоефективності. Нагрівання у мікрохвильовому полі є альтернативою традиційним методам, проте для багатьох технологій в промислових масштабах не використовується. Одна з причин цього полягає в тому, що мікрохвильове (МХ) нагрівання при недостатньо вивчених особливостей поглинання МХ енергії конкретним матеріалом може призводити до негативних явищ, таких як великі температурні неоднорідності, локальне перегрівання, низький ККД перетворення енергії мікрохвильового поля у внутрішню енергію матеріалу.

В даній роботі представлені результати досліджень сушіння щільного шару цеоліту 13X та 4A в мікрохвильовому полі та оцінка впливу діелектричних характеристик на енергоефективність перетворення МХ енергії в теплоту. Методика проведення експериментів, експериментальна установка та алгоритм обробки даних наведені в [1]

На рис. 1 представлений графік зміни вологовмісту цеолітів при мікрохвильовому сушінні.

Графік (рис. 2) показує, що цеоліт 13X нагрівається більш інтенсивно в порівнянні з цеолітом 4A. Проте відмінності незначні. Порівняння температурних кривих має значення в питаннях вибору типу цеолітів. Підвищення температури в процесі десорбції призводить

до підвищення водоадсорбційної здатності адсорбенту в подальшій адсорбції [2]. Крім того, коли регенерація виконується при температурі нижче 80°C, продуктивність зволоження/осушення сильно знижується через недостатню десорбцію води.



1 - цеоліт 4А, 2 - цеоліт 13Х

Рис. 1 – Зміна вологовмісту цеолітів при сушінні в мікрохвильовому полі. Вихідна потужність магнетрону P=1 кВт, маса матеріалу m=300 г

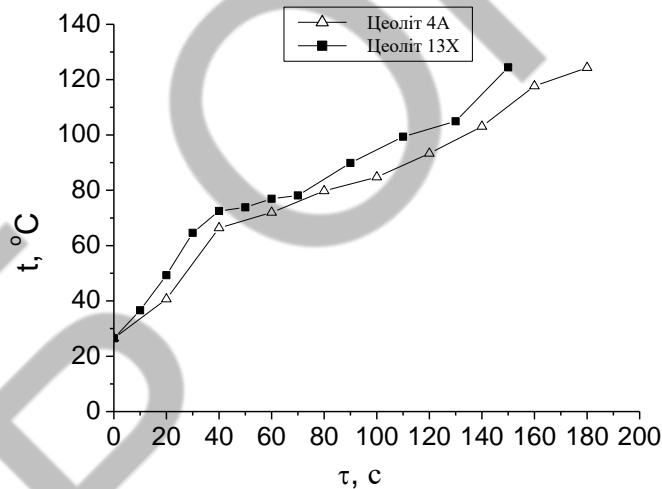


Рис. 2 – Графік зміни температур цеолітів при мікрохвильовому сушінні

Діелектричні властивості цеоліту 13Х та 4А, які суттєво впливають на перетворення енергії МХ поля в теплову та потрібні для порівняння енергетичної ефективності, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Діелектричні властивості цеолітів

Цеоліт	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\text{tg}\delta$	$\alpha, \text{м}^{-1}$	$\Delta, \text{м}$
13Х (NaX)	3,5	0,55	0,157	9,93	0,10
4А (NaA2)	3,62	0,36	0,10	6,55	0,153

Аналіз потоків теплоти, що йдуть на нагрівання матеріалу та випаровування вологи, показав, що при  $t \geq 80$  °C спостерігається перерозподіл потоків: теплота випаровування починає перевищувати тепло нагріву. Передбачається, що починає впливати ефект бародифузії, завдяки якому всередині зерен цеоліту інтенсифікується процес перенесення вологи, спрямований на поверхню. Зниження ККД в кінці процесу сушіння пов'язане зі зниженням теплоти нагріву, що може бути пов'язане з погіршенням діелектричних

характеристик. ККД нагріву для маси 200 і 300 г в інтервалі часу 60 ... 200 с практично збігаються.

Основною причиною нерівномірного нагріву зразків є різке збільшення значення фактора діелектричних втрат зі зростанням температури. Нерівномірність нагріву викликає негативні наслідки для технологічного процесу та пов'язане з поганою керованістю звичайних НВЧ-джерел живлення, тобто магнетронів. В умовах проведення експериментів з цеолітами 13X та 4A товщина зразків була значно менш глибини проникнення мікрохвильової енергії в шар матеріалу, тобто умови рівномірного нагріву виконувались.

### Інформаційні джерела

1. Експериментальне дослідження сушіння цеоліту «4а» у мікрохвильовому полі / І. Л. Бошкова та ін. *Refrigeration Engineering and Technology*. 2023. Т. 59, № 3. С. 197–204. URL: <https://doi.org/10.15673/ret.v59i3.2658>.

2. Вивчення перспектив застосування цеолітів для теплових акумуляторів / І. Л. Бошкова та ін. *Refrigeration Engineering and Technology*. 2021. Т. 57, № 3. С. 196–205. URL: <https://doi.org/10.15673/ret.v57i3.2171>.

УДК 533.9.082.74

## ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТУ ЗА ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГІЇ МІКРОХВИЛЬОВОГО ПОЛЯ

Борець С. О., аспірант, Галкін О. І., аспірант  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Мікрохвильове нагрівання є одним із перспективних підходів до очищення забрудненого ґрунту [1], і теплові ефекти, що лежать в основі, варті вивчення. Техніко-економічний аналіз обробки забрудненого вуглеводнями ґрунту за допомогою мікрохвильового нагріву, вплив текстури та вологості ґрунту на проникнення електричного поля, умови експлуатації та енергетичні витрати наведені в [2].

Природні ґрунти, як відомо, є надзвичайно складними сумішами речовин, тому опис індивідуальних досліджень властивостей ґрунту з точки зору їх впливу на діелектричне нагрівання ускладнюється [3]. Особлива увага приділялася вологості ґрунту, тому що вона істотно впливає як на характеристики процесу нагрівання, так і на процеси усунення забруднюючих речовин. В [4] представлена мікрохвильова техніка, яка виконує ремедіацію ґрунтів, забруднених леткими органічними сполуками (ЛОС), на основі використання електромагнітних полів для операцій нагрівання. Увага зосереджена на тепло- і масообміну, що відбувається в пористих зволжених середовищах, таких як ґрунтова матриця. Досліджено процес мікрохвильової дистиляції водяною парою. Складним підзавданням у галузі рекультивации ґрунту є розробка методів термічного очищення ґрунту на місці, використання яких дозволяє заощадити на дорогих технологічних етапах виїмки ґрунту, транспортування та повторного засипання. Таким чином, дослідження процесу ремедіації ґрунту в умовах мікрохвильового нагрівання уявляється важливою задачею для теплоенергетичної галузі.

Експериментальні дослідження були спрямовані на визначення енергоефективності МХ нагрівання ґрунту. Дослідження проводились на установці, представленої в [5].

Матеріал завантажувався у ємність та зважувався. Зразок з необхідною масою містився в мікрохвильову камеру, де витримувався певний проміжок часу, після вимикання

зразок виймався з камери. Далі проводилося вимірювання температури за допомогою мідь-константанових термопар у 3 точках шару (поверхня, центр, дно).

Для досліджень було обрано чорноземний ґрунт щільністю  $\rho=1150 \text{ кг/м}^3$ . Для визначення початкового вмісту вологи ґрунт висушувався до нульового і по різниці між зважуваннями розраховувалося початкове.

Показниками, що характеризують режими роботи мікрохвильових апаратів, є ефективність використання електроенергії та потужність, що йде на зростання температури зразка і випаровування вологи. Ці показники визначають коефіцієнти корисної дії магнетрону  $\eta_m$ , камери  $\eta_k$  та коефіцієнт використання теплової енергії  $\eta_T$ . ККД магнетрону визначається наступним співвідношенням:

$$\eta_m = \frac{P_{\text{вих}}}{P_c}, \quad (1)$$

де  $P_{\text{вих}}$  – вихідна потужність магнетрону, Вт;  $P_c$  – споживана потужність мікрохвильової камери, що визначається за пастортними характеристиками.

Для енергоефективності необхідно знати, яка частина мікрохвильової енергії перетворилася на теплову енергію  $Q_m$ , в складі якої враховується частка на нагрівання самого матеріалу  $Q_{\text{мат}}$  та випаровування вологи  $Q_{\text{вип}}$ , що становить корисно використовувану теплоту  $Q_{\text{кор}}$ , а також втрати в довкілля за рахунок променистого  $Q_p$  і конвективного  $Q_k$  теплообміну та втрати на нагрівання діелектричної комірки  $Q_{\text{ком}}$ :

$$Q_m = Q_{\text{мат}} + Q_{\text{вип}} + Q_k + Q_p + Q_{\text{ком}}. \quad (2)$$

При діелектричному нагріванні під дією електромагнітного поля контейнери, повітря та стінки робочої камери практично не нагріваються. Але у зв'язку з виникненням в результаті нагріву перепаду температур між ґрунтом, що обробляється, і навколишнім середовищем виникають тепловтрати.

Коефіцієнт корисної дії камери визначається відношенням теплоти  $Q_m$  до вихідної потужності магнетрону  $P_{\text{вих}}$ :

$$\eta_{\text{кор}} = \frac{Q_m}{P_{\text{вих}}}, \quad (3)$$

Зі збільшенням втрат теплоти знижується коефіцієнт використання теплової енергії  $\eta_T$ , який визначається наступним співвідношенням:

$$\eta_T = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_m}, \quad (4)$$

Визначимо втрати у навколишнє середовище за рахунок конвективного теплообміну:

$$Q_k = \alpha \cdot F \cdot \Delta t, \quad (5)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>К);  $\Delta t$  – різниця температур поверхні тіла та навколишнього середовища °С;  $F$  – площа теплопередаючої поверхні, м<sup>2</sup>.

Тепловіддача здійснюється за природної конвекції. Визначальна температура.

Коефіцієнт корисної дії мікрохвильової камери при завантаженні шару ґрунту товщиною 0,02 м масою 0,4 кг складає 82 %, проте загальний ККД з урахуванням ККД магнетрону  $\eta=0,63$  %. Можна зробити висновок, що використання МХ обробки доцільно в методі обробці ґрунту. Результати [6] показують, що 98,95 і 96,39% загального вмісту нафтових вуглеводнів (ТРН) в легкому і сильно забрудненому сировою нафтою ґрунті можна видалити за 15 і 20 хвилин при 1000 Вт, тоді як залишкові ТРН становлять близько 143,2 і 401,4 мг/кг відповідно. Це вказує на те, що видалення легкої сирової нафти з ґрунту є набагато ефективнішим і споживає менше енергії через різницю у механізмі видалення для різних фракцій. Порівняння методів нагрівання ґрунтів, забрудненими нафтопродуктами, показує, що тривалість та енергозатрати значно вище при нагріванні сухою парою внаслідок того, що потребується більш висока температура, яка відповідає температурі кипіння нафтової фракції. При МХ нагріванні, хоча об'ємна температура ґрунту, забрудненого вуглеводнями, залишається близько 100 °С, речовини з температурами

кипіння 218 °С - 400 °С видаляються повністю. Це пояснюється виборчим підігрівом, за яким створюються локальні температури у структурі ґрунту, достатні для залучення вуглеводневих забруднювачів у пару.

### Інформаційні джерела

1. Thermal Effects of Microwaves in Contaminated Soil Remediation / C. Zhou et al. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2022. Vol. 233, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05497-w>.
2. Falciglia P. P., Vagliasindi F. G. A. Techno-economic analysis of hydrocarbon-polluted soil treatment by using ex situ microwave heating: influence of soil texture and soil moisture on electric field penetration, operating conditions and energy costs. *Journal of Soils and Sediments*. 2015. Vol. 16, no. 4. P. 1330–1344. URL: <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1130-6>.
3. Chantrey P. Industrial Microwave Heating. *Electronics and Power*. 1983. Vol. 29, no. 9. P. 659. URL: <https://doi.org/10.1049/ep.1983.0309>.
4. Acierno D., Barba A. A., d'Amore M. Microwaves in soil remediation from VOCs. 1: Heat and mass transfer aspects. *AIChE Journal*. 2003. Vol. 49, no. 7. P. 1909–1921. URL: <https://doi.org/10.1002/aic.690490726>.
5. Експериментальне дослідження сушіння цеоліту «4а» у мікрохвильовому полі / І. Л. Бошкова та ін. *Refrigeration Engineering and Technology*. 2023. Т. 59, № 3. С. 197–204. URL: <https://doi.org/10.15673/ret.v59i3.2658>.
6. Microwave Heating Remediation of Light and Heavy Crude Oil-Contaminated Soil / X. Chen et al. *Energy & Fuels*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.3c00078>.

УДК621.56:622.691.6:629.114

## МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРАТОУТВОРЕННЯ НА ПОВЕРХНІ ГАЗОВОЇ БУЛЬБАШКИ ПРИ КОНВЕКТИВНОМУ ТЕПЛООБМІНІ

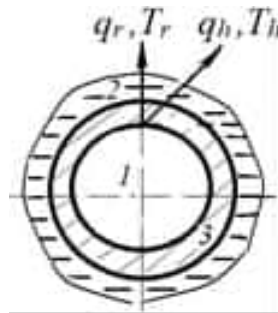
Босий М.В. старший викладач, Клименко В.В. д.т.н., професор  
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,  
[bosiymv@ukr.net](mailto:bosiymv@ukr.net); [klymvas@ukr.net](mailto:klymvas@ukr.net)

Газогідратні технології надають можливість з більшою ефективністю, порівняно з існуючими, виробляти і акумулювати холод, транспортувати природний газ, виробляти біометан, стискувати гази до високих тисків, утилізувати і схороняти CO<sub>2</sub> та ін. [1,2]. Застосування таких технологій займає важливе місце в задачах розробки покладів метангідратів, зокрема, в Чорному морі [3].

В газогідратних технологіях одним із основних є процес гідратоутворення, для здійснення якого часто пропонуються прості за конструктивним рішенням вертикальні барботажні кристалізатори. Нами розглядається спрощене моделювання гідратоутворення на поверхні газової бульбашки в кристалізаторі такого типу в наближенні одномірної задачі теплопровідності, а на рис.1 надано схему спрощеної фізичної моделі процесу теплообміну при гідратоутворенні на поверхні бульбашки.

В нашій моделі розглядається процес гідратоутворення з моменту утворення газогідратної кірки (оболонки) на зовнішній поверхні бульбашки. Вважаємо, що ця кірка непроникна для газу, але проникна для води за рахунок капілярних сил. Проникнення води супроводжуватиметься утворенням газогідратів на границі контакту фаз «газ-вода» і відповідним збільшенням товщини газогідратної кірки та зменшенням маси і об'єму газу під кіркою. Для забезпечення термодинамічних параметрів такого процесу

гідратуутворення необхідно, щоб  $T_r$  була менше  $T_h$  при відповідному тиску. Відомо, що теплопровідність газогідратів суттєво нижча, ніж льоду і близька до теплопровідності води. Тому можна вважати, що фактором, який лімітує утворення гідрату в розглянутих умовах, є інтенсивність відведення теплоти для підтримання необхідної величини температури  $T_h$  [4], а не кінетичний фактор [5].



1- газова бульбашка; 2 - вода; 3 - газогідратна кірка;  $q_h$  – питомий тепловий потік внаслідок утворення газогідрату;  $T_h$  – температура гідратуутворення;  $q_r$  – питомий тепловий потік від поверхні бульбашки до водного середовища;  $T_r$  – температура води

Рис. 1 – Схема спрощеної фізичної моделі теплообміну при гідратуутворенні на поверхні бульбашки

Якщо знехтувати теплоємністю гідратної кірки в порівнянні з теплою, яка виділяється при гідратуутворенні, то можна записати :

$$q_r = q_h \quad (1)$$

де  $q_r$  – питомий тепловий потік між газогідратною кіркою бульбашки та водним середовищем, який визначається з умов конвективного теплообміну;

$q_h$  – питомий тепловий потік внаслідок утворення газогідрату:

$$q_h = J_h \cdot \Delta H_h \quad (2)$$

де  $J_h = (1 - m)\rho_h r$  – інтенсивність утворення гідрату, яка віднесена до одиниці площі поверхні фазового переходу;  $\Delta H_h$  – теплота фазового переходу;  $\rho_h$  – густина газогідрату;  $m$  – маса

гідратної частинки;  $r$  – швидкість гідратуутворення.

На основі запропонованої моделі виконано чисельні розрахунки динаміки гідратуутворення на прикладі бульбашок метану з початковим радіусом  $r_q = 1; 1,5; 2$  мм. Результати розрахунків залежності радіуса газового ядра  $r_q$  і товщини гідратної оболонки  $\delta$  від висоти  $h$  при русі газової бульбашки з початковим діаметром : 1=1мм; 2=1,5 мм; 3=2 мм приведено на рис.2

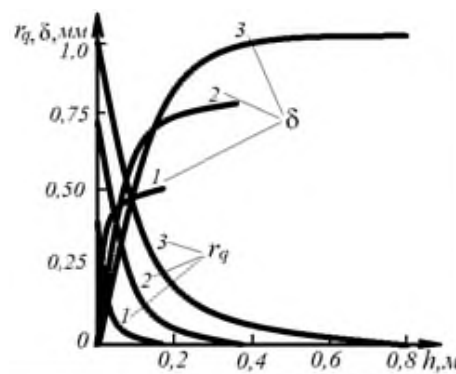


Рис. 2. – Залежність радіуса газового ядра  $r_q$  і товщини гідратної оболонки  $\delta$  від висоти  $h$  при русі газової бульбашки з початковим діаметром : 1=1мм; 2=1,5 мм; 3=2 мм.

З отриманих результатів випливає, що для початкових розмірів бульбашок газу  $r_q = 1; 1,5; 2$  мм повне гідратуутворення досягається відповідно на висоті  $h = 0,2; 0,4; 0,8$  м. При цьому

основні зміни  $r_q$  і  $\delta$  для всіх початкових розмірів бульбашок газу досягаються на рівні висоти  $\approx 0,5 h$  повного гідратування.

Наприкінці слід відмітити, що розглянута модель і отримані результати відносяться до гідратування окремої бульбашки газу. Вони можуть бути корисними для попередніх розрахунків. Але для опису гідратування в умовах масового барботажу, характерного при практичній експлуатації вертикальних кристалізаторів газогідратних установок, більш продуктивним може бути моделювання на основі стохастичного підходу [6].

### Інформаційні джерела

1. Клименко В.В. Науково-технічні основи газогідратної технології (термодинаміка та кінетика процесів, схемні рішення): автореф. дисертації д-ра. техн. наук: 05.14.06. Київ, 2012. 40 с. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/11011>

2. Босий М.В., Клименко В.В., Магопєць С.О., Гарасьова Н.Ю., Овчаренко А.О. Підвищення ефективності автомобільної газонаповнювальної компресорної станції шляхом застосування газогідратного акумулятора. / *Refrigeration Engineering and Technology*. 2021. 57(1). С.45-54.

3. Vasyl Klymenko, Serhii Ovetskyi, Viktor Martynenko, Oleg Vytyaz, Andrii Uhrynovskiy. An alternative method of methane production from deposits of subaquatic gas hydrates. / *Mining of Mineral Deposits*, Volume 16 (2022), Issue 3. P.11-17. <https://doi.org/10.33271/mining16.03.011>.

4. Gumerov N.A., Chahine G. L. Dynamics of bubbles in conditions of gas hydrate formation. 8-th International Offshore and Polar Engineering Conference. Montreal. Canada. May 24-29, 1998. P.1-8. <https://www.umiacs.umd.edu/publications/dynamics-bubbles-conditions-gas-hydrate-formation>.

5. Vysniauskas A., Bishnoi P.R. A kinetic study of methane hydrate formation. *Chem. Eng. Sci.* 1983. Vol. 38. P. 1061–1072. [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(83\)80027-X](https://doi.org/10.1016/0009-2509(83)80027-X)

6. Vasyl Klymenko, Vasyl Gutsul, Volodymyr Bondarenko\*, Viktor Martynenko, Peter Stets. Modeling of the Kinetics of the Gas Hydrates Formation on the Basis of a Stochastic Approach. / *Solid State Phenomena* (Volume 291). 2019. P.98-109; <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.291.98>

**УДК 621.565.9**

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ТОРГІВЛІ

**Семенюк Д.П., к.т.н., доцент, Якушенко Є.М., к.т.н., доцент  
Державний біотехнологічний університет, м. Харків**

Енергозбереження стало не просто трендом сучасності, енергетична ефективність холодильного обладнання для магазину є конкурентною перевагою і показником успіху. Нещодавно набула чинності Кігалійська поправка до Монреальського протоколу, що обмежує торгівлю відносинами з країнами, що не прийняли її. За умовами виправлення необхідно до 2036 року поетапно знизити споживання гідрофторвуглецевих холодоагентів, замінивши їх на гідрофторолефіни, які швидше розпадаються в атмосфері. Поняття енергоефективності полягає не в економії ресурсів, а в раціональному їх використанні для отримання найбільшої користі. Одним із показників вважається енергоємність, яка визначається часткою енергії у загальній вартості виробленої продукції. При зниженні енергоємності зменшується собівартість продукту, зростає вигода.

Для холодильного обладнання продукцією є кількість холоду. Енергетична ефективність передбачає створення балансу між споживаною агрегатом енергією і холодопродуктивністю. Кількість холоду, що виробляється, повинна бути не більше і не менше необхідного для конкретних умов. Наприклад, для холодильних камер розрахунок враховує кількість спожитого холоду в одиницю часу на тонну продукції. Енергоефективність холодильного агрегату залежить від: вибраної схеми циклу; температурного графіка робочої речовини; можливості швидко та плавно регулювати режим роботи компресорів, насосів, вентиляторів; теплофізичних властивостей конструкцій, що захищають; параметрів зовнішнього та внутрішнього середовища; характеристик теплообмінників; завантаження охолоджуваного об'єму та інших факторів. Оптимізація поєднання всіх показників дозволяє отримати максимальну користь за мінімальних витрат.

Одним із показників є клас енергоефективності. Це поняття враховує обсяг приміщення, що охолоджується, кліматичний клас, діапазон температур, рівень споживання електричної енергії, режим експлуатації та інші параметри. Клас залежить від індексу енергетичної ефективності, основою якого є кількість спожитої електрики протягом року. Найвищий A+ показує, що у процесі експлуатації вдається заощадити до 45% ресурсів. Для низьких класів витрати можуть становити понад 100%. Енергоефективність холодильного обладнання впливає на обслуговування магазину. Холодильне торгове обладнання використовується для демонстрації та зберігання товарів. Холодильні вітрини, морозильні скрині, холодильні камери працюють цілодобово і споживають велику кількість електроенергії. Капітальні витрати на придбання енергоефективного холодильного обладнання вищі, ніж при купівлі класичного обладнання. Але чим менше електроенергії споживає обладнання, тим коротший термін окупності. Застосовуючи різні прийоми підвищення енергоефективності, можна досягти зниження енерговитрат до 30% і підвищення продуктивності до 25%.

Енергоефективність холодильного обладнання на підприємствах торгівлі найчастіше підвищують такими методами:

- електронні терморегулюючі вентилі дозволяють зменшити тиск конденсації, від чого скорочується час роботи компресорів;
- налаштування за допомогою програмованих контролерів плаваючого тиску конденсації пов'язує показники зовнішнього середовища з параметрами теплообмінника. Різниця тисків зберігається постійною за будь-яких змін погоди, що дозволяє зменшити споживання електрики в перехідні періоди;
- попереднє встановлення фіксованої мінімальної температури конденсації змушує параметри прагнути до низьких заданих значень, при яких витрачається менше зовнішньої енергії на роботу циклу. При цьому залишається достатній інтервал для зміни відповідно до погоди;
- контроль за температурою всередині об'єму, що охолоджується, за допомогою електричного регулюючого вентиля визначає, коли потрібно підсилити охолодження нової продукції, а коли достатньо залишити підтримуючий режим;
- частотні перетворювачі швидкості обертання, встановлені на двигуни компресорів і вентиляторів конденсаторів, знижують навантаження на обладнання, зменшують знос деталей, скорочують пусковий струм і загальне споживання електроенергії, збільшують ККД системи та термін служби холодильних агрегатів;
- централізована система диспетчеризації та віддаленого моніторингу дає кілька переваг: управління та контроль за всіма процесами, включаючи аварійні ситуації, налаштування режимів «день-ніч», розподіл навантаження за рахунок об'єднання споживачів в окремі групи;
- теплоізоляція конструкції обмежує втрати холоду з об'єму, що охолоджується (ПВХ-завіси в холодильних камерах, двері зі склопакетами в торговому обладнанні, теплові завіси при вході та інші).

Крім прямої вигоди енергоефективні рішення роблять холодильне обладнання надійнішим і безпечнішим. Якісне обладнання дозволяє товарам зберігатися в заданих умовах зберігаючи корисні властивості товарів. Включення в систему холодопостачання виносних компресорно-конденсаторних блоків звільняє додаткове місце у торгових залах, дозволяє зробити проходи між рядами ширшими та зручнішими. Холодильні вітрини, шафи, скрині стають місткішими без наявності агрегатної бази в кожній одиниці обладнання. При розташуванні холодильного агрегату поза зоною торгового залу відсутні теплопритоки та шум від його роботи. Низький рівень шуму робить похід за покупками комфортнішим для покупців, знижує стрес у працівників. Економія ресурсів показує дбайливе ставлення до довкілля без шкоди якості життя.

Для зменшення енергоємності холодильного обладнання придумано ще багато способів:

- каскадні холодильні машини;
- застосування ступінчастого стиснення в одному приладі із застосуванням спіральних або гвинтових компресорів та економайзера для проміжного охолодження холодоагенту;
- переохолодження холодоагенту;
- вибір схеми з прямим або проміжним охолоджувачем;
- автоматичне керування холодильною установкою за параметрами датчиків температури, тиску;
- система рекуперації дозволяє знизити витрати на підігрів вуличного повітря, що подається в приміщення за рахунок температури повітря, що відводиться;
- вибір недорогого та ефективної робочої речовини природного походження: вода, повітря, аміак, вуглекислий газ, двоокис вуглецю, вуглеводні;
- використання в циклі теплообмінників повітряного або водяного охолодження з природною або примусовою конвекцією, зрошенням;
- розрахунок оптимальної площі поверхні теплообміну теплообмінних апаратів. Інтенсифікація процесу передачі тепла між середовищами: вибір матеріалу з високим коефіцієнтом теплопередачі, застосування накатаних або ореброваних труб;
- підстроювання конструкції холодильної установки під кліматичні параметри: застосування фрикулінгу в холодних широтах, випарних конденсаторів для південних регіонів;
- звернення до природних джерел енергії.

До кожного конкретного випадку створюються окремі комбінації. Передбачати енергоефективні заходи слід на етапі проектування. Коригування, переробка, узгодження вже готових холодильних систем на місці – технічно складна і дорога процедура.

**УДК 621.3.084.8**

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ВЕРТИКАЛЬНИХ ПЕТЕЛЬНО-ДРОТЯНИХ РАДІАТОРІВ**

**Волчок В.О. к.т.н., Шаповалов Д.В.**

**Одеський національний технологічний університет, м. Одеса**

Під час проектування радіоелектронної апаратури (РЕА), що працює в широкому діапазоні температур, необхідно враховувати вплив температури на її характеристики та параметри. Якщо останні перевищують допустимі межі для їхнього нормального функціонування, використовується той чи інший метод охолодження і стабілізації температури.

При розробці РЕА використовують різні методів забезпечення різних теплових режимів, включно з повітряними, рідинними, кондуктивними, випаровувальними, термоелектричними та деякими спеціальними [1]. Переважну більшість таких режимів складають повітряні системи охолодження. Це пояснюється його простотою та економічністю. Застосовується як природне і примусове повітряне охолодження.

Тепловіддаючі поверхні з петельно-дротяним оребрінням широко використовуються в РЕА. Вони переважають ребристі радіатори за ваговими та об'ємними характеристиками, особливо в умовах вільної конвекції. Такі радіатори не потребують суворої орієнтації по відношенню до напрямку руху повітря [2].

У роботі наводяться результати визначення оптимальних характеристик вертикально розташованого циліндричного радіатора з петельно-дротяним оребрінням, схема якого зображена на рис. 1.

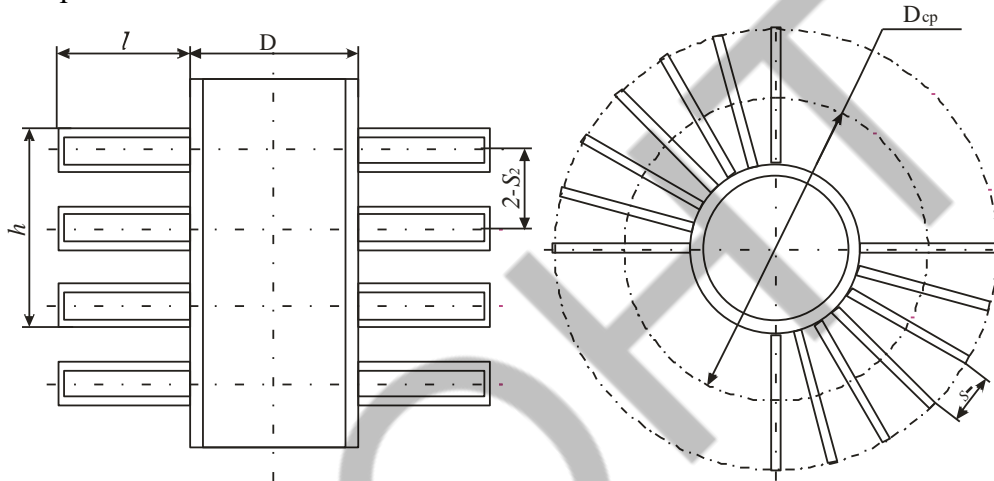


Рис.1 – Схема вертикально розташованого циліндричного радіатора з петельно-дротяним оребрінням

Завдання полягає у пошуку оптимальних значень незалежних змінних параметрів  $Z$ ,  $d$  та висоти ореброваної поверхні  $h$  у напрямку руху повітря. У якості критерію оптимальності приймаємо об'ємний порівняльний параметр  $K_v$ :

$$K_v = Q / V_P \cdot \Delta T_{ст,0} \quad (1)$$

де  $V_P$  – об'єм, що займають ребра;  $Q$  – теплова потужність;  $\Delta T_{ст,0}$  – температура на поверхні циліндра радіатора і навколишнього повітря.

Приймалось, що дріт радіатору зроблено з міді, а температура навколишнього повітря  $T_0 = 300$  К. Величини досліджувальних параметрів знаходились у наступних інтервалах:  $D = 5 \dots 23$  мм,  $d = 0,3 \dots 2,0$  мм,  $Z = Z_1 \cdot Z_2$ , де  $Z_1$  – кількість дротів розташованих у горизонтальному ряду,  $Z_2$  – кількість горизонтальних рядів.

Визначено залежність  $Q$  і  $K_v$  від  $Z$ . Отримані дані мають чітко виражені максимуми, що відповідають оптимальному значенню  $Z$ . У той же час  $K_v$  мало змінюється зі зміною  $d$ , а  $Q$  у свою чергу суттєво залежить від діаметру ребра. Встановлено, що для обох залежностей екстремальні значення відповідають одному і тим самому значенню  $Z$ . Отриманий результат можна пояснити наступним чином. Зі зростанням кількості дротів збільшується поверхня тепловіддачі і значення  $Q$ . З іншого боку зростання  $Z$  призводить до збільшення заповнення об'єму радіатора дротом і збільшенню опору руху повітря, що призводить до зниження витрати повітря через радіатор і зменшенню  $Q$ .

Показано залежність  $Z_{opt} = f(d)$  для різних значень  $h$  і  $\Delta T_{ст}$ . При зміні діаметру дроту з 0,6 до 1,1 мм зміна  $Z_{opt}$  складає менше 13 %, тому цей вплив можна не враховувати. Інша картина спостерігається при визначенні залежності величини  $Z_{opt}$  від  $h$  і  $\Delta T_{ст}$ . Слід зазначити нелінійну залежність величини  $Z_{opt}$  від  $D$ .

Для визначення оптимальної кількості дротів  $Z_{opt}$  запропонована апроксимаційна залежність:

$$Z_{\text{опт}} = 33 \cdot 10^3 \cdot \Delta T_{\text{ст}}^{-0,233} \cdot h^{0,388} \cdot D^{0,3} \quad (2)$$

Встановлено, що найкращі об'ємні характеристики теплорозсіювання мають радіатори з меншим  $h$ . Максимум кривих залежності  $Kv = f(d)$  відповідає оптимальним значенням діаметра ребер - власним для різних  $h$ . Крім  $h$  на оптимальну величину  $d$  впливає  $\Delta T_{\text{ст}}$ .

Для оптимального значення діаметру  $d$  отримане апроксимаційне рівняння:

$$d = 0,0008 \cdot h^{0,282} \cdot \Delta T_{\text{ст}}^{0,13} \quad (3)$$

Спільне рішення рівнянь (2) та (3) дозволяє знайти сукупність оптимальних параметрів  $Z_{\text{опт}}$ ,  $h$ ,  $D$ ,  $d$  і  $\Delta T_{\text{ст}, 0}$ , що визначають мінімальні геометричні розміри петельно-дротяного радіатора для заданої теплової потужності, що розсіюється.

### Інформаційні джерела

1. Будник А. Ф. Тепломасоперенос у процесах і матеріалах дизайну матеріалів: Навчальний посібник / А. Ф. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 158 с.
2. Зіньковський Ю.Ф., Уваров Б.В. Методи оптимізації конструкцій радіоелектронних модулів // Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка. Радіоапаратобудування. 2006, № 33.- С. 116-128.

УДК 621.039.5:628.16

## ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПРІСНЮВАЛЬНОЇ ВИМОРОЖУЮЧОЇ УСТАНОВКИ

Василів Б.О., аспірант, Дорошенко В.М, д.т.н., професор  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Опріснення води вважається одним з найбільш ефективних способів для збільшення водопостачання і забезпечення водою мільйонів людей в регіонах з дефіцитом прісної води. Валова світова робоча потужність опріснювальних установок становить 95,37 млн м<sup>3</sup>/день прісної води. На опріснення морської води припадає 59%, за нею йде солонувата вода - 23%, річкова вода - 7%, стічні води - 5% та інші джерела - 6% [4].

Відомі методи опріснення класифікують за двома категоріями: (1) включає фазову зміну солоної води (випаровування та заморожування), (2) виключає фазову зміну солоної води.

Авторами роботи [4] проведено узагальнення експериментальних даних про потужність установок, споживання енергії, вартість, робочу температуру, вплив на навколишнє середовище та емісію CO<sub>2</sub> для різних способів опріснення. Згідно цього аналізу, споживання енергії та собівартість виробництва питної води менші для способів опріснення, в яких не відбувається зміни фазового стану води. Аналогічні тенденції встановлено для потужностей виробництв питної води та викидів CO<sub>2</sub> в навколишнє середовище. Автори відзначають, що традиційні методи опріснення (багатоефективна дистиляція, багатоступенева флеш-дистиляція, механічне стиснення пари, мембранна дистиляція, зворотній осмос) мають серйозний вплив на навколишнє середовище. Адаже скидання розсолів з високою температурою і концентрацією солей підвищує температуру і солоність морської води.

Опріснення виморожуванням має переваги порівняно зі способами опріснення на основі випаровування та мембранними методами. Термодинамічно прихована теплота замерзання і пароутворення води становить 330 кДж/кг і 2256 кДж/кг відповідно. Тобто,

цей процес потребує приблизно  $1/7$  прихованого тепла, необхідного для процесів опріснення на основі випаровування. Використання мінусової температури знижує ризик корозії та утворення накипу. Нечутливість до забруднення є ще однією важливою перевагою опріснення виморожуванням порівняно з процесами опріснення на основі мембран, які, як правило, схильні до обростання і вимагають частого обслуговування. У разі надмірного обростання очищення мембран процес дуже утруднений. Тут також, немає необхідності в інтенсивній попередній очистці солоної води.

Важливо, що способом опріснення виморожуванням можна обробляти концентрований розсіл, близький до нульового скидання рідини, або окремо або разом з мембранною дистиляцією та кристалізацією [4].

Відомо, що для здійснення цього процесу застосовують прямі контактні і непрямі способи теплопередачі. У непрямих способах стінка кристалізатора розділяє морську воду і холодоагент (теплоносіє). Опріснення води тут може здійснюватися шляхом кристалізації в об'ємі у вигляді суспензії з подальшим її сепаруванням (SFC) або спрямованої кристалізації з формуванням шарів льоду певної товщини на поверхні кристалізатора.

При застосуванні способу SFC основними етапами є зародження кристалів, їх ріст, відділення кристалів льоду від концентрованої рідини та подальше оброблення кристалів льоду для покращення їх чистоти. Для способу характерно утворення безлічі дрібних кристалів льоду, завислих в розчині, з якого виморожується вода при його постійному перемішуванні. Кристали льоду ростуть за механізмом дозрівання Оствальда. Окремий теплообмінник необхідний для отримання затравки льоду для зародження кристалів. Отже, SFC потребує складної системи зі спеціальним контролем, що робить її найдорожчою серед інших способів опріснення сольових розчинів виморожуванням.

Процес пошарового заморожування призводить до утворення одного і великого кристала льоду на охолоджуючій поверхні. Цей процес здійснюють способами прогресуючого опріснення виморожуванням, опріснення виморожуванням з падаючої плівки розчину та блокового опріснення виморожуванням.

Огляд наведений в [4] показує, що методи опріснення виморожуванням можуть отримувати прісну воду з морської та солонуватої води. Параметри, які необхідно оптимізувати – це швидкість відтиснення солі з льоду в рідку фазу, швидкість росту кристалів льоду, величина переохолодження рідини, технологія попереднього оброблення води, технологія і режими сепарування льоду.

Всі методи опріснення виморожуванням мають меншу потужність виробництва питної води, ніж методи опріснення на основі мембран і пароутворення [2, 3].

Розробкою обладнання для технологій опріснення води, що базуються на принципі виморожування води із сольового розчину, займаються наукові колективи сьогодні і в світі, і в Україні, зокрема і в Одеському національному технологічному університеті [1-6].

В роботах [2, 3] наведений порівняльний аналіз традиційних методів демінералізації води та наведено перспективи низькотемпературних методів опріснення, та була запропонована ідея вдосконалення апаратів блочного виморожуванням шляхом їх переведення у неперервний режим роботи. Для досягнення поставленої цілі запропонована універсальна конструкція апарата, в якій послідовно реалізуються процеси кристалізації, сепарування та плавлення льоду. Розроблений модуль установки безперервного опріснення морської води. З умов мінімізації енергетичних витрат обґрунтовано час процесу формування блоку льоду.

Разом з тим, актуальними залишаються питання щодо енергоефективності процесу, ступеня опріснення води, технічного виконання установок та технології опріснення води із застосуванням такого способу.

З метою інтенсифікації процесів тепло- і масообміну пропонується використання конструкції з оребрених трубчатих кристалізаторів, що сприятиме збільшенню ефективності наморожування льоду та його подальшого сепарування.

Для реалізації зазначеного підходу необхідно розробити методику розрахунку кристалізатора, дослідити режими кристалізації залежно від солоності та складу розчину, а

також провести оптимізацію процесу сепарування та конструктивних параметрів установки в цілому.

### Інформаційні джерела

1. Desalination technologies, membrane distillation, and electrospinning, an overview / M. B. Abid та ін. Heliyon. 2023. С. e12810. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12810>.
2. Development of Low-Temperature Block Type Facility for Sea Water Desalination / O. Burdo та ін. Problems of the Regional Energetics. 2022. № 2(54). URL: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2022.2-54.02>.
3. Development of the design and determination of the mode characteristics of the demineralizer for sea water / O. Burdo та ін. ScienceRise. 2021. № 2. С. 47–53. URL: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2021.001814>.
4. Najim, A. A review of advances in freeze desalination and future prospects. npj Clean Water 5, 15 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41545-022-00158-1>
5. Василів, О. Б. Опріснення води виморожуванням в установці із змінною в циклі температурою холодоносія [Текст] / О. Б. Василів, О. С. Тітлов, С. В. Іщенко // Харчова наука і технологія. – 2011. – №4(17). – С. 103-106.
6. Пат. 82486 Україна, МПК C02F 1/22, A23L 2/08. Установка для опріснення води /Василів О. Б., Коваленко О. О., Тітлов О. С., Іщенко С. В; Заявник та патентовласник Одеська національна академія харчових технологій – № u 201214014 ; заяв. 10.12.12; опубл. 12.08.2013, Бюл. № 15.

УДК 536.252

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ПРИ ВИМУШЕНІЙ КОНВЕКЦІЇ ГІБРИДНИХ НАНОТЕПЛОНОСІЇВ У ТРУБІ

Шумський О.А., аспірант

Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Домішки наночастинок різного хімічного складу до базової рідини дозволяють штучно регулювати її оптичні і теплофізичні властивості. Застосування гібридних наночастинок відкриває широкі можливості для створення нового покоління нанотеплоносіїв для сонячних енергетичних установок, які мають підвищені значення коефіцієнта поглинання світла і коефіцієнта тепловіддачі при вимушеній конвекції.

Мета даної роботи – дослідження впливу домішок фулеренів  $C_{60}$  і наночастинок  $CuO$  на коефіцієнт тепловіддачі тетраліну ( $C_{10}H_{12}$ ) при вимушеній конвекції в трубі. Вибір компонентів гібридного теплоносія продиктований декількома обставинами: тетралін рекомендується використовувати як теплоносій у діапазоні температур до  $150^{\circ}C$ ; фулерени сприяють зменшенню витрат енергії споживаної циркуляційним насосом; домішки наночастинок  $CuO$  у рідинах збільшують коефіцієнт поглинання світла в інфрачервоній частині спектра. Крім того, як показують проведені дослідження, розчини фулеренів  $C_{60}$  в тетраліні стабільні в часі.

Схема створеної експериментальної установки показана на рисунку 1. Робоча ділянка 18 та 20 являє собою трубку із нержавіючої сталі зовнішнім діаметром 3 мм, товщиною стінки 0,2 мм і загальною довжиною 3,1 м. Початкова ділянка труби 18 довжиною 0,4 м (до клеми стабілізованого джерела живлення 17) є ділянкою стабілізації потоку, решта труби є робочою ділянкою установки 20. Для контролю температури теплоносія перед входом у робочу ділянку та на виході з неї передбачені термометричні

кишені, в яких встановлені лабораторні термометри 2 та 14. Ці термометри дозволяють контролювати сталість температури на вході в робочу ділянку установки, а також її зміну на виході. Контур охолодження 3 та 4 використовується для зменшення температури теплоносія перед циркуляційним насосом 7 і витратоміром 8.

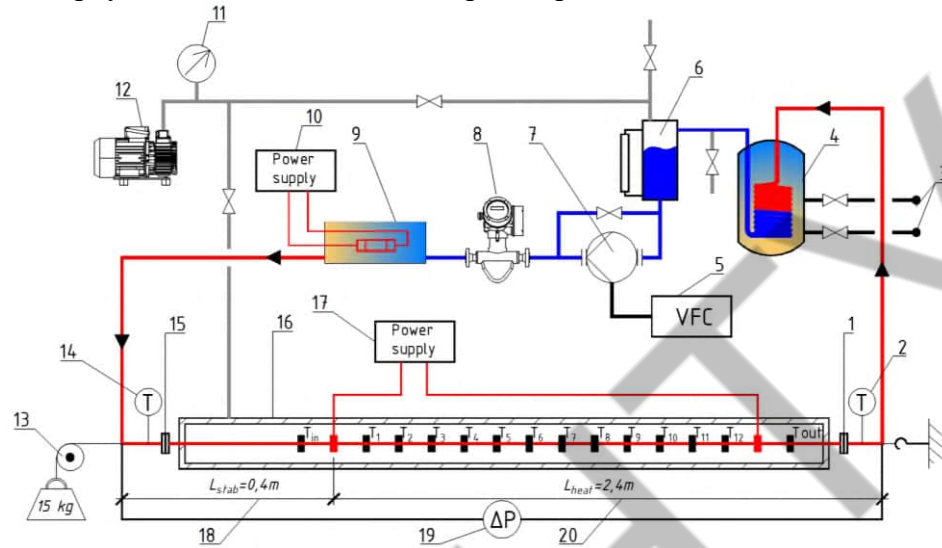


Рис. 1 – Схема експериментальної установки: 1,15 – ізолятор; 2,14 – лабораторний термометр; 3 – підключення системи охолодження; 4 – бак охолодження; 5 – частотно-регулюючий контролер BLDH 350; 6 – бак-приймач; 7 – циркуляційний насос WBX -12; 8 – коріолісовий витратомір Proline Promass 83 F; 9 – попередній нагрівач; 10,17 – стабілізоване джерело живлення Masteram HPS 3060 D; 11 – вакуумметр WIKA; 12 – вакуумний насос Value VE 225 N; 13 – розтягуючий пристрій; 16 - вакуумна камера; 18 - ділянка стабілізації; 19 - датчик тиску WIKA 0-25 bar; 20 - робоча ділянка вимірювань.

По довжині робочої ділянки вимірювань встановлено дванадцять спаїв мідь-константанових термопар  $T_1-T_{12}$  для вимірювання локальної температури. Крім того, на вході та виході з робочої ділянки встановлені термопари  $T_{in}$ ,  $T_{out}$ , які служать для визначення змін температури вздовж робочої ділянки. Всі термопари ізолювані від поверхні сталевих трубок тефлоновою стрічкою товщиною 0,05 мм. Для усунення теплових втрат у навколишнє середовище робоча ділянка поміщена у вакуумну камеру 16, де підтримується динамічний вакуум (менше 100 Па).

Розтягуючий пристрій 13 служить для компенсації термічної деформації робочої ділянки установки та забезпечує його горизонтальне положення за допомогою підвішених вантажів масою 15 кг. Гібридний теплоносій перекачується циркуляційним насосом 7 через замкнутий контур установки. Масова витрата теплоносія може регулюватися зміною частоти обертів двигуна насоса за допомогою частотно-регулюючого контролера 5. Масова витрата теплоносія вимірюється за допомогою коріолісового витратоміра 8, що працює в діапазоні витрати рідини від 0 до  $2000 \text{ кг}\cdot\text{год}^{-1}$  з невизначеністю 0,10 %. Крім того, застосування цього типу масового витратоміра забезпечує можливість отримання даних про густину гібридних нанотеплоносіїв з невизначеністю  $\pm 5 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ .

Подача теплового навантаження на робочу ділянку здійснюється від стабілізованого джерела живлення 17 HPS3060D. Ізолятори 1 та 15 використовуються для усунення можливого електричного контакту робочої ділянки від інших частин експериментальної установки. Для автоматизації збору експериментальних даних та первинної обробки отриманої інформації використовується автоматична система. До складу цієї системи включені модуль Arduino UNO, мультиметр PICOTEST 3510A та комп'ютер. Заповнення експериментальної установки тестовим зразком нанотеплоносія відбувається через бак приймач 1, при цьому весь контур попередньо вакуумується вакуумним насосом 12. Результати тестових випробувань експериментальної установки наведено на рисунку 2.

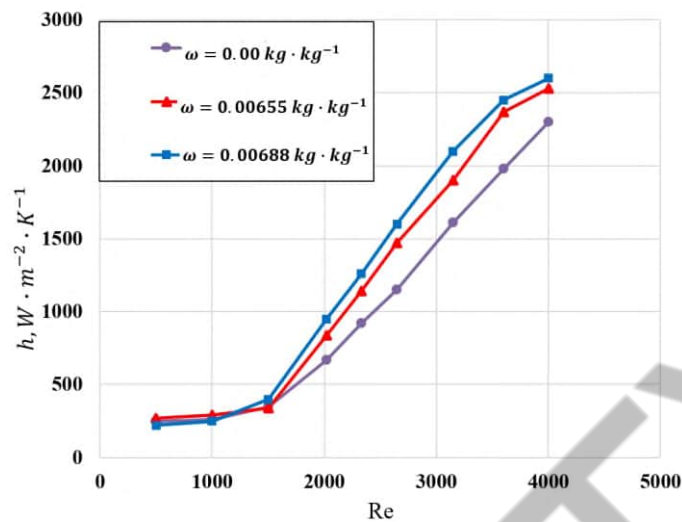


Рис. 2 – Залежність коефіцієнту тепловіддачі від числа Re для розчинів тетралін/фулерен  $C_{60}$  при різних концентраціях фулерену

З наведеної на рисунку 2 інформації можна зробити висновок, що домішки фулерену  $C_{60}$  несуттєво впливають на коефіцієнт тепловіддачі при ламінарному режимі і значно збільшують інтенсивність теплообміну при турбулентному режимі.

УДК 621.565.9

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КРІОГЕННОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ ЗА РАХУНОК МЕМБРАННИХ СИСТЕМ

Якушенко Є.М., к.т.н., доцент, Семенюк Д.П., к.т.н., доцент  
Харківський державний біотехнологічний університет, м. Харків

При виробництві заморожених продуктів необхідно ретельно підбирати метод заморожування. Від вибору методу заморожування залежить якість харчових продуктів, період зберігання, економічні вигоди. У сучасній холодильній технології існує лише кілька методів заморожування: повітрям, хладонами, холодогелями, зрідженими газами.

Повітря окислює харчові продукти, внаслідок чого збільшується мікробіологічна обміненія, погіршуються органолептичні показники. Повітря має низький тепловідвідний показник, характеризується високою усиханням продукту. Але, незважаючи на це, повітряне заморожування досі застосовують у сучасній холодильній практиці.

Розчини спирту та гліцерину через свою неефективність практичного застосування не знайшли.

Зріджені гази (як агенти технології кріоконсервування) мають перевагу в порівнянні з повітрям, хладонами та охолоджувачами. Але сучасне виробництво ґрунтується насамперед на економічній доцільності. У цьому плані провідну роль займає витрати холоду на заморожування.

Процес кріоконсервування заснований на різкому зниженні температури продукту методом безпосереднього контакту з заморожуючим середовищем з метою утворення дрібнодисперсних кристалів льоду всередині продукту.

Як заморожуючих середовищ в основному використовуються такі інертні гази як діоксид вуглецю або азот, що отримуються з атмосферного повітря, або з скідних промислових газів. Інші інертні гази та ряд своїх характеристик використовуються рідше.

Діоксид вуглецю високого тиску та низькотемпературний одержують із скидних газів виробництв аміаку, спиртів, безпосередньо з атмосфери, а також на базі спеціального спалювання палива та інших виробництв.

Діоксид вуглецю застосовується для виробництві екстрактів, газованих напоїв, сухого льоду, для охолодження, заморожування, зберігання харчових продуктів при прямому або непрямому контакті з ними, і для інших цілей у всіх галузях промисловості.

Розділ газу здійснюється за принципом роботи мембранних систем – різниця швидкості проникнення компонентів газу через мембранну речовину. Рушійною силою розподілу газів є різниця парціальних тисків на різних сторонах мембрани.

З часу початку промислового використання технології мембранного поділу газів характеристики застосовуваних мембран безперервно покращувалися. Сучасна газорозділювальна мембрана є вже не плоскою пластиною або плівкою, а порожнистим волокном. Порожньоволокна мембрана складається з пористого полімерного волокна з нанесеним на його зовнішню поверхню газорозділювальним шаром.

Конструктивно порожньоволокна мембрана компонується у вигляді циліндричного картриджа, який є котушкою з намотаним на неї особливим чином полімерним волокном. Газовий потік під тиском подається на мембранне волокно. Через різні парціальні тиски на зовнішній і внутрішній поверхнях мембрани відбувається поділ газового потоку. Азот, що є продуктивним газом, швидко проникає через речовину мембрани і виходить через один із патрубків практично без втрати тиску.

Мембранні азотні установки є найбільш вигідним з техніко-економічної точки зору рішенням для виробництва азоту з атмосферного повітря.

Азотні установки є стаціонарними системами з виробництва азоту, призначені для використання в закритих приміщеннях. Установки є високотехнологічними газорозділювальними комплексами, що дозволяють отримувати азот від 5 нм<sup>3</sup>/год до 5000 нм<sup>3</sup>/год при його чистоті від 90,00 % до 99,95 % і вище.

Основними вузлами установок є компресорний блок, блок-підготовка повітря, газороздільний блок та система управління. Газоподільний блок складається зі спеціальним чином скомпонованих модулів, що виробляють з атмосферного повітря азот необхідної чистоти. Завдяки використанню нових досягнень азотні установки виключно надійні, ресурс мембранного блоку становить до 180000 годин безперервної роботи.

Азотні установки працюють у повністю автоматичному режимі, підтримка та контроль робочих параметрів відбуваються автоматично. У процесі роботи встановлення присутності людини не потрібне. Можливість гнучкого регулювання чистоти азоту, що виробляється, є ще однією значною перевагою азотних систем.

Переваги азотних станцій наступні: мобільність станції, повна автономність у разі дизельного виконання, виняткова надійність, повна автоматизація, простота в обслуговуванні, не потрібна присутність людини під час роботи, мала вага та габарити, низька вартість азоту, швидкий запуск та зупинка системи, експлуатація у широкому температурному діапазоні, відсутність спеціальних вимог щодо якості повітря, стійкість до забруднення, низькі експлуатаційні витрати, великий ресурс роботи станцій.

Дані щодо енергоефективності доцільності різних способів доставки та виробництва азоту наведені на рисунку 1.

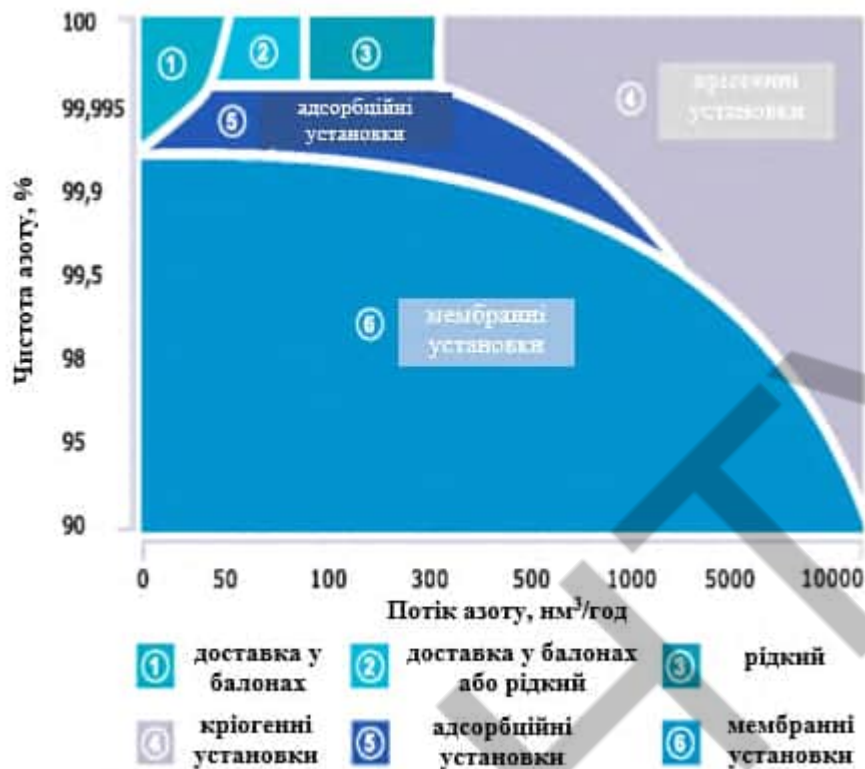


Рисунок – Економічна доцільність різних способів доставки та виробництва азоту

### Інформаційні джерела

1. Криогенні повітророзподільні установки – URL: <https://cryo-tm.com.ua/uk/povitrorozpodilni-ustanovki/528-vozdukhorazdelitelnye-ustanovki.htm>
2. Мембранна установка з виробництва азоту – URL: <https://rtg.ua/kriogenne-obladnannya/ustatkuvannya-rozpredilennya-povitrya/>

УДК 621.56

## ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ МІКРОКАНАЛЬНИХ ТЕПЛОБМІННИКІВ У ЯКІСТІ ПОВІТРЯНИХ КОНДЕНСАТОРІВ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН

Книш С.В.<sup>1</sup>, Желіба Ю.О.<sup>1</sup>, доцент, ст.н.с., Желіба Т.О.<sup>2</sup>, Козаченко І.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

<sup>2</sup>НУ «Одеська політехніка», м. Одеса

<sup>3</sup>ТОВ Науково-інженерне об'єднання Холод

Мікроканальні теплообмінники (МКТ) стали одними з найпоширеніших рішень у багатьох галузях, включаючи холодильні машини та системи кондиціонування, завдяки своїй надійності, високій ефективності передачі тепла та компактності. Вони використовуються для підвищення ефективності систем, що робить їх перспективними компонентами для сучасних технологій. Проте, разом з багатьма перевагами використання МКТ має певні відомі недоліки, які слід враховувати під час вибору цього типу теплообмінників для холодильних систем. Накопичений багаторічний досвід експлуатації дозволив авторам доповіді визначити та перевірити основні переваги та недоліки мікроканальних

теплообмінників у якості повітряних конденсаторів для холодильних машин та їх вплив на загальну продуктивність та економічність систем, які потрібно враховувати під час проектування, обладнання та експлуатації.

Переваги мікроканальних теплообмінників:

- Відносно висока ефективність теплообміну: Однією з найсуттєвіших переваг МКТ є їх висока ефективність у передачі тепла. Це досягається завдяки невеликому діаметру каналів та великій площі теплообмінної поверхні. Інтенсивність теплообміну між холодоагентом та повітрям значно вища порівняно з традиційними теплообмінниками. Внаслідок цього можна зменшити розміри обладнання при збереженні його продуктивності. За рахунок цього МКТ також дозволяють знизити споживання енергії системою, що робить їх більш екологічно ощадливими.

- Компактність і мала вага: Завдяки особливостям конструкції, мікроканальні теплообмінники мають набагато менші габарити та вагу порівняно з традиційними трубчастими оребреними теплообмінниками тієї ж потужності. Це є перевагою для застосування в компактних пристроях, таких як автомобільні кондиціонери, портативні холодильні машини або обладнання, що використовується в обмежених просторах. Крім того, зниження маси обладнання здешевлює обладнання та може призвести до зниження витрат на транспортування та встановлення.

- Економія матеріалів: МКТ дозволяють зменшити кількість матеріалів, що використовуються для їх виготовлення. Оскільки площа теплообміну збільшується завдяки мікроканальній конструкції, менша кількість матеріалів необхідна для досягнення аналогічної продуктивності. Використання алюмінію як основного матеріалу забезпечує не лише зниження ваги, а й зменшення вартості виробництва та експлуатації.

- Корозійна стійкість: Мікроканальні теплообмінники здебільшого виготовляються з алюмінію, який забезпечує високу стійкість до корозії. Це особливо важливо для систем, що працюють у вологих або агресивних середовищах. Завдяки корозійній стійкості МКТ можуть функціонувати значно довше без необхідності частих ремонтів чи заміни компонентів. Це підтверджено.

- Зниження об'єму холодоагенту в системі: Компактна конструкція МКТ, а також зменшений об'єм внутрішніх каналів дозволяють використовувати меншу кількість холодоагенту, ніж у традиційних системах. Це є важливим як з економічної точки зору (зниження витрат на дорогий холодоагент), так і з екологічної, оскільки використання меншої кількості шкідливих речовин сприяє зниженню негативного впливу на навколишнє середовище.

- Зменшення шуму: Завдяки вдосконаленій конструкції та оптимізованій передачі тепла, МКТ можуть працювати з меншим рівнем шуму порівняно з іншими типами теплообмінників. Це особливо важливо для застосувань у житлових будинках, офісах або в інших місцях, де рівень шуму відіграє важливу роль.

Недоліки мікроканальних теплообмінників:

- Чутливість до забруднень: Однією з головних проблем МКТ є їх чутливість до забруднень. Малі розміри каналів роблять їх схильними до засмічення частинками бруду, масла або іншими домішками, що можуть міститися в системі. Це може призвести до зниження ефективності теплообміну або навіть повної відмови теплообмінника. Щоб уникнути цієї проблеми, необхідно забезпечити високий рівень фільтрації як холодоагенту, так і повітря, що проходить через теплообмінник. Це може збільшити загальні витрати на експлуатацію.

- Складність ремонту: У випадку виникнення пошкоджень або витоків у МКТ, їх ремонт може бути надзвичайно складним або навіть неможливим. На відміну від традиційних трубчастих теплообмінників, де можна виконати локальний ремонт або заміну окремих компонентів, мікроканальні теплообмінники часто потребують повної заміни. Це значно підвищує вартість технічного обслуговування і може призвести до простоїв у роботі обладнання.

- Висока вартість первинної установки: Незважаючи на те, що МКТ можуть зекономити на матеріалах і експлуатаційних витратах, їх первинна вартість може бути навіть вищою порівняно з традиційними теплообмінниками. Це пов'язано з високою точністю виготовлення, необхідністю використання спеціальних технологій і матеріалів для виробництва. Однак з часом ці витрати можуть бути компенсовані завдяки зниженню енергоспоживання та більш тривалому терміну служби.

- Обмеження в застосуванні для систем великої потужності: МКТ не завжди ефективні у великих холодильних системах, що використовуються для промислових потреб. Вони менш придатні для обслуговування високих теплових навантажень, що обмежує їх застосування у великих холодильних системах. У таких випадках традиційні трубчасті теплообмінники можуть забезпечити більшу продуктивність і надійність.

- Проблеми з обледенінням: У холодних кліматичних умовах МКТ можуть бути схильними до обледеніння через свою щільну конструкцію. Це може знижувати ефективність теплообміну та вимагати додаткових заходів для розморожування системи. Для цього можуть знадобитися спеціальні системи обігріву або частіші цикли розморожування, що підвищує витрати на експлуатацію і збільшує споживання енергії.

- Складність монтажу: Встановлення мікроканальних теплообмінників може вимагати спеціального обладнання та додаткових знань від інженерів і технічного персоналу. Це підвищує вартість монтажу та може збільшити час установки, особливо в складних або нестандартних системах.

Отже, мікроканальні теплообмінники є інноваційним рішенням для підвищення ефективності та компактності не великих холодильних машин. Накопичений багаторічний досвід експлуатації холодильних систем та систем кондиціонування з МКТ підтверджує неоднозначність їх використання. У доповіді автори розглядають різні приклади вирішення поточних енергетичних, експлуатаційних на економічних проблем з використанням МКТ. Висновок простий - вибір МКТ у якості повітряних конденсаторів кожний раз має здійснюватися з урахуванням конкретних умов експлуатації та вимог до системи, іноді переваги і недоліки співмірні, тому рішення індивідуальне, а дорожня карта техніко-економічного обґрунтування наповнена неочікуваними складними економічними, екологічними і технологічними підзадачами.

**УДК 621.56**

## **ВПЛИВ ЗВОЛОЖЕННЯ ПОВІТРЯ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВЕНТИЛЯТОРІВ СУХОГО ОХОЛОДЖУВАЧА**

**Книш С.В.<sup>1</sup>, Желіба Ю.О.<sup>1</sup>, доцент, ст.н.с., Желіба Т.О.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

<sup>2</sup>НУ «Одеська політехніка», м. Одеса

Сухі охолоджувачі - це пристрої, що використовують навколишнє атмосферне повітря для охолодження теплоносія без прямого контакту з рідиною. Їх принцип роботи простий, ґрунтується на теплообміні між теплоносієм та більш прохолодним атмосферним повітрям, яке обдуває теплообмінники за допомогою вентиляторів.

В умовах високих температур навколишнього середовища ефективність сухого охолоджувача звичайно знижується з відповідними негативними наслідками. Одним із методів підвищення чи збереження продуктивності та ефективності є зволоження/охолодження вхідного повітря за допомогою зрошувальної системи різного конструктивного виконання. У звичайних умовах сухий охолоджувач використовує тільки не підготовлене повітря для теплообміну. Коли ж температура доквілля підвищується та

ефективність охолодження знижується за рахунок меншої різниці температур між теплоносієм і повітрям до критичних позначок, зазвичай автоматизована система керування на підставі закладеного алгоритму включає в роботу технологію зниження температури повітря на вході в теплообмінник за рахунок випарного охолодження. Випаровування води поглинає тепло з повітря. Це знижує температуру повітря, що надходить у охолоджувач і, як наслідок, покращує теплообмін, підвищує/зберігає продуктивність теплообмінника та ефективність холодильних систем та систем кондиціонування повітря. Найскладнішим є визначення алгоритму керування з урахуванням усіх чинників впливу на енергоефективність та економічну доцільність. Проте ця задача має безліч рішень і не носить великої наукової новизни.

Інженерне упровадження таких систем на одному з промислових об'єктів у м. Одесі та моніторинг їх роботи дозволили авторам доповіді отримати досвід проектування та використання і звернути увагу на неочікуваний для холодильщика фізичний та енергетичний процес, який зазвичай інженери не враховують під час техніко-економічних розрахунків та енергетичних аудитів. У авторів була можливість відслідкувати показники ефективності роботи двох однакових сухих градирень із різними режимами експлуатації паралельно. Будо виявлено, що в режимі випарного охолодження повітря на вході в теплообмінник споживання енергії двигунами вентиляторів охолоджувача помітно знижувалось, іноді на 2 і більше відсотків.

Перше, що прийшло на думку для пояснення цього ефекту – це те, що під час охолодження та зволоження повітря знижується його густина, адже всім відомо, що вологе повітря легше за сухе. Це відбувається тому, що молекули водяної пари легші, ніж молекули азоту та кисню, які становлять основну масу сухого повітря. В основному повітря складається з азоту (близько 78%) і кисню (близько 21%), з невеликими частками інших газів. Молекулярні маси цих газів: азот ( $N_2$ ) = 28 г/моль, кисень ( $O_2$ ) = 32 г/моль. Середня молекулярна маса сухого повітря становить близько 28,97 г/моль. Молекулярна маса водяної пари становить 18 г/моль. Якщо в повітрі є водяна пара, то частина об'єму, який займали б азот і кисень, тепер займає водяна пара. І, оскільки, молекулярна маса водяної пари менша, ніж у азоту та кисню, загальна молекулярна маса зволоженого повітря зменшується при майже однакових тиску і температурі. Зменшення молекулярної маси веде до зниження густини. Проте це справедливо тільки при однакових температурах. Зменшення густини складає в кращому випадку 1-2 %. А якщо врахувати, що температура та вологість повітря в процесі випарного охолодження суттєво змінюються, то в робочих режимах експлуатації охолоджувача зміни густини майже не помітно, а за певних режимів густина навіть підвищується. Тобто пояснювати зменшення споживання енергії пропорційно зміні густини повітря у нашому випадку підстав не має ( $W \sim \rho \cdot V^3$ ). Ця перша думка виявилась не обгрунтованою, але її продовжують поширювати не тільки рядові спеціалісти з експлуатації, а навіть досвідчені науковці та інженери.

Основна ж причина помітної зміни споживаної потужності двигунів вентиляторів мабуть криється у звичайному зниженні температури експлуатації вентилятора та електродвигуна, у зміні к. к. д механічної передачі та двигуна. Ця залежність складна, для звичайних фахівців з кондиціонування повітря спрощеного прогнозування зміни споживання енергії ніхто навіть не пропонує. Можливо цим можна нехтувати, проте помітний позитивний ефект, на рівні 2 %. Залишається тільки накопичити практичний досвід та результати моніторингу, щоб у подальшому враховувати цей позитивний ефект для енергетичних розрахунків.

У доповіді також обговорюється досвід експлуатації систем випарного охолодження повітря для сухих градирень, алгоритми керування з урахуванням усіх чинників, що впливають на енергетичні, економічні та екологічні показники роботи холодильних систем та систем кондиціонування повітря для кліматичних умов м. Одеси. Також оцінюються отримані результати покращення енергоефективності за рахунок упровадження таких технологій та термін окупності інженерних рішень.

УДК 621.56; 004.8; 620.9

**LEVERAGING MACHINE LEARNING FOR ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY IN COLD CHAIN AND REFRIGERATION SYSTEMS****Volodymyr Shemiakin, PhD student; Olga Yakovleva, Associate Professor  
Odesa National University of Technology, Odesa**

Over the past few years, artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) technologies have evolved significantly, becoming more accessible and affordable for industrial applications[1]. Refrigeration systems are a major part of the cold chain. They are responsible for significant portions of energy consumption in sectors like food storage, pharmaceuticals, and logistics. Machine learning can optimize refrigeration energy use by predicting failures, dynamically adjusting settings, and fine-tuning temperature control. ML systems can provide real-time diagnostics and offer solutions to operational inefficiencies, reducing downtime and extending equipment life. Greenhouse gas emissions from these refrigerants are major contributors to climate change. ML can play a key role in reducing the ecological impact by: monitoring refrigerant leaks and suggesting real-time repairs, optimizing refrigeration systems to operate in the most energy-efficient manner, thus reducing carbon footprints, supporting the use of alternative, eco-friendly refrigerants by adapting systems dynamically to their properties. The solution for integrating ML into refrigeration technology over the next 10 years was presented to address the pressing needs of the cold chain industry, which faces challenges related to energy efficiency, sustainability, operational costs, and ecological impact. ML can help in making refrigeration systems more reliable, which is critical in cold chains where product spoilage can lead to significant losses, especially in food and pharmaceuticals.

To calculate the possibilities and capabilities of ML integration into refrigeration technology over the next 10 years, we can use statistical modeling and trend analysis. This can be achieved by examining the historical growth of technology adoption, forecasting future growth, and estimating the impact of key factors such as industry demand, technological advances, and market saturation. Assume historical data on the integration of ML in refrigeration technology over the past few years (2010-2023). We will use logistic growth modeling to represent the diffusion of ML in the refrigeration industry. This model assumes that adoption follows an "S-curve," where growth starts slow, accelerates as it becomes more widespread, and eventually plateaus as the market becomes saturated. The adoption of ML in refrigeration systems is driven by three key factors: technology advancements like improved AI algorithms and data collection, market demand for energy efficiency and automation, and regulatory and ecological pressures favoring sustainable technologies. This holistic approach highlights the interplay between technological, market, and regulatory drivers in shaping the future of ML in refrigeration systems, providing a roadmap for the continued evolution and adoption of these transformative technologies.

Mathematical Model [2]. Let's define the logistic growth function for the ML integration process:

$$P(t) = \frac{P_{\max}}{1 + e^{-r(t-t_0)}} \quad (1)$$

Where  $P(t)$ -percentage of ML integration at time  $t$ ;  $P_{\max}$  - maximum possible ML integration 100%;  $r$  - growth rate highly depends on technological advancement and market demand;  $t$  - time in years;  $t_0$  - time at which grows is at its inflection point (rapid growth begins)

Initial adoption rate ( $P(2023)$ ) is 15% (based on current trends in ML and refrigeration integration). Growth rate ( $r$ ) is estimated to be 0.3 based on trends in AI adoption and expected technological improvements. Inflection point ( $t_0$ ) is set at around year 5 from now (2028), when

rapid adoption begins due to technological breakthroughs and regulatory pressure. Forecasting ML Integration Over 10 Years. Using the logistic growth model, we calculate the expected ML integration rate for each year from 2024 to 2034. Probability Estimation of Achieving Key Milestones. Inflection Point (2028) -  $t = t_0$  the logistic function simplifies to  $P(t_0) = \frac{P_{max}}{1 + e^0}$ . This means that in 2028, about 50% of refrigeration systems will have integrated ML. 2024 is Initial Year. At  $t=2024$  the percentage of ML integration is  $P(2024) = \frac{100}{1 + e^{-0.3(2024-2028)}}$ . In 2024, around 23% of refrigeration systems are estimated to use ML. 2028 to 2034 (Growth Period). As time progresses from 2028 onwards, the ML integration percentage increases rapidly, approaching saturation by 2034. By 2030, approximately 65% of refrigeration systems will have ML integrated. By 2034, 85% of refrigeration systems are expected to be ML-enabled.

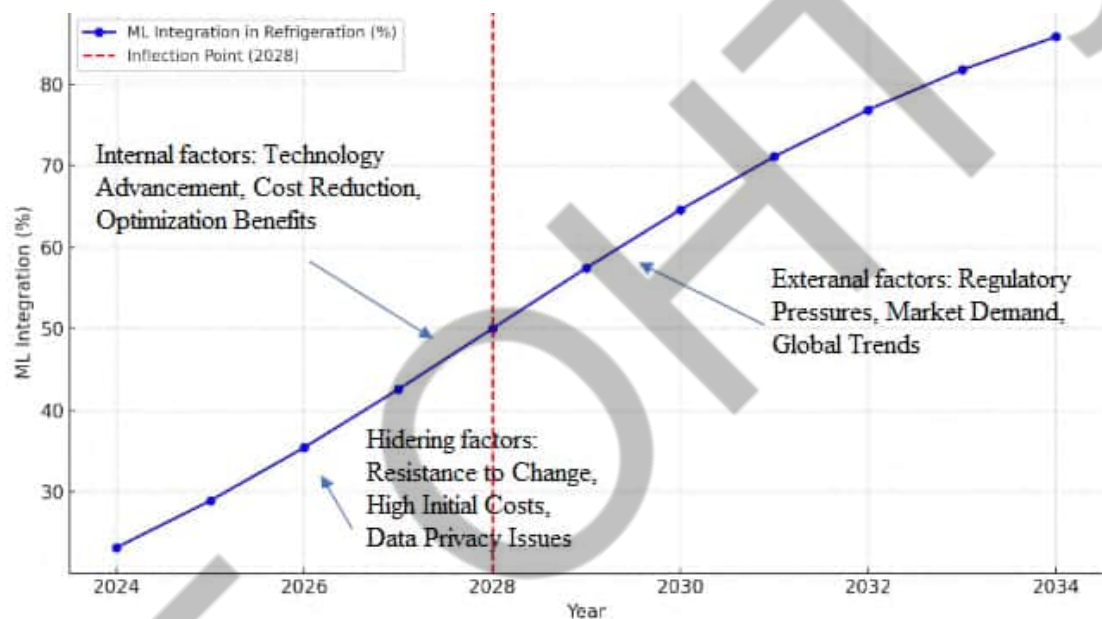


Fig.1 – Highly projection for ML integration in refrigeration technology (2024-2034) with internal, external, and hindering influences.

In summary, the logistic growth model predicts a rapid acceleration in the integration of machine learning within refrigeration technology over the next decade, particularly after 2028, with near-complete adoption expected by 2034. This growing adoption is crucial for enhancing energy efficiency, predictive maintenance, and sustainability in cold chain operations. By addressing the pressing challenges faced by the refrigeration and cold chain industries—such as improving efficiency, reducing costs, and minimizing ecological impact—this technological advancement offers a balanced approach that meets both current operational demands and future sustainability goals. Given strong R&D investment and rising market demand, ML is likely to achieve significant milestones in refrigeration systems soon, though adoption timelines will vary by industry readiness.

## References

1. Zhou, S. L. *et al.* (2023) “A comprehensive review of the applications of machine learning for HVAC,” *DeCarbon*, 2(100023), p. 100023. doi: 10.1016/j.decarb.2023.100023.
2. N. Bacaer, *A Short History of Mathematical Population Dynamics*, DOI 10.1007/978-0-85729-115-8 6, Springer-Verlag London Limited 2011

УДК 621.577

## ТЕПЛОВИЙ НАСОС ПОВІТРЯ-ВОДА В СИСТЕМАХ ОПАЛЕННЯ

Лужанська Г.В., к.т.н., доцент; Гаркуша В.А., студент  
Національний університет «Одеська Політехніка», м. Одеса

Тепловий насос повітря-вода - обладнання, призначене для вилучення тепла з атмосферного повітря, подальшого використання в системах опалення будівель. Такі теплові насоси легкі в установці, не вимагають буріння свердловин та прокладання труб. Конструкція цього виду обладнання може бути виконана у вигляді спліт-системи або моноблока.

Тепловий насос повітря-вода - це пристрій, який за допомогою компресора та холодильного фреонового контуру забирає тепло з навколишнього повітря та передає його воді в систему опалення. Тепловий насос повітря-вода складається із внутрішнього та зовнішнього блоку, які з'єднуються між собою комунікаціями [1]. Зовнішній блок укомплектований вентилятором та випарником. Внутрішній блок містить конденсатор та автоматику, його монтують усередині будинку.

Як відомо, тепло передається від більш теплої речовини або газу до холоднішої. Якщо на вулиці  $-18^{\circ}\text{C}$ , то тепловий насос подає на вулицю до зовнішнього блоку фреон з температурою нижче  $-18^{\circ}\text{C}$ , тим самим отримуючи тепло з морозного повітря, далі в холодильному контурі збільшується тиск фреону, а разом з ним і збільшується температура фреону. Потім гарячий фреон через теплообмінник передає тепло воді.

Тепловий насос повітря-вода може працювати як окремо, покриваючи всю необхідну потужність для опалення будинку, так і спільно з додатковими електричними нагрівачами або газовим котлом або твердопаливним дублером. Додаткове джерело теплової енергії використовується у випадку, коли тепловий насос частково покриває необхідну потужність для опалення [2]. Наприклад, розрахований працювати до температури зовнішнього повітря  $-5^{\circ}\text{C}$ . Часто вибирають спільну роботу теплового насоса та котла-дублера. Це обумовлюється тим, що вартість потужнішого теплового насоса висока, а температура повітря на вулиці нижче  $-5^{\circ}\text{C}$  тримається короткі періоди.

Принципова схема системи опалення з тепловим насосом представлена на рис. 1

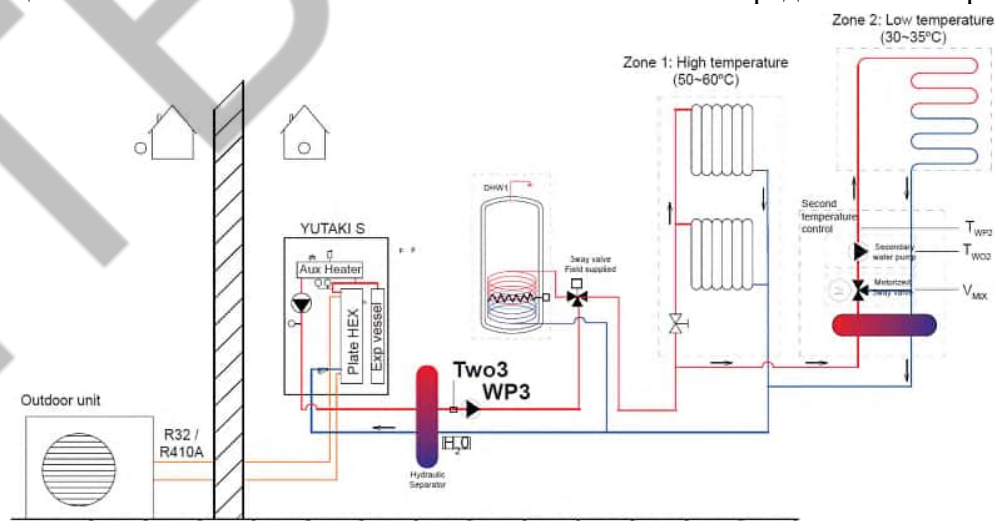


Рис 1 – Принципова схема системи водяного опалення з тепловим насосом повітря-вода

Теплові насоси виділяються на тлі інших опалювальних рішень завдяки низькій визначних характеристик, роблячи їх дедалі більш затребуваним вибором для об'єктів різного призначення, які прагнуть енергоефективності, розвитку та економії коштів [3].

Енергетична ефективність: головна перевага теплових насосів у їхній неймовірній енергоефективності. На відміну від звичайних систем опалення, які потребують спалювання палива або перетворення електроенергії безпосередньо в тепло, теплові насоси переносять тепло з меншими енерговитратами, виробляючи більше теплової енергії, ніж споживають, що робить їх вигіднішими порівняно з іншими системами.

### Інформаційні джерела

1. <https://ovik.com.ua/teplovij-nasos-spozhivannya-elektroenergiyi/>
2. <https://teplonasos-mycond.com.ua/>
3. [https://profportal.com.ua/blog/teplovyy-nasos-vysokoefektyvnyy-metod-obigrivu-ta-kondytsionuvannya-prymishchen/?srsltid=AfmBOor-lKTumqSnyFoxYuUtwn-6\\_ju0mnoyOgeDO9UqObWd0Z-60Yy5](https://profportal.com.ua/blog/teplovyy-nasos-vysokoefektyvnyy-metod-obigrivu-ta-kondytsionuvannya-prymishchen/?srsltid=AfmBOor-lKTumqSnyFoxYuUtwn-6_ju0mnoyOgeDO9UqObWd0Z-60Yy5)

УДК 621.577

## ОБИГРІВ БУДИНКИ ЗА ДОПОМОГИ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ

Лужанська Г.В., к.т.н., доцент, Волков Д.О., студент  
Національний університет «Одеська Політехніка», м. Одеса

Енергозбереження – це цілий спектр заходів, спрямованих на зниження витрати енергетичних ресурсів під час реалізації будь-яких виробничих та комунальних програм. Основне завдання сучасного енергозбереження є використання відновлюваних джерел енергії. Існує маса методів енергозбереження, проте найбільше затребуване мінімізування витрат на опалення та теплопостачання будівлі. Одним із можливих шляхів вирішення цієї проблеми є використання теплового насоса [1].

Тепловий насос – це сучасне енергозберігаюче теплове обладнання, використання якого дозволяє ефективно обігрівати будівлю з мінімальним необхідним обсягом робіт із монтажу систем опалення. На сьогоднішній день, коли питання вичерпності органічних паливних ресурсів є особливо актуальними, застосування теплових насосів у системах мікроклімату знайшли широке використання у багатьох країнах Європи та Азії, особливо активно впроваджується дане обладнання в Японії. За оцінкою Світового енергетичного комітету, вже найближчим часом частка опалення та гарячого водопостачання від теплових насосів становитиме у розвинених європейських країнах не менше 75%.

Тепловий насос є пристроєм, що дозволяє передати теплоту від холоднішого тіла до більш нагрітого за рахунок використання додаткової енергії, найчастіше - механічної. Застосування теплових насосів – один із шляхів утилізації теплоти вторинних енергетичних ресурсів. Розпорядженням від 20.05.2009 № 609-р «Питання встановлення теплових насосів» Кабінет Міністрів України визначив перелік проектних пропозицій щодо першочергової установки теплових насосів, що дозволяє на конкретних об'єктах перевірити доцільність та раціональні межі використання теплових насосів у різних кліматичних умовах використання у будівництві [2].

Тепловий насос для потреб систем опалення використовує енергію відновлюваних джерел – нагрітого повітря, землі, скельних порід або води – для виробництва теплової енергії. Це перетворення здійснюється за допомогою особливих речовин – холодоагентів. Холодоагент забирає тепло навколишнього середовища і випаровується всередині контуру. Потім газоподібна суміш стискається у компресорі. Це ще більше підвищує температуру у холодоагенті. Потім холодоагент знову зріджується, віддаючи тепло воді для нагріву, яка використовується для обігріву будівлі [3].

Теплові насоси розрізняються, насамперед, способом, який застосовується для перетворення теплоти. Оскільки теплові насоси та холодильні установки мають однаковий принцип дії, типи теплових насосів збігаються з типами холодильних установок. Інший важливий вид класифікації теплових насосів – тип джерела енергії, що використовується для перетворення теплоти. Класифікацію теплових насосів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Класифікація теплових насосів

Тип теплового насосу	Особливість	Опис
За видом передачі енергії	Компресійні	Основні елементи установки – це компресор, конденсатор, розширювач та випарник. Використовується цикл стискування-розширення теплоносія із тепла. Цей тип теплових насосів простий, високоефективний та найбільш популярний
	Абсорбційні	Це теплові насоси нового покоління, які використовують як робоче тіло пару абсорбент-хладон. Застосування абсорбенту підвищує ефективність роботи теплового насосу
За джерелом тепла	Геотермальні	Теплова енергія береться з ґрунту чи води
	Повітряні	Тепло витягується з атмосфери
	Використовують вторинне тепло	В якості джерела тепла використовуються повітря, вода, каналізаційні стоки
На вигляд теплоносія	Теплові насоси «повітря-повітря»	Цей вид теплових насосів забирає тепло у холоднішого повітря, ще більше знижуючи його температуру, і віддає його в опалювальне приміщення
	Теплові насоси «вода-вода»	Використовується тепло ґрунтових вод, яке передається воді для опалення та гарячого водопостачання
	Теплові	Використовуються зонди або свердловини для води та для повітряної системи опалення
	Теплові насоси «повітря -вода»	Атмосферне тепло використовують для водяного опалення
	Теплові насоси «ґрунт-вода»	Труби прокладаються під землею, і по них циркулює вода, що забирає тепло із ґрунту
	Теплові насоси «лід-вода»	Для нагрівання води в системі опалення та гарячого водопостачання використовується теплова енергія, що вивільняється при отриманні льоду. Заморожування 100-200 л води здатне забезпечити обігрів середнього будинку протягом години

Для того, щоб тепловий насос був ефективним, він повинен давати тепловій енергії більше, ніж споживати електричну. Це співвідношення називається коефіцієнтом

перетворення. Коефіцієнт перетворення може змінюватись в залежності від різниці температур вхідного та вихідного контуру.

Незважаючи на складність і дорожнечу, тепловий насос вважається недорогим джерелом тепла систем опалення в довгостроковій перспективі.

### Інформаційні джерела

1. <https://teplovonasos.com/>
2. <https://patriot-nrg.com/>
3. <https://www.dw.com/>

УДК 621.577

## ТЕПЛОВІ НАСОСИ У СИСТЕМАХ ОПАЛЕННЯ І ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ

Лужанська Г.В., к.т.н., доцент, Савілов А.О., студент  
Національний університет «Одеська Політехніка», м. Одеса

Застосування теплових насосів різної модифікації є принципово новим рішенням проблеми теплопостачання, холодопостачання і дозволяє в залежності від сезонності та умов роботи досягати максимальної ефективності у їх роботі [1-3].

Використання теплових насосів знижує витрати енергії, отриманої шляхом спалювання палива, і, відповідно, знижує викид в атмосферу токсичних речовин [4]. Важливою особливістю теплових насосів є універсальність використання – за низьких зовнішніх температур забезпечує нагрівання приміщень, а в спеку – їх охолодження. Крім того, застосування повітряних систем опалення та кондиціонування повітря дозволяє контролювати стан повітря в будинку, видаляти шкідливі домішки, частки пилу, різні алергени та запахи (рис 1).

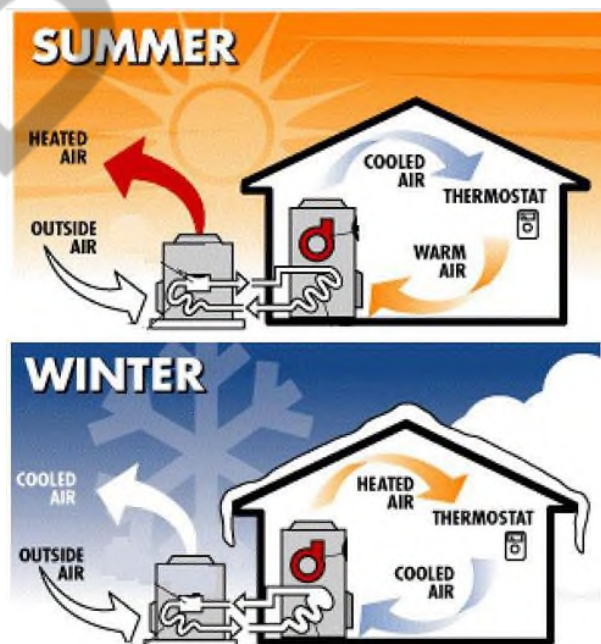


Рис 1 – Робота теплового насоса в режимі опалення та кондиціонування

У системі з тепловим насосом 75% корисного тепла або холоду забезпечується за рахунок безкоштовних джерел - тепла землі, ґрунтових вод або нагрітого в приміщеннях і використаного повітря, що викидається на вулицю [5].

За своїм принципом дії тепловий насос аналогічний холодильним агрегатам чи чилерам. Тому влітку він може застосовуватися не для обігріву будинку, а для його охолодження чи кондиціонування.

Принцип роботи системи охолодження за допомогою теплового насоса аналогічний до системи опалення, тільки замість радіаторів використовуються фанкойли.

Енергетична ефективність застосування теплових насосів залежить від температури низькопотенційного джерела. Економічна ефективність застосування теплових насосів залежить від температури низькопотенційного джерела теплової енергії, вартості електроенергії, собівартості теплової енергії, яка виробляється з використанням різних видів палива.

### Інформаційні джерела

1. Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки: Закон України від 11 липня 2001 р. № 2623-III. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2623-14>
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. Біла книга енергетичної політики України «Безпека та конкурентоспроможність». Київ, 2015. 49 с.
3. Заходи охорони здоров'я. Основні положення: ДБН В.2.2-10 : 2022 – [Чинний від 2023-03-01]. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіон України, 2022. – 73 с. – (Нормативний документ Держбуд України. Державні будівельні норми).
4. <https://term.od.ua/blog/otoplenie-teplovim-nasosom/>
5. Мазуренко А.С., Лужанська Г.В., Фуркаленко О.Л., Станіславов В.Д., Муренко І.В. Альтернативні установки систем незалежного енергопостачання. Proceedings of the XXV International Scientific and Practical Conference. San Francisco, USA. 2023. Pp. 454-456

**УДК 622.276.34**

## СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ

Годик К.О., аспірант

Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Сучасний світ переживає період кардинальних змін у сфері енергетики. Зростаючий попит на енергію, обмеженість традиційних ресурсів та необхідність зменшення негативного впливу на довкілля стимулюють глобальні дискусії щодо майбутнього енергетичної політики. На тлі світової енергетичної кризи, країни намагаються знайти баланс між енергетичною безпекою, економічною ефективністю та екологічною стабільністю. Відновлювані джерела енергії, інноваційні технології та заходи з енергоефективності стають центральними елементами у вирішенні сучасних енергетичних викликів. Ця доповідь розглядає ключові аспекти та проблеми, з якими стикається енергетичний сектор, а також можливі шляхи їх подолання.

1. Глобальна енергетична криза
  - Постійне зростання попиту на енергію призводить до дефіциту ресурсів та зростання цін на енергоносії. Виникає необхідність пошуку альтернативних джерел енергії.
2. Перехід до відновлюваних джерел енергії

- Вітрова, сонячна та гідроенергетика стають дедалі популярнішими завдяки їхній екологічності. Однак основною проблемою є нестабільність виробництва та залежність від погодних умов.

### 3. Енергетична безпека та незалежність

- Залежність від імпортованих енергоносіїв ставить країни перед викликами в умовах глобальних конфліктів. Розвиток власних ресурсів та інфраструктури є пріоритетом для багатьох держав.

### 4. Ефективність використання енергії

- Сучасні технології дозволяють значно підвищити ефективність використання енергії як в промисловості, так і в побуті. Важливу роль відіграють інноваційні рішення в галузі енергозбереження та модернізації старих енергетичних систем.

### 5. Екологічні проблеми та енергетика

- Традиційні джерела енергії, такі як вугілля та нафта, мають значний негативний вплив на навколишнє середовище. Забруднення атмосфери, ґрунтів та водних ресурсів вимагає від світової спільноти рішучих дій для зменшення викидів парникових газів.

### 6. Інвестиції в інновації та наукові дослідження

- Розвиток нових технологій, таких як воднева енергетика або ядерний синтез, є ключовим елементом у розв'язанні енергетичних проблем майбутнього. Важливо збільшити фінансування досліджень у цій сфері.

### 7. Соціальний аспект енергетики

- Питання доступу до енергії, особливо в країнах, що розвиваються, залишається актуальним. Забезпечення стабільного електропостачання може покращити умови життя мільйонів людей.

Глобальне зростання населення та швидка індустріалізація ведуть до різкого збільшення попиту на енергію. Це спричиняє значний тиск на традиційні джерела енергії, такі як нафта, газ і вугілля. У багатьох країнах спостерігається дефіцит енергоносіїв, що призводить до економічних криз, підвищення цін на паливо та інфляції. Енергетична криза також впливає на політичну стабільність країн, які залежать від імпорту енергії, та стає причиною міжнародних конфліктів. У відповідь на ці виклики багато держав розробляють стратегії для диверсифікації джерел енергії та зменшення залежності від викопного палива. *Наприклад* у 2022 році Європа зіткнулася з серйозною енергетичною кризою через геополітичні конфлікти та скорочення поставок природного газу з Росії. Це призвело до різкого зростання цін на енергоносії, що змусило країни шукати нові джерела енергії, скорочувати споживання та прискорювати перехід на відновлювані джерела.

В умовах зростання екологічних викликів все більше країн звертаються до відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова, гідроенергетика та біопаливо. Однак, хоча ці джерела є більш екологічними, вони стикаються з рядом труднощів. Основними проблемами є непостійність виробництва енергії через залежність від погодних умов, висока вартість інфраструктури та обмежені можливості для її зберігання. Попри це, технології швидко розвиваються, і уряди та приватні компанії активно інвестують у дослідження для підвищення ефективності відновлюваних джерел енергії. *Наприклад* Данія є світовим лідером у використанні вітрової енергетики. У 2020 році більше 50 % її електроенергії було вироблено на вітрових станціях. Вітряні ферми Данії не лише забезпечують країну енергією, але й дозволяють експортувати надлишкову електроенергію в інші країни Європи.

Енергетична незалежність стала однією з головних стратегічних цілей багатьох держав. Це означає здатність забезпечувати себе необхідними ресурсами без зовнішнього втручання. Залежність від імпорту енергоносіїв робить країни вразливими до глобальних ринкових коливань та геополітичних конфліктів. Війни, санкції або політичні кризи в країнах-експортерах енергії можуть призводити до перебоїв у постачанні. Для вирішення цієї проблеми держави інвестують у розвиток власних ресурсів, диверсифікують

енергетичні поставки та нарощують стратегічні запаси. *Наприклад* Норвегія інвестувала значні кошти в розвиток власних ресурсів нафти та газу, що дозволило країні стати одним із провідних експортерів енергії в Європі. Це забезпечило Норвегії енергетичну незалежність та економічну стабільність, зокрема під час глобальних криз.

Підвищення енергоефективності стає пріоритетом у сучасній енергетичній політиці. Удосконалення енергозберігаючих технологій дозволяє зменшити енергоспоживання та витрати. Наприклад, модернізація старих енергетичних систем, впровадження енергоощадних будівель та інтелектуальних мереж (smart grids) можуть суттєво скоротити втрати енергії. Промислові компанії все частіше звертаються до інноваційних рішень для оптимізації виробничих процесів та підвищення їхньої енергоефективності, що не лише зменшує витрати, а й покращує екологічну ситуацію. *Наприклад* у Німеччині працює програма "Energiewende", яка спрямована на підвищення енергоефективності та перехід на відновлювані джерела енергії. Одним із успішних проєктів є впровадження інтелектуальних енергомереж (smart grids), що дозволяють краще керувати споживанням енергії та зменшувати втрати в енергосистемі.

Традиційні джерела енергії, такі як вугілля, нафта та газ, є головними винуватцями викидів парникових газів, що спричиняють глобальне потепління. Забруднення атмосфери та викиди CO<sub>2</sub> викликають зміну клімату, що загрожує екосистемам, підвищенню рівня світового океану та погіршенню якості життя людей. Крім того, добування та спалювання викопного палива призводять до забруднення ґрунтів і водних ресурсів. Зменшення залежності від цих джерел енергії та перехід до чистіших технологій є важливим кроком для збереження довкілля. *Наприклад* Китай активно розвиває свої програми боротьби із забрудненням довкілля та викидами CO<sub>2</sub>. Наприклад, у Пекіні було впроваджено строгі обмеження на використання вугілля та заміщення його на відновлювані джерела енергії, що дозволило значно зменшити рівень забруднення повітря у великих містах.

Наукові дослідження та інноваційні технології відіграють вирішальну роль у подоланні сучасних енергетичних викликів. Зокрема, розвиток водневої енергетики, яка є чистою та ефективною, може стати важливою альтернативою традиційним джерелам енергії. Інший перспективний напрямок – це ядерний синтез, який здатний забезпечити майже необмежені ресурси енергії без значних екологічних наслідків. Проте ці технології вимагають значних інвестицій та тривалого часу для розвитку, тому важливо збільшити фінансування досліджень у цій сфері, щоб прискорити їх впровадження. *Наприклад* Європейський Союз у 2020 році інвестував мільярди євро в дослідження водневої енергетики через програму "Зелена угода". В рамках цієї ініціативи водень розглядається як перспективне джерело енергії для транспорту, промисловості та енергетики, здатне замінити викопні види палива.

Енергетична нерівність залишається гострою проблемою у багатьох країнах. Близько мільярда людей по всьому світу досі не мають доступу до стабільного електропостачання. Це впливає на рівень життя, економічні можливості та загальний розвиток цих регіонів. Забезпечення доступу до енергії може сприяти покращенню соціально-економічної ситуації, поліпшити умови для освіти, медицини та економічного зростання. Важливо, щоб глобальні ініціативи сприяли зменшенню енергетичної бідності та забезпечували стає енергетичне майбутнє для всіх. *Наприклад* у Республіці Індія було запущено програму "Saubhagya" (2017), метою якої є забезпечення доступу до електроенергії для всіх домогосподарств, включно з віддаленими сільськими регіонами. Програма дозволила підключити до електромережі мільйони людей, покращивши умови їхнього життя та економічні можливості.

Енергетична сфера стоїть перед великими викликами, але водночас відкриває значні можливості для розвитку. Важливо, щоб світова спільнота зосередилася на пошуку збалансованих рішень, які поєднують інтереси економічної стабільності, енергетичної безпеки та збереження навколишнього середовища. Інвестиції в інновації, підвищення енергоефективності та перехід до відновлюваних джерел енергії стануть основними

стовпами для сталого енергетичного майбутнього. Лише завдяки комплексному підходу та міжнародній співпраці ми зможемо вирішити сучасні проблеми енергетики та забезпечити доступ до чистої і надійної енергії для майбутніх поколінь.

## СИСТЕМИ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Гітрук М.А., студент

Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Відновлювана енергія – це енергія, отримана з природних джерел, що поповнюється з більшою швидкістю, ніж споживається. Така енергія не може вичерпатися на відміну від викопних видів палива (вугілля, нафти і газу), що є невідновлюваними ресурсами, на формування яких витрачаються сотні мільйонів років, а при їх спалюванні утворюються шкідливі викиди парникових газів.

Виробництво відновлюваної енергії створює набагато менше викидів, тому перехід від викопного палива до відновлюваних джерел енергії вважається ключем до подолання кліматичної кризи.

Відновлювані джерела енергії численні та оточують нас усюди. В даний час найбільш популярними серед них є:

- сонячна енергія;
- енергія вітру;
- гідроенергетика;
- енергія припливів;
- геотермальна енергія;
- енергія біомаси.

Сонячна енергія. Сьогодні людство застосовує сонячне проміння по-різному. Це може бути пасивне використання сонячної енергії, що передбачає орієнтацію будівлі по сонцю або вибір матеріалів із сприятливими властивостями теплової маси і розсіювання світла. Або ж активні сонячні технології з використанням сонячних колекторів для опалення або перетворенням сонячного світла на електрику.

Існує два основних типи технологій сонячної енергії – фотоелектрична (PV) і концентрована сонячно-теплова енергія (CSP).

Перша (PV) перетворює сонячне світло в електричну енергію через фотоелектричні панелі, які поглинають енергію сонячного світла. А друга (CSP) – використовує дзеркала, які концентрують сонячне випромінювання і перетворюють сонячну енергію на тепло, яке потім можна використовувати для виробництва електроенергії або зберігати в батареях чи термоакумуляторах.

Енергія вітру. Енергія вітру використовує кінетичну енергію повітря, що рухається за допомогою великих вітряних турбін, розташованих на суші або в морській чи прісній воді.

Сьогодні берегові та морські вітряні електростанції стають все більш звичним явищем у різних країнах світу, а енергія вітру робить все більший внесок у їх національну енергосистему.

Гідроенергетика. Гідроенергетика – це галузь відновлюваної енергетики, яка використовує енергію води. Електроенергія виробляється за рахунок використання греблі або іншої водозабірної конструкції для зміни природної течії річки або іншої водойми та створення контрольованого водного потоку. Технології гідроенергетики використовують перепад висот.

В даний час гідроенергетика є найбільшим джерелом відновлюваної енергії в електроенергетиці.

Припливна енергетика. Припливна або морська енергія – це ще одна форма гідроенергетики, яка двічі на день використовує приливні течії для приводу турбогенераторів. Вона включає енергію хвиль, потужність морських течій і припливів, утворювані за рахунок кінетичної енергії великих водних мас, що рухаються.

Проте, деякі підходи з використанням приливної енергії можуть завдати шкоди дикій природі. Такі конструкції утворюють припливно-відливний басейн, а шлюзи на греблі контролюють рівень води та швидкість потоку. Такі загородження можуть змінити рівень припливів у басейні і збільшити каламутність води, завдати шкоди рослинам і тваринам в естуаріях припливного басейну та негативно вплинути на навігацію та відпочинок.

Геотермальна енергія. Геотермальна енергія – це тепло всередині землі. Існує три основні типи геотермальних електростанцій.

Сухі парові установки, що використовують пар безпосередньо з геотермального резервуара для обертання турбін генератора.

Парогенератори миттєвого випаровування, що закачують гарячу воду з надр землі під високим тиском в резервуар на поверхні, де тиск набагато нижчий, внаслідок чого частина рідини швидко випаровується, перетворюючись на пару. Потім пара приводить в дію турбіну генератора, а вода, що залишилася, і сконденсований пар закачуються назад в землю.

Електростанції бінарного циклу, що передають тепло від геотермальної гарячої води іншій рідині. Тепло змушує іншу рідину перетворюватися на пару, яка використовується для приводу турбіни генератора.

Отриману геотермальну енергію можна використовувати для безпосереднього обігріву будинків, гарячого водопостачання або вироблення електроенергії.

Біомаса. Біомаса – це відновлюваний органічний матеріал, отримуваний з рослин і тварин. Електрику за допомогою біомаси отримують шляхом спалювання органічних речовин. В результаті такого спалювання хімічна енергія виділяється у вигляді тепла і може генерувати електрику за допомогою парової турбіни.

Висновок. У майбутньому очікується, що кількість відновлюваних джерел енергії продовжуватиме зростати, оскільки у світі спостерігається зростання попиту на електроенергію.

Системи відновлюваної енергії швидко стають більш дешевими та ефективними, а їхня частка у загальному споживанні енергії стабільно збільшується, при цьому переважна більшість нових встановлених у всьому світі електричних потужностей припадає саме на відновлювані джерела.

Впровадження відновлюваних джерел енергії та технологій енергоефективності забезпечує значну енергетичну безпеку та пом'якшення наслідків зміни клімату.

Сьогодні відновлювані джерела енергії становлять 26% світової електроенергії і, за даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), очікується, що до 2024 року їхня частка досягне 30%.

## **ELECTRIC VEHICLES, CHARGING SYSTEM AND ENERGY STORAGE**

**Yefremov I., student**

**Odesa National University of Technology, Odesa**

### **Introduction to Electric**

Vehicles Electric vehicles (EVs) are vehicles that use electricity instead of gasoline or diesel. They are powered by batteries that are charged from the mains. The benefits of electric vehicles include reduced CO<sub>2</sub> emissions, reduced dependence on oil, and reduced noise and vibration levels. There are two main types of electric vehicles: BEVs (Battery Electric Vehicles),

which are fully battery-powered, and PHEVs (Plug-in Hybrid Electric Vehicles), which can be powered by both a battery and an internal combustion engine.

#### Charging Systems

Electric vehicle charging is carried out through different types of charging stations. Slow (level 1) charging is carried out from standard household sockets and lasts 8-12 hours. Level 2 charging uses 240V and takes 4-6 hours. Level 3 charging is done with direct current and allows you to charge the battery to 80% in 30 minutes to 1 hour. Basic charging standards include CHAdeMO, CCS and Tesla Supercharger. One of the key tasks is to develop a network of charging stations in both cities and residential areas.

#### Development of charging infrastructure

With the increasing number of electric vehicles on the roads, there is a need to develop charging infrastructure. New approaches include the integration of charging stations into everyday life – charging in shopping mall parking lots, office buildings, and even in apartment complexes. Innovative solutions are also being developed, such as wireless inductive charging, which allows you to charge your car without connecting to a cable, simply by parking over a special panel.

#### Energy storage

The main types of batteries for electric vehicles are lithium-ion, which have a high energy density and fast charging; solid-state, which is a new technology with better performance but is currently expensive; and nickel-metal hydride, which are considered obsolete due to their low energy density. Batteries can also smooth out demand peaks, integrate renewable energy, and support V2G technologies, where an electric vehicle can give energy to the grid.

#### Innovation in Battery Technology

In the current development of electric vehicles, special attention is paid to innovations in battery technology. In recent years, significant strides have been made in the creation of solid-state batteries, which promise increased energy density, safety, and reduced charging times. Solid-state batteries use a solid electrolyte instead of a liquid electrolyte, which avoids the risks of ignition and provides greater stability. Such innovations are key to overcoming major obstacles in the introduction of electric vehicles to the market.

#### Economic and environmental aspects

Electric cars significantly reduce fuel costs because electricity costs less compared to gasoline or diesel. This reduces the total cost of ownership of the vehicle. In addition, emissions of carbon dioxide and other pollutants are reduced, which improves air quality and helps fight climate change. However, battery production is also associated with emissions and the use of rare metals, such as lithium and cobalt, which makes it important to develop technologies for their processing and the search for alternative materials.

#### Economic and environmental aspects

Electric cars significantly reduce fuel costs because electricity costs less compared to gasoline or diesel. This reduces the total cost of ownership of the vehicle. In addition, emissions of carbon dioxide and other pollutants are reduced, which improves air quality and helps fight climate change. However, battery production is also associated with emissions and the use of rare metals, such as lithium and cobalt, which makes it important to develop technologies for their processing and the search for alternative materials.

#### Prospects for development

The future of batteries is tied to the development of solid-state batteries, which promise to significantly increase the range of electric vehicles and reduce their cost. Another important area is the recycling and reuse of batteries. The growth in the number of fast charging stations and the introduction of V2G technology will facilitate the integration of electric vehicles into energy systems. Going forward, electric vehicles, charging systems, and energy storage technologies will play a key role in transition to sustainable energy systems.

#### Government initiatives and support

Many governments around the world are actively supporting the transition to electric vehicles as part of a strategy to reduce carbon dioxide emissions. This includes tax breaks,

subsidies for the purchase of electric vehicles, as well as investments in the development of charging infrastructure. Some countries have imposed restrictions on the sale of new cars with internal combustion engines in the coming decades, incentivizing consumers to switch to greener alternatives.

### References

1. Husain, I. (2011). *Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals*. CRC Press.
2. Chan, C. C., & Chau, K. T. (2001). *Modern Electric Vehicle Technology*. Oxford
3. Tesla, Inc. (2022). *Tesla Supercharging Network*. Retrieved from [Tesla Official Website](#).
4. Sovacool, B. K., & Hirsh, R. F. (2009). Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid transition. *Energy Policy*, 37(3), 1095-1103.
5. International Energy Agency (IEA). (2021). *Global EV Outlook 2021*. Paris: IEA.
6. Gaines, L. (2014). The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*, 1-2, 2-7.
7. Global CCS Institute. (2020). *Infrastructure development for electric vehicle charging in cities*.
8. Larminie, J., & Lowry, J. (2012). *Electric Vehicle Technology Explained*. Wiley.

УДК 621.311.62:621.643:620.92

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДНЮ В УКРАЇНІ

Василів О.Б., к.т.н., доцент

Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

В рамках енергетичної стратегії Європейський Союз має намір повністю відмовитися від поставок російського газу і перейти на інші джерела. Одним з таких джерел є водневі технології. Згідно з планом дій REPowerEU Європейської Комісії передбачається прискорення виробництва й імпорту водню до 20 млн тон до 2030 року, що дозволить замінити 25...50 млрд м<sup>3</sup> імпортного газу [1]. В рамках цієї стратегії планується імпорт з сусідніх регіонів (Північна Африка та Україна). Україна є однією з найбільших транзитних держав, займає вигідне географічне положення, має величезний потенціал для генерації електроенергії з відновлюваних джерел.

В Україні основною ресурсною базою сучасної зеленої водневої енергетики для виробництва водню методом електролітичного розкладу води є електрична енергія відновлюваних джерел та водні ресурси. Не менш важливим елементом при визначенні оптимальних територій для виробництва зеленого водню є наявність можливостей для його зберігання і транспортування до споживачів [3]. Потенційно можливий середньорічний технічний потенціал виробництва зеленого водню в Україні сонячними та вітроелектростанціями, становить 505 132 млн нм<sup>3</sup> (44 957 тис. т), з них 218 742 млн нм<sup>3</sup> (19 468 тис. т) з офшорних ВЕС [2].

В Одеській області реалізується проєкт з будівництва заводу з виробництва 7...8 тис.т водню на рік з встановленою потужністю електролізерів у 100 МВт. Витрати на виробництво 1 м<sup>3</sup> водню становитимуть 1,5-2 л води та 4,5 кВт·год електроенергії. Собівартість водню на заводі в Рені становитиме 4.5..5 євро за кг. Електропостачання передбачається здійснювати з вітрових та сонячних електростанцій [4].

Транспортування водню магістральними газопроводами є одним з можливих способів доставки водню з місця його виробництва до місця споживання. Наприклад, вартість транспортування водню трубопроводом пропускною спроможністю 1,5... 2,5 млн. тонн на рік, діаметром 1200 мм, під тиском 8 МПа (залежно від годин повного навантаження) становить \$0,5/кг.

Одним із джерел електричної енергії, крім відновлюваних, може бути і електрична енергія отримана від роботи атомних електростанцій, особливо в нічний період доби у години найменшого споживання електричної енергії.

У якості одного з можливих місць розміщення установок для електролізу водню є їх наближеність до потужних електростанцій. В цій роботі розглядається варіант транспортування чистого водню з Південноукраїнської АЕС до м. Одеса. Згідно з прокладеним маршрутом довжина трубопроводу від Південноукраїнської АЕС до м. Одеса становить 156 км.

Основними вихідними даними для моделювання магістрального газопроводу є: продуктивність газопроводу, температура та тиск газу на початку і в кінці ділянки газопроводу, еквівалентна шорсткість труб, діаметр газопроводу. Обчислювальний алгоритм заснований на використанні розрахункових залежностей, які рекомендовані чинними нормами технологічного проектування магістральних газопроводів, з врахуванням властивостей водню.

На рис. 1 наведені результати зміни параметра  $A = \frac{p_n^2 - p_k^2}{L}$ , МПа<sup>2</sup>/км, що відображає втрати тиску через тертя на одиницю довжини газопроводу і визначає гідравлічну енерговитратність транспортування газу, в логарифмічних координатах в залежності від діаметра трубопроводу при різних значеннях продуктивності газопроводу  $Q = \{0.2, 1, 3, 5\}$  млрд. м<sup>3</sup>/рік. Даний графік дозволяє визначити межі необхідних діаметрів труб газопроводу для транспортування водню виходячи з довжини ділянки трубопроводу та перепаду тисків на початку та в кінці ділянки магістрального газопроводу. Точки на графіках відповідають сортаменту труб, що виготовляються трубними заводами.

Було проведено дослідження впливу шорсткості трубопроводу  $k_e$  на енергетичний параметр  $A$ . На рис. 2 наведені результати зміни енергетичного параметра  $A$ , для труб різного діаметру при продуктивності газопроводу  $Q_3 = 3$  млрд. м<sup>3</sup>/рік. Зі збільшенням еквівалентної шорсткості з 6 до 30 мкм втрати тиску на 1 км трубопроводу зростають на 17...22% в залежності від діаметра труб. Аналогічна картина спостерігається і для іншої продуктивності. Натомість, зі збільшенням діаметра труб цей вплив практично нівелюється.

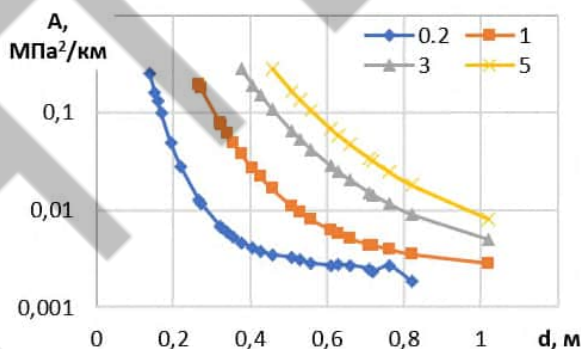


Рис. 1 – Результати зміни параметра  $A$  в залежності від діаметра трубопроводу при різних значеннях  $Q_3$

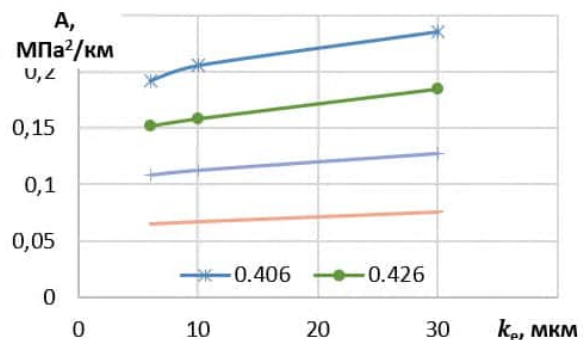


Рис. 2 – Вплив шорсткості трубопроводу  $k_e$  на енергетичний параметр  $A$  для труб різного діаметру при продуктивності газопроводу  $Q_3 = 3$  млрд. м<sup>3</sup>/рік

## Висновки

1. В результаті моделювання показано, що для транспортування водню на відстань 156 км з продуктивністю 1..5 млрд. м<sup>3</sup>/рік задовольняють труби діаметром 457...1020 мм.
2. Для транспортування 3 млрд. м<sup>3</sup>/рік водню діаметр труб магістрального газопроводу повинен становити не менше 600 мм.
3. Зі збільшенням еквівалентної шорсткості труб втрати тиску на 1 км трубопроводу зростають на 17...22%.

### Інформаційні джерела

1. Press corner. (n.d.). European Commission - European Commission. Retrieved January 31, 2024, from [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/uk/ip\\_22\\_3131](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/uk/ip_22_3131)
2. Воднева стратегія України: проєкт / Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – Київ, 2021. – 91 с
3. Василів О. Моделювання процесів транспортування водню магістральними газопроводами. Збірник тез доповідей 84 наукової конференції викладачів університету, – Одеса: ОНТУ. – 2024. С. 250–252.
4. Економічна правда. Водневий завод на Одещині. Як бізнес в промислових масштабах вироблятиме екологічне пальне. *Економічна правда*. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2024/05/27/714192/> (дата звернення: 24.08.2024).

УДК 622.692.6

## ОСОБЛИВОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ НАФТОПРОВОДУ ЧАСТОТНИМИ ПРИСТРОЯМИ

Кологривов М.М., к.т.н., доцент

Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Частотне регулювання широко використовують для регулювання частоти обертання асинхронних трифазних електродвигунів, які є приводом насосів, вентиляторів та інших механізмів. Мета частотного регулювання – забезпечення енергоекономної роботи обладнання [1].

Для трубопровідного транспорту нафти і нафтопродуктів застосовують агрегати з відцентровими насосами. При зміні числа обертів робочого колеса насоса змінюється його продуктивність та натиск. На малюнку 1 представлені як приклад розрахункові характеристики магістрального насоса НМ 3600-230 при частотному регулюванні (рис. 1).

Насоси типу НМ різної продуктивності використовують при трубопровідному транспорті нафти. Логічно запитати: Чому на магістральних нафтопроводах немає систем частотного регулювання? Відповідь лежить у порівнянні потужності насосних агрегатів та потужності установок частотного регулювання.

Максимальна потужність встановлення частотного регулювання фірми Danfoss VLT становить 1400 кВт [2]. Орієнтовна вартість установки оцінюється в 450000 \$ США. З іншого боку, потужність насоса НМ 3600-230 в номінальному режимі роботи при 3000 об/хв становить 2200 кВт [3] і перевищує можливості частотного регулювання. Привід насосів НМ здійснюють синхронні електродвигуни типу СТД. Асинхронні електродвигуни не застосовують через недостатню потужність. Наприклад, для насоса марки НМ 1250-260 номінальною потужністю на валу 928 кВт та інших насосів марки НМ меншої потужності можливе частотне регулювання режиму роботи, якщо в якості приводу застосовують асинхронний електродвигун. Слід додати, що в даний час випускають електродвигуни

асинхронні загальнопромислового призначення з максимальною потужністю 315 кВт. Застосування частотного регулювання на діючих магістральних нафтопроводах неможливе за технічними характеристиками. Необхідна модернізація насосних агрегатів.

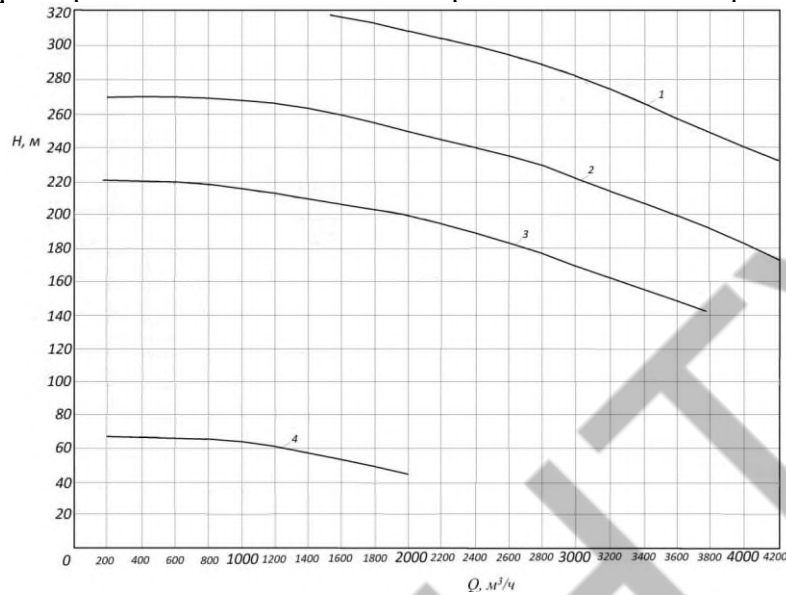


Рис. 1 – Характеристики насоса НМ 3600-230 при різних обертах колеса діаметром 425 мм: 1 – 3300 об/хв; 2 – 3000 об/хв (номінальний режим); 3 – 2700 об/хв; 4 – 1500 об/хв.

На проміжній станції нафтопроводу (НПС) в середньому працює три основні магістральні насоси. На головний НПС до основних насосів додаються підпірні насоси. На кожен насос необхідно встановити окремий пристрій частотного регулювання. Можна сказати, що і з економічної точки зору використання частотного регулювання на магістральних нафтопроводах без модернізації було б недоцільним.

При частотному регулюванні є особливості розрахунку кількості обертів для досягнення заданої витрати. У джерелі [1] сказано, що витрата ( $Q$ ) через насос змінюється прямо пропорційно до зміни обертів ( $n$ ). Якщо удвічі зменшили кількість обертів, то удвічі зменшилася витрата.

$$(n_1 / n_2) = (Q_1 / Q_2) \quad (1)$$

Зміна напору ( $H$ ) рідини в насосі при зміні числа обертів відбувається у другому ступені. Якщо вдвічі зменшили кількість обертів, то вчетверо зменшився напір [1].

$$(n_1 / n_2)^2 = (H_1 / H_2) \quad (2)$$

Зміна напору в насосі дорівнює зміні втрати напору в трубопроводі. При регулюванні продуктивності зміною числа обертів робоча точка на суміщеному графіку  $H=f(Q)$  переміщатиметься незмінною кривою, яка є характеристикою нафтопроводу. На рисунку 2 це крива 1. При зменшенні числа обертів новою робочою точкою рисунку 2 стане точка С.

Дані побудови характеристики нафтопроводу розраховують за формулою Дарсі – рівнянню визначення потрібного напору [4].

$$H = P_n / (\rho \cdot g) = (Z_k - Z_n) + P_k / (\rho \cdot g) + 1,02 \cdot \lambda \cdot L_i \cdot W^2 / (D \cdot 2 \cdot g), \text{ м.ст.р} \quad (3)$$

де  $P_n$ ,  $P_k$  – тиск рідини на початку та в кінці ділянки трубопроводу, Па;  $\rho$  – щільність рідини,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;  $Z_n$ ,  $Z_k$  – висотна позначка початку та кінця ділянки трубопроводу, м.ст.р.;  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного опору трубопроводу;  $L_i$  – довжина ділянки трубопроводу, м;  $W$  – швидкість рідини у трубі,  $\text{м/с}$ ;  $D$  – діаметр трубопроводу, м; 1,02 – коефіцієнт обліку місцевих опорів за довжиною трубопроводу.

Виникає питання: А як визначити число обертів, що відповідає даним робочій точці С? Якщо використовувати співвідношення (1) і (2) для побудови залежності  $H=f(Q)$ , то отримаємо криву 2 на рисунку 2. Робоча точка А є вихідною для побудови кривої 2. Аналіз графічних даних показує, що при тому самому витраті  $1250 \text{ м}^3/\text{год}$  спостерігаються два

значення напору 241,2 м.ст. та 226,9 м.ст. Напір, який відповідає точці *D* на рисунку 2 неправильний. Звідси випливає, що використання залежностей (1) і (2) для визначення кількості обертів має особливості. Для визначення нового числа обертів при частотному регулюванні необхідно використовувати формули (1), (2), (3). Пропонується наступний алгоритм розрахунку.

1) За допомогою формули (3) визначаємо потрібний напір у трубопроводі при новому значенні продуктивності. 2). За розрахованим значенням потрібного напору за формулою (2) знаходимо нове число обертів, що відповідає цьому потрібному натиску. 3). За допомогою пристрою частотного регулювання налаштуємо роботу насоса на задану продуктивність.

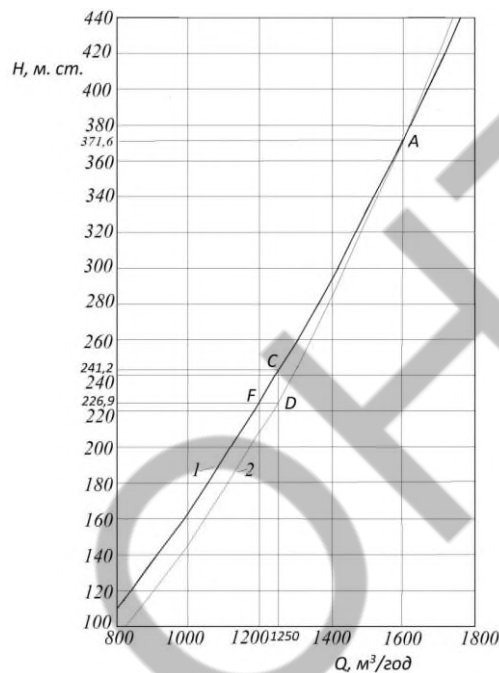


Рис. 2 – До перерахунку характеристик нафтопроводу «Августівка-Снігурівка» на нову кількість обертів насосного агрегату:

1 – характеристика нафтопроводу «Августівка-Снігурівка»; 2 – результати розрахунків за виразами (1) та (2); А - робоча точка НПС «Августівка» на характеристиці нафтопроводу при номінальній кількості оборотів насосного агрегату; Показники точок: А –  $Q = 1600 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  $H = 371,6 \text{ м.ст.}$ ;  $n = 3000 \text{ об/хв}$ ; С -  $Q = 1250 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  $H = 241,2 \text{ м.ст.}$ ;  $n = 2438 \text{ об/хв}$ ; F -  $Q = 1200 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  $H = 226,9 \text{ м.ст.}$ ;  $n = 2344 \text{ об/хв}$ .

### Інформаційні джерела

1. Режим роботи насосних та вентиляторних установок із автоматизованим електроприводом: навч. посібник / Т. В. Коренькова, О. О. Сердюк, В. Г. Ковальчук. – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О. В., 2013. – 200 с [http://library.kpi.kharkov.ua/files/new\\_postupleniya/rrntvu.pdf](http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/rrntvu.pdf)

2. Danfoss. <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/our-businesses/drives/>

3. Насоси для перекачування пального та ПММ: основні типи, переваги та недоліки, сфери використання <https://petroline.ua/detalno-pro-nasosy-dlia-perekachuvannia-palnoho/>

4. Возняк М. П. Проектування і експлуатація газонафтопроводів: підручник [для студентів вищ.навч.закл.] / М. П. Возняк, Г. М. Кривенко. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. – 664 с. [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=S&I21DBN=EC&P21DBN=UJRN&S21FMT=JwU\\_B&S21ALL=%28%3C.%3EU%3D%D0%9E71%20%D1%8F73-1%3C.%3E%29&Z21ID=&S21SRW=dz&S21SRD=DOWN&S21STN=1&S21REF=10&S21CNR=20](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=S&I21DBN=EC&P21DBN=UJRN&S21FMT=JwU_B&S21ALL=%28%3C.%3EU%3D%D0%9E71%20%D1%8F73-1%3C.%3E%29&Z21ID=&S21SRW=dz&S21SRD=DOWN&S21STN=1&S21REF=10&S21CNR=20)

УДК 621.574

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ЗМІН В НАФТОГАЗОНАСИЧЕНОМУ ПОРИСТОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Дорошенко В.В., аспірант  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Промисловий досвід та дослідження показують, що майже всі роботи на родовищі - буріння та підземний ремонт свердловин, розкриття пласта перфорацією та його випробовування, видобуток вуглеводнів та штучна дія на пласт є потенційними джерелами незворотної зміни його початкового зрівноваженого термобаричного стану, який характеризується зміною пластового тиску і температури, в процесі видобування вуглеводнів. При цьому відбуваються зміни в нафтогазонасиченому пористому середовищі, а саме формування двофазного потоку (нафти і газу) при досягненні тиску насичення. Відбувається зниження продуктивності свердловин і формування навколо стовбура зони з погіршеними фільтраційними властивостями або інакше привибійної зони пласта.

Нафтогазонасичене пористе середовище є складною термодинамічною системою. Нафта і газ в земній корі розташовуються у порожнинах, каналах і тріщинах різної структури, утворюючи багатокомпонентні різнофазові термодинамічні системи. Підземні колектори характеризуються різними статистичними показниками: пористістю  $m$ , поверхнею зволоження  $f$ , проникністю  $k$ , пружністю  $\beta$ , теплоємністю  $c$ , теплопровідністю  $\lambda$ .

Розвиток режиму розчиненого газу при зменшенні тиску в зоні дренування до тиску насичення нафти газом при сумісній фільтрації рідини та газу до свердловини супроводжується безперервною зміною температури, що викликає порушення фазової рівноваги нафти, виділення з розчину твердого парафіну і як наслідок збільшення гідравлічних опорів потоку. Можливість відкладення парафіну в порах привибійної зони підтверджується практикою експлуатації свердловин.

У пористому середовищі будь-яка зміна температури одного компонента неминує пов'язана з теплообміном між іншими компонентами середовища, тому адіабатичний процес в окремо розглянутій фазі пористого середовища нереальний. Адіабатичним процесам може піддаватися пористе середовище як ізольована система в цілому. Характер таких процесів також залежить від законів тепловіддачі та теплообміну між компонентами пористого середовища.

Зміни в пористому середовищі можна визначити відповідно до ефекту Джоуля-Томсона, відповідно для нафти (1) і для газу (2):

$$T_n - T_n = -\varepsilon_n(P_n - P) \quad (1);$$

$$T_g - T_g = -\varepsilon_g(P_n - P) \quad (2),$$

де  $\varepsilon_n$ ,  $\varepsilon_g$  інтегральний коефіцієнт Джоуля-Томсона для нафти та газу, °C/Па;  $T_n$  - початкова пластова температура, °C;  $P_n$  — пластовий тиск, Па;  $P$  - тиск нафти і газу, якому відповідають температури нафти  $T_n$  і газу  $T_g$ , Па.

Це приводить до виділення кристалів парафіну з розчину нафтогазової суміші. Теплота виділення парафіну, або теплота кристалізації, є енергією, що виділяється при перетворенні парафіну з рідкого стану в твердий. Це фізичний процес, під час якого відбувається вивільнення тепла через утворення кристалічної ґратки.

З урахуванням калориметричного рівняння нафтогазової суміші і витрати вільного газу, можна визначити критичне значення газового фактору при якому починається виділення кристалів парафіну з розчину нафти у вигляді:

$$G_0 = \frac{(c_{\Gamma} \rho_{\Gamma} \varepsilon_{\Gamma} b a P - c_{\text{H}} \rho_{\text{H}} \varepsilon_{\text{H}}) \cdot (P_{\text{п}} - P) - (c_{\Gamma} \rho_{\Gamma} b a P - c_{\text{H}} \rho_{\text{H}}) \cdot (t_0 - t_{\text{п}})}{c_{\Gamma} \rho_{\Gamma} \varepsilon_{\Gamma} b \cdot (P_{\text{п}} - P) - c_{\Gamma} \rho_{\Gamma} b \cdot (t_0 - t_{\text{п}})} \quad (3),$$

де  $G_0$  — експлуатаційний газовий фактор,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $a$  — коефіцієнт розчинення газу в нафті,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $b$  — об'ємний коефіцієнт нафти;  $c$  — теплоємність нафти і газу при постійному тиску або об'ємі,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2 \text{ кг}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $\rho_{\text{H}}, \rho_{\Gamma}$  — густина нафти і газу в нормальних умовах,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Розглянуті нами залежності, що базуються на принципах ефекта Джоуля-Томсона дозволяють кількісно оцінити температурні зміни у привибійній зоні пласта, обґрунтувати вибір свердловин для проведення термообробок і встановити режими роботи свердловин, що виключають випадання парафіну в порах пласта, який спричиняє погіршення пропускної здатності колектора та зменшення дебіту свердловин.

Важливо зауважити, що в розглянутих залежностях не враховано теплоту виділення парафіну з нафти та теплообмін з оточуючими породами пласта, що залежить від багатьох факторів і потребує подальших досліджень.

### Інформаційні джерела

1. Довідник з нафтогазової справи / За заг. редакцією д.т.н. Бойка В.С., Кондрата Р.М., Яремійчука Р.С. - Київ-Львів, 1996.- 620 с.
2. Моделювання явищ і процесів у нафтогазопромисловій справі / Мислюк М.А., Зарубін Ю.О., Івано-Франківськ : Екор, 1999. - 496 с.
3. Термодинамічний вплив на привибійну зону продуктивних пластів / Світлицький В. М., Іванків О. О., Ягодівський С. І., Тітлов О. С. - Одеса: Азбука, 2023. -154 с.
4. Технічна термодинаміка та теплопередача / Малишев В.В., Кретов В.В., Т.М. Гладка, Київ Університет «Україна», 2015. - 257 с.
5. Расчет температурных изменений в призабойной зоне пласта в зависимости от режима работы скважины / Савенков Г.Д., Бойко В.С., Дорошенко В.М. - Нефтепромысловое дело, 1973, № 1, с. 15-17.

УДК 622.276.34

## ПАРАДИГМА ПІЗНЬОЇ СТАДІЇ РОЗРОБКИ НАФТОВИХ РОДОВИЩ

Тітлов О.С., д.т.н., професор, Дорошенко В.В., аспірант  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

На даний час видобувні запаси нафти в Україні складають біля 75 млн. т, з яких 60 % відносяться до категорії важковидобувних. Поточний коефіцієнт вилучення нафти складає 30% від початкових балансових запасів, а розчиненого газу – 40 %. В умовах поступового вироблення природних запасів, надзвичайно актуальним стає питання раціонального використання енергетичних ресурсів шляхом удосконалення існуючих систем розроблення родовищ з урахуванням теоретичних основ теплоенергетики, які базуються на законах термодинаміки, тепломасообміну та гідрогазодинаміки.

Такий підхід дає можливість вивчити особливості незворотних термобаричних змін у пористому середовищі і сформулювати напрямки удосконалення систем розробки родовищ на пізній стадії, що безперечно є своєчасним і актуальним для вирішення завдань нафтогазового комплексу України.

Узагальнення та аналіз стану розвитку нафтової промисловості України свідчить, що вона пройшла період максимального обсягу видобутку, за яким неминуче настає спад.

Максимального річного видобутку нафти 13,3 млн. т в Україні отримано у 1972 році. Після 1972 року видобуток нафти постійно знижується. У 1976–1982 роках темпи зниження склали 8,5–12 %, в 1985–1991 роках – 2,0–2,2 % на рік. Після 1992 р. ці темпи збільшилися до 5–10 %.

Зниження обсягів видобутку нафти пов'язано, насамперед, зі іншим термодинамічним станом покладів на фоні суттєвого вироблення запасів та переходом родовищ у пізню стадію розробки. Саме на цій стадії формуються так звані важковидобувні запаси, до складу яких входять запаси, що повністю не виробляються внаслідок розвитку режиму розчиненого газу, низької витискаючої здатності води, нерівномірності фронту стискування нафти, неоднорідності структури і колекторських властивостей порового простору, засмічення порових каналів асфальтено-парафіновими речовинами та механічними домішками, наявності низькопроникних прошарків, не охоплених заводненням, високих темпів відбору з високопроникних прошарків.

Головні ознаки що визначають стан пізньої стадії розробки умовно можна поділити на геолого-промислові та соціально-економічні. До групи геолого-промислових слід віднести високу обводненість покладів, наявність важко-видобувних запасів, утворення зон і ділянок, не охоплених дренаванням, низькі дебіти свердловин, масовий перехід на насосні способи видобування, зношеність підземного та наземного обладнання, збільшення кількості малодієвних, бездіючих та ліквідованих свердловин. У групу соціально-економічних ознак входять зростання собівартості продукції, зниження рентабельності підприємства при незмінному рівні оподаткування, нестача власних коштів на інвестиційну діяльність, відтік висококваліфікованих кадрів та занепад інфраструктури нафтопромислового району.

Важливими є і екологічні ознаки, які викликані, насамперед, фізичним «старінням» підземного і наземного обладнання та втрати його герметичності, утворення грифонів, підвищенням рівня загазованості та погіршення стану довкілля, як це має місце на старих родовищах Західної України, Польщі, США.

На прикладі динаміки показників розробки родовищ України, нами запропоновано графоаналітичний підхід визначення початку пізньої стадії розробки родовищ за кривими накопиченого видобутку нафти та обводненості продукції свердловин.

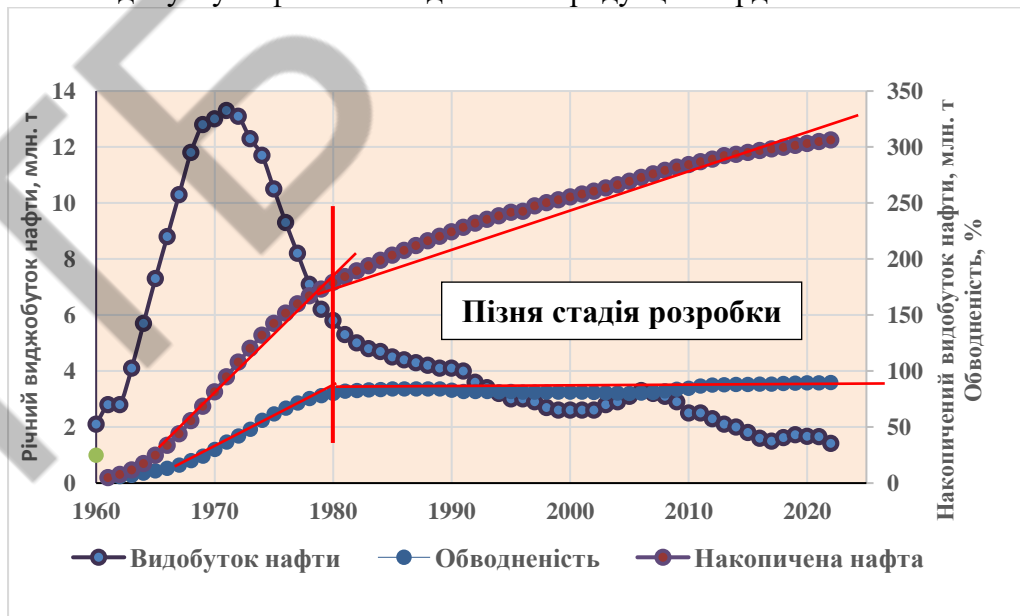


Рис. 1

Як видно з рисунку 1, дотичні до лівої і правої частин кривих обводненості продукції свердловин та накопиченого видобутку нафти симетрично перетинаються на одній лінії відносно вісі абсцис, визначаючи початок пізньої стадії розробки родовища або узагальнених показників групи нафтових родовищ.

Знання початку пізньої стадії розробки потрібно для ініціювання концентрації зусиль в техніко-технологічному, соціально-економічному та законодавчому напрямках діяльності, що в кінцевому результаті повинно забезпечити збільшення активного періоду розробки та повноту вироблення залишкових запасів нафти.

### Інформаційні джерела

1. «Важке золото»: чому в Україні падає видобуток нафти та кому може бути вигідним цей бізнес / Моїсєєв В. (2023). - Available at: <https://thepage.ua/ua/economy/vidobutok-nafti-v-ukrayini-u-2023-roci>.
2. Нафта і газ України / Державний комітет нафтової, газової та нафтопереробної промисловості України. – Київ, Наукова думка, 1997. – 378 с.
3. Nafta i gaz podkarpacia - Instytut Nafty i Gazu, Wydawnictwo «Naukowa Dumka». Krakow-Kijow, 2004. – 570 p.
4. Довідник з нафтогазової справи. За заг. редакцією д.т.н. Бойка В.С., Кондрата Р.М., Яремійчука Р.С. - Київ-Львів, 1996.- 620 с.

УДК 621.575

## ВИВЧЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ХОЛОДУ НА КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЯХ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИТРАТ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Фелонюк С.А., аспірант  
Одеський національний технологічний університет

Для транспортування природного газу магістральними трубопроводами на численних компресорних станціях (КС) встановлені газоперекачувальні агрегати (ДПА), енергоносієм для яких, в більшості випадків, є природний газ, що транспортується. На привід перекачувальних агрегатів витрачається (спалюється) 0,5...1,5 % від обсягу газу, що транспортується.

Ситуація із заміною існуючого обладнання на сучасне пов'язана зі значними інвестиціями, з одного боку, та невизначеністю із транзитом російського природного газу через ГТС України у найближчій перспективі. Найбільш перспективним є шлях збільшення ККД циклу ДПА за рахунок застосування схем з попереднім охолодженням газу, що компримується.

Метою цього дослідження є вивчення перспектив застосування технології попереднього охолодження технологічного природного газу перед стисненням у ДПА на базі тепловикористовуючих абсорбційних холодильних машин.

Для аналізу впливу попереднього охолодження технологічного природного газу на КС магістральних газопроводів обрано газоперекачувальний агрегат – ГТК-10І.

Виконано розрахунок споживаної потужності ДПА та витрата паливного газу за різних температур технологічного газу на вході в нагнітач.

На привід перекачувальних агрегатів витрачається (спалюється) 0,5...1,5 % від обсягу газу, що транспортується [1]. Тому проблема мінімізації витрати паливного газу в ДПА є актуальною і потребує ретельного аналізу.

ККД більшої частини парку ДПА, що експлуатується в даний час в Україні, знаходиться в діапазоні 24...27 [2].

Знизити витрати на перекачування можна так:

- Заміною існуючих агрегатів з низьким ККД на більш економічні, з ККД 36% і вище;
- Модернізацією існуючого обладнання із застосуванням нових підходів до організації процесів компримування (стиснення) на магістральних КС.

Ситуація із заміною існуючого обладнання на сучасне пов'язана зі значними інвестиціями, з одного боку, та невизначеністю з транзитом російського природного газу через ГТС України у найближчій перспективі [3, 4].

Найбільш перспективним є шлях збільшення ККД циклу ДПА за рахунок застосування схем з попереднім охолодженням газу, що компримується.

Це становище ґрунтується на наступному.

Якщо проаналізувати формулу питомої роботи ідеального компресора 1 для 1 кг газу, побачимо, що вона прямо пропорційна до абсолютної температури газу до стиснення

$$l = \frac{RT_1}{K-1} \left[ 1 - \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right], \quad (1)$$

де  $R$  – індивідуальна газова стала, Дж/(кг·К);

$T_1$  – абсолютна температура газу перед стиском, К;

$K$  – коефіцієнт Пуассона;

$P_1$  і  $P_2$  – абсолютний тиск газу, відповідно, до (на всмоктуванні) і після стиснення,

Па.

Так як значення температури всмоктування близько в більшості випадків до  $T=300$  К, то з рівняння (1) можна зробити висновок, що при зниженні температури газу, що всмоктується, на 1 °С, робота, витрачена на стиск 1 кг газу, зменшується приблизно на 0,33 %. Таким чином зниження температури газу перед стиском на 3 °С призводить до зниження витрачається на стиск і переміщення 1 кг газу роботи приблизно на 1%.

У першому наближенні цей висновок, отриманий ідеального компресора, можна застосувати до дійсного компресора.

На термодинамічну ефективність та дизельних агрегатів істотно впливає температура наддувного повітря. З її підвищенням на 10 °С ефективний ККД зменшується приблизно на 0,5 % і, відповідно, зростає питома витрата палива.

Для зниження температури наддувного повітря пропонують використовувати одне і дво-триступінчасту тепловикористовуючу пароежекторну холодильну машину на низькокиплячому робочому тілі (R142b). Передбачається, що системи охолодження утилізують теплоту газів, що відходять продуктів згорання.

До недоліків системи охолодження на базі пароежекторних систем можна віднести найнижчу енергетичну ефективність серед тепловикористовуючих систем охолодження та критичну залежність від зміни температур гріючого та охолоджуючого середовищ.

До аналогічного висновки дійшли й автори при порівнянні пароежекторного та абсорбційного холодильного циклу.

Якщо порівняти тепловикористовуючі холодильні машини абсорбційного типу, то водоаміачні системи (АВХМ) матимуть перевагу над бромистолітійовими (АБХМ) щодо діапазону температур охолодження. Так, мінімальні реальні температури охолодження в АБХМ не нижче 0 °С, зниження їх нижче 0 °С теоретично можливе, але на практиці важко досягти.

Робочий діапазон АВХМ на нижній межі становить мінус 45...мінус 25 °С і ці системи, в першу чергу, можуть знайти застосування в системах попереднього охолодження перед стисненням газу в ДПА.

В даний час досвід або теоретичний аналіз застосування АВХМ і АБХМ у складі КС магістральних трубопроводів природного газу невідомий.

Проведено розрахунок робочих параметрів ДПА та показано енергетичні та фінансові перспективи технології охолодження технологічного газу перед стисненням у

ДПА КС. Для поточної економічної ситуації (липень 2024 року) на ринку газу України добове зниження експлуатаційних витрат у типових магістральних газопроводах при зниженні температури газу перед стисненням у ДПА на 20 К становить від 2800 до 4360\$.

Запропоновано схему утилізаційної установки на базі АВХМ, яка в діапазоні вихідних даних дозволяє знижувати температуру технологічного природного газу перед стисненням на 11...13 °С.

### Інформаційні джерела

1. Середюк, М. Д. Проектування та експлуатація нафтопродуктопроводів. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2002. – 282 с.
2. Influence of Ambient Temperature Conditions. Main engine operation of MAN B&W two-stroke engines: MAN Diesel & Turbo, Copenhagen, Denmark, 2010. – 17 p.
3. Uchida S., Nishiguchi A. Low temperature absorption refrigeration machine with water-LiBr mixed refrigerant. Int. J. Refrigeration, 2006. vol. 81, No. 946. P. 618-621.
4. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфер енергетики та комунальних послуг. 30.09.2015. № 2494. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 6 листопада 2015 р., № 1379/27824.

**UDC 621.575**

## **DEVELOPMENT OF ABSORPTION REFRIGERATION DEVICES FOR OPERATION IN A WIDE RANGE OF AMBIENT TEMPERATURES**

**Selivanov A.P.**

**Odesa National University of Technology, Odesa**

In the recent years, greater weight in the structure of agricultural production in Ukraine belongs to individual farms and farmers. In these farms arise the problems of forming a regular economical budget, including a major problem in the preservation of the grown crops for three to six months in commercial quantities and at minimal energy costs. However, the acknowledged fact in world practice is the loss of most of the harvest of agricultural products in the absence of adequate refrigeration storage. Currently, the bulk of Ukrainian harvested fruits and vegetables is traditionally stored in the basements, where during the warm seasons (August—November, April—May) the required temperatures (5...12 oC) often cannot be maintained. To ensure the required regimes of storage, the market of household and commercial refrigeration equipment for small wholesale manufacturers offers national and imported demountable (panel) cold storages of volumes 3...9 m<sup>3</sup>, equipped with compression refrigeration machines. In modern conditions in rural Ukraine, operation of such cells is hampered by lengthy power outages and by poor quality electricity incoming (range of fluctuation of voltage is 160—250 V). The current situation makes appeal to heat-powered pumpless absorption refrigeration units (ARU).

Technical and economic characteristics. Refrigeration units of ARU have a number of unique features such as:

a) the possibility of use in a single ARU a number of different sources of heat — both electric and alternative (heat of combustion of fossil fuels and biogas, solar radiation, exhaust emissions of internal combustion engines);

b) the ability to work with low-quality sources of energy, including electricity network in the voltage range of 160...250 V;

c) noiselessness, high reliability and long service life.

The advantages of ARU should include the minimal price among existing types of small capacity refrigeration equipment, which in many cases determines their popularity among customers.

Important in modern conditions is also the fact that the working fluid of ARU — water-ammonia solution with the addition of inert gas (hydrogen, helium or mixtures thereof) belongs to natural refrigerants and is therefore completely environmentally safe (has zero ozone-depleting potential and the potential of the “greenhouse” effect). One of the most effective developments is the universal low-temperature chamber (LTC) of the “chest” type series, including the vehicle type (installed on car trailers), with a useful volume: 100; 180; 220; 240; 280 dm<sup>3</sup>. LTC’s original design of the “chest” type is protected by Ukrainian patent № 50941 and has two refrigeration units (on the sides or on the rear wall in a row), designed to provide storage regimes in a wide temperature range — from minus 18 °C (long term storage) to plus 10...12 °C (short-term storage of fruits and vegetables). All the developments are made on the basis of modern serial industry technologies of Vasil’kovsky factory of refrigerators. Design features of “chest” help to preserve cooled air inside the chamber, so that when you open the lid from the room, the air with a high moisture content does not get on the heat-receiving panels. This can significantly reduce the rate of formation of snow coats and thereby improve the performance and power characteristics of LTC.

The implementation took place at the Vasil’kovsky refrigerators plant. Achieved reducing energy consumption — up to 50%, enhanced functionality. To create a batch sample of absorption refrigerator with alternative energy sources, it is necessary to develop and produce the burner that works on, for example, liquefied gas, kerosene, diesel fuel, or gasoline. It is expedient to consider the use of biogas and gas generators. To successfully promote on the market, such a device must have an appropriate level of reliability and security.

**UDC 621.575**

## **DEVELOPMENT OF SYSTEMS FOR OBTAINING WATER FROM ATMOSPHERIC AIR ON THE BASIS OF ABSORPTION WATER-AMMONIA REFRIGERATORS AND SOLAR COLLECTORS**

**Osadchuk E.A.**

**Odesa National University of Technology, Odesa**

Since ancient times, fresh water, in very limited quantities, has been obtained by collecting condensed.

One of the features of absorption refrigerators of all types is the interdependence of temperatures in the characteristic processes of the cycle—the temperature of the heating medium  $t_h$ , the temperature of the cooling medium  $t_{oc}$ , and the temperature of the cooling object  $t_{ob}$ . Of the three temperatures, only two can be arbitrarily assigned. As practice shows, the operation of the refrigeration unit should provide a given level of cooling ( $t_{ob}$ ), and the installation itself should operate under appropriate climatic conditions, that is, at a given temperature of the cooling medium. Therefore, the real parameter that can change is only the temperature of the heating source.

Modern calculation methods do not take into account such interdependence of temperatures in the absorption refrigeration cycle, since they allow the presence of a source of thermal energy with only the necessary temperature potential.

At the first stage of the research, an algorithm was developed for calculating AWCU pump cycles for working with low-potential sources of thermal energy.

In Fig. 1. The simplest scheme of AWCU with two regenerative heat exchangers – solutions (RHS) and ammonia (RHA) is presented. To the generator 1, which is filled with liquid WAS, low-potential heat is supplied, as a result of which the low-boiling component (ammonia) with small particles of water vapor will predominantly boil off from the solution. The steam enters the rectifier 2, in which the cooled saturated WAS with the RHS 5 and the absorber 4 flows to meet the vapor stream that comes from the generator 1. At the same time, less volatile water vapor condenses first, thereby increasing the concentration of ammonia in the stream. Next, WAS pairs fall into the reflux condenser 3. On its cold tubes, the first condensed water vapor that remained after the rectifier 2. The presence of the rectifier 2 and the refluxer 3 in the AWCU circuit allows almost completely to get rid of the water vapor in the ammonia vapor stream that goes to the condenser 7. Further ammonia vapor enters the condenser 7, liquefies with the removal of the phase transition heat, enters the RHA 8, where the cold the ammonia vapor that comes from the evaporator 9 to the absorber 4 is preheated, thereby increasing the thermal coefficient of the AWCU cycle.

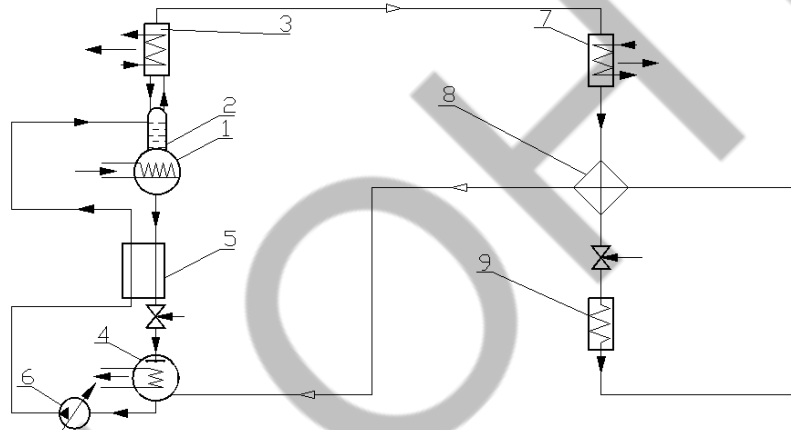


Figure 1 – Scheme AWCU with two regenerative heat exchangers: 1 - generator; 2 - rectifier; 3 - a reflux condenser; 4 - absorber; 5 – RHS; 6 - the pump; 7 - the condenser; 8 - RHA; 9 - evaporator

Initial data for the calculation were adopted: a) temperature of the cooling medium  $t_{oc}$ ; b) temperature of the cooling object  $t_{ob}$ ; c) temperature differences on elements that do not explicitly take into account heat exchange conditions and under-recovery of heat: temperature difference between the weak WAS and the generator's heating source of heat; temperature head in the condenser, absorber, dephlegmator with cooling medium; temperature head between the fluxes of weak and strong WAS at the cold end of RHS; d) refrigerating capacity of the evaporator  $Q_0$ .

The variable parameter is the temperature of the heating source of heat  $t_h$ .

At the first stage of the research on the above algorithm, a search was made for the temperature range of the heating source ( $t_h$ ), which would satisfy the conditions of operation of AWCU ( $t_{oc}$ ) and the requirements for the cooling object ( $t_{ob}$ ).

The relevance of this research was due to the fact that some modes of operation of AWCU can not be organized because of the insufficiently high temperature of the heating source. So, for example, the level of cooling temperatures in the evaporator requires an appropriate pressure level  $P_0$  both in the evaporator and in the absorber. The equilibrium temperature of the strong WAS in the absorber  $t''_{кр.А}$  should be higher than the temperature of the cooling medium in order to ensure

removal of the heat of absorption. The mass fraction of ammonia in the strong WAS  $\xi'_{кр.}$  is determined by the values of  $P_o$  and  $t''_{кр.А}$ , and for the organization of the absorption process, a certain degassing zone is necessary-the difference in the mass fractions of ammonia in the strong  $\xi'_{кр.}$  and weak  $\xi'_{сл.}$  WAS. In turn, the mass fraction of ammonia in the weak WAS  $\xi'_{сл.}$  is determined by the values of the condensation-generation pressure and the temperature of the heating source.

The algorithm for searching the AWCU operating modes was as follows. At the first stage, the temperatures of the cooling object were set  $t_{об} = \text{minus } 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\text{minus } 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\text{minus } 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . For each value  $t_{об}$ , a calculation was made with a fixed value with a range of  $25 \dots 43 \text{ }^\circ\text{C}$  in steps of  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . For the given values, we calculated the circulation multiplicity with a variable in steps of  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

In case the multiplicity of the circulation is a positive value, it was concluded that the operation mode of AWCU can be realized, and otherwise, when the circulation multiplicity was negative, it was concluded that the operating mode does not exist. An analytical relationship between the temperature of the cooling medium ( $t_{oc}$ ), the temperature of the cooling object ( $t_{об}$ ), and the temperature of the heating source ( $t_h$ ) is obtained under the condition of the maximum value of the thermal coefficient. The dependence has the following form:

$$t_h = \frac{a + bt_{oc} + ct_{oc}^2 + dt_{об} + et_{об}^2 + ft_{об}^3}{1 + kt_{oc} + lt_{oc}^2 + mt_{об} + nt_{об}^2}, \quad (1)$$

where:  $a = 47,74648658$ ;  $b = - 1,01853416$ ;  $c = 0,013464939$ ;  $d = - 1,12675283$ ;  $e = 0,02319431$ ;  $f = - 0,00017897$ ;  $k = - 0,03803459$ ;  $l = 0,00049505$ ;  $m = - 0,00750582$ ;  $n = 0,000151575$ ; dimension of temperature –  $^\circ\text{C}$ .

The maximum error of the analytical dependence is 5.3%. The average error is 1.1 %. The form of the surface constructed from the dependences is shown in Fig.2.

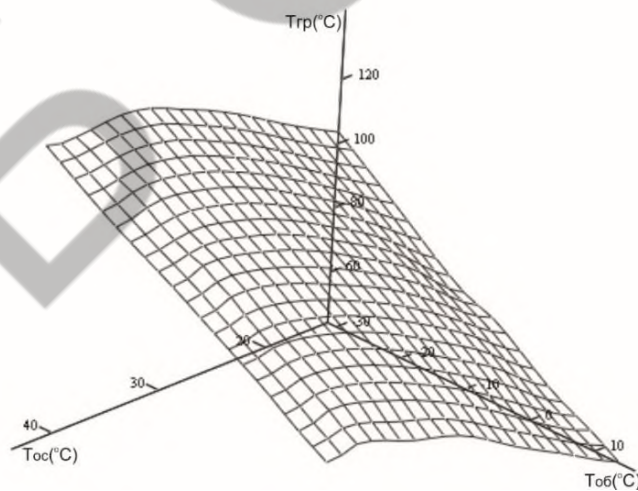


Figure 2 – Dependence between the temperature of the cooling medium ( $t_{oc}$ ), the temperature of the cooling object ( $t_{об}$ ) and the temperature of the heating source ( $t_h$ ) under the condition of the maximum value of the thermal coefficient.

Analysis of the obtained calculation results allows us to draw the following conclusions.

First, in the range of design parameters with increasing temperature of the outside air (cooling medium), the necessary temperature of the heating source also increases. So, for example, with an increase from  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  to  $45 \text{ }^\circ\text{C}$  at a fixed temperature of  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  the temperature will increase from  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  to  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Secondly, in the range of design parameters, the increase in the temperature of the cooling object, for example, from minus 30 °C to 15 °C at a fixed outdoor temperature of 45 °C, will result in an increase in the required temperature of the heating source from 85 °C to 138 °C.

Thirdly, for operation in a tropical climate ( $t_{oc} = 35 \dots 45$  °C) and a cooling object temperature of 5 °C (guaranteed "dew-point" temperature), the temperature of the heating source should be above 110 °C.

Currently, the main part of the market of equipment for the separation of water from air falls on systems that have in their composition a compression refrigeration unit with an electric drive. A necessary condition for the compression refrigerator operation is the availability of electrical energy. At the same time, the vast majority of countries experiencing water shortages are also limited in energy resources. The only available source of energy is the Sun.

For operation in systems for obtaining water from air, absorption water-ammonia refrigerators (AWAR), which are operating from a low-grade heat source – solar collectors, have been proposed.

It was shown that during the implementation of AWAR cycles there are modes with maximum energy efficiency in practical temperature ranges of the cooling fluid (from 10 to 32 °C) and cooling objects (from minus 25 to minus 5 °C). To achieve these conditions, an appropriate combination of the composition of water-ammonia solution and temperature of the heating source is necessary.

As a result of the analysis an AWAR scheme with a booster compressor before a condenser for operation as a part of systems for obtaining water from air is proposed. This scheme, despite the additional energy consumption for operation of the booster-compressor, ensures the operation of AWAR with heat sources with temperatures ranging from 80 °C to 100 °C.

## СЕКЦІЯ 2. ЕКОЛОГІЯ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩАТА РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Керівники секції: к.б.н., доц. Гаркович О.Л., д.т.н., проф. Якуб  
Л.М., дт.н., проф. Семенюк Ю.В.

УДК 544.723.722.22

### МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД СИНТЕТИЧНИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Войницька І.Г. студентка, Гаркович О.Л. к.б.н., доцент  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Наявність синтетичних поверхнево-активних речовин (ПАР) у міських стічних водах є значною екологічною проблемою, оскільки ці речовини мають стійку хімічну структуру і здатні до накопичення в довкіллі. Синтетичні ПАР потрапляють до системи водовідведення після використання у виробничих процесах, пральних засобах, косметичці тощо. Вони характеризуються високою стабільністю та біологічною стійкістю, що ускладнює їх розщеплення традиційними методами очищення стічних вод.

Основний екологічний ризик ПАР полягає в їх токсичному впливі на водні організми та здатності порушувати екосистеми водойм. ПАР знижують поверхневий натяг води, що може впливати на проникність мембран клітин організмів, призводячи до порушення фізіологічних процесів. Також ці речовини мають тенденцію утворювати піну та комплексні сполуки у водоймах, викликаючи евтрофікацію водних екосистем [1].

Суттєвою екологічною проблемою стало використання великої кількості фосфорних сполук у мийних засобах. Сучасні засоби для прання можуть містити до 30-50% триполіфосфату натрію  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} \times 6\text{H}_2\text{O}$ , який міцно зв'язує дво- і тривалентні іони металів, що сприяє пом'якшенню води і видаленню бруду під час прання, утвореного важкорозчинними сполуками. Зокрема, поліфосфати підсилюють дію поверхнево-активних речовин. [2]. Молекули поліфосфатів, адсорбуючись на волокнах, відокремлюють частки бруду від поверхні тканини і завдяки електростатичному відштовхуванню сприяють їхньому рівномірному розподілу в мийному розчині. Однак, продукти гідролізу поліфосфатів накопичуються в стічних водах і потрапляють у природні водойми. Оскільки фосфор є необхідним елементом для живлення рослин, це призводить до надмірної концентрації поживних речовин і спричиняє евтрофікацію водойм. Надмірний розвиток водоростей негативно впливає на роботу водозабірних споруд і рибний промисел, знижує швидкість берегових течій та інші гідравлічні параметри потоку. Цвітіння водойм також спричиняє зниження рівня розчиненого кисню, що погіршує умови для життя рослин і тварин та порушує нормальне функціонування природних екосистем [3].

Лінійний алкілбензолсульфонат (LAS), один із найбільш поширених аніонних детергентів, широко використовується як поверхнево-активна речовина і є токсичним для водних організмів та людини [4]. Дослідження показують, що концентрації LAS у межах 0,02–1,0 мг/л здатні завдати значної шкоди водному середовищу. Зокрема, вплив цієї сполуки може призвести до пошкодження зябер риб, порушення плавальних рухів, а також викликати надмірну секрецію слизу, що ускладнює дихання у риб [5]. Крім того, високі концентрації аніонних ПАР (>0,25 мг/л) здатні негативно впливати на розвиток молюсків,

пошкоджуючи яйця та личинки мідій і устриць. Таким чином, викиди великих доз поверхнево-активних речовин у водойми можуть призвести до серйозних порушень в екосистемах, зокрема до зниження біорізноманіття та деградації популяцій водних організмів.

Аналіз методів очищення стічних вод від ПАР та фосфатів дозволяє виокремити кілька сучасних підходів. Особливу увагу привертає коагуляційно-флокуляційний метод очищення із застосуванням спеціалізованих коагулянтів та флокулянтів цільової дії. Цей процес базується на екстракції молекулярних і колоїдно-дисперсних забруднювачів за допомогою високомолекулярного поліелектролітного флокулянта (к-флокулянта), який також забезпечує значний синергетичний ефект завдяки взаємодії комплексоутворювача, коагулянта-сорбента та поліелектролітного флокулянта. Така технологія забезпечує високий рівень очищення стічних вод від ПАР (до 96%), значно скорочує час очищення і дозволяє отримати осад з такими структурно-механічними властивостями, що спрощує його утилізацію. Озонування є перспективним методом для видалення ПАР зі стічних вод. У результаті озонування утворюються нетоксичні продукти, які не впливають на природні біологічні та гідрохімічні процеси у водоймах. Озонування доцільно застосовувати для видалення низьких концентрацій ПАР (4,5 мг/л), хоча існують пропозиції щодо його використання при значно вищих концентраціях (до 200 мг/л). Магнітна обробка також є ефективним методом інтенсифікації процесу очищення води без додавання реагентів. Вплив магнітного поля покращує флотацію зважених речовин, прискорює їх осадження і агрегацію, а також змінює структуру осаду. Залишкова концентрація зважених речовин знижується в 1,5 рази, а час осадження – у 2 рази. Залізо, що міститься у воді, перетворюється на магнітні оксиди, які легко видаляються разом із адсорбованими забруднювачами в магнітному полі.

Крім того, природні коагулянти (наприклад, слиз насіння льону, *слиз Opuntia ficus* і *Moringa oleifera*) використовуються для очищення стічних вод, що містять поверхнево-активні речовини [6]. Ці біокоагулянти дешеві та екологічно чисті, а також демонструють високоефективне очищення стічних вод. Крім того, утворений осад містить невелику кількість токсичних хімікатів, що полегшує процеси управління осадом.

Отже, сучасні методи очищення стічних вод, зокрема коагуляційно-флокуляційне очищення, озонування, магнітна обробка та використання природних коагулянтів, демонструють високу ефективність у видаленні ПАР і фосфатів. Особливо цікавим є застосування екологічно чистих біокоагулянтів, які забезпечують ефективне очищення стічних вод без значних екологічних ризиків. Впровадження новітніх технологій очищення та перехід на екологічно безпечні альтернативи ПАР і фосфатів є важливим кроком у зменшенні антропогенного навантаження на водні екосистеми й забезпеченні їх стійкості в майбутньому.

### Інформаційні джерела

1. Шевченко Т.О. Ефективність очищення стічних вод від сполук фосфору: Наук.-техн. зб. К.: «Техніка», 2007. Вип. 74. С. 254 – 259.
2. Cornel, P., and Schaum, C. Phosphorus recovery from wastewater: needs, technologies and costs. *Water Sci. Technol.* 59, 2009. – P. 1069–1076.
3. Романенко В.Д. Основи гідроекології. К.: Обереги, 2001. – 726 с.
4. Беспалова Л.Е. Водна токсикологія: навчальний посібник. Херсон: ВЦ «Колос», 2015. – 131 с.
5. Jardak K, Drogui P, Daghri R. Surfactants in aquatic and terrestrial environment: occurrence, behavior, and treatment processes. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2016.
6. Mirbahoush SM, Chaibakhsh N, Moradi-Shoeili Z. Highly efficient removal of surfactant from industrial effluents using flaxseed mucilage in coagulation/photo-Fenton oxidation process. *Chemosphere.* 2019.

УДК 574.23.1

## ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Мадані М.М., к.т.н, доцент

Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Досягнення необхідних якісних характеристик харчової продукції - необхідна умова забезпечення її продовольчої безпеки. Таким чином, продовольча безпека безпосередньо залежить від якості роботи холодильних установок на підприємствах харчової промисловості відповідного профілю.

Сучасні тенденції розвитку харчової промисловості такі, що необхідне не тільки забезпечення безпеки харчової продукції. Велика увага приділяється питанням екологічної безпеки всього виробництва, а також впровадженню енергозберігаючих та ресурсозберігаючих технологій, безвідходних технологій з використанням вторинної переробки сировини. Технології екологічно безпечних ресурсозберігаючих виробництв та переробки сільськогосподарської сировини та продуктів харчування - критичні технології в Україні, які мають першорядну важливість для розвитку підприємств харчової промисловості. Ці пріоритети поширюються і на низькотемпературні технології, а також на технічні засоби одержання холоду. У цьому світлі присутність холодильних установок впливає на безпеку, енергетичну та економічну ефективність, а також екологічну безпеку підприємств харчової промисловості загалом.

Таким чином, важливий вибір способу охолодження та засобів для його здійснення. При цьому все визначається технологічними вимогами, режимами та параметрами роботи обладнання. Найбільш поширений машинний спосіб охолодження, так як він достатньо універсальний, що дозволяє впроваджувати його стосовно різних умов і режимів роботи технологічного обладнання.

Велику популярність на сьогоднішній день мають фреонові холодильні машини. Їх використовують не лише у роздрібних торговельних мережах, а й на харчових переробних підприємствах. Однак це не єдиний шлях розвитку холодильної промисловості. Не менш відомий напрямок - застосування аміачних холодильних установок, що працюють і зараз. Історично склалося так, що перехід на фреонові машини дещо загальмував розвиток аміачних холодильних установок, які мають низку переваг перед фреоновими холодильними машинами.

Насамперед, це порівняно висока ефективність роботи аміачних холодильних установок за рахунок кращих термодинамічних властивостей аміаку порівняно з фреонами. Але не менш важливий фактор полягає в тому, що аміак має хороші показники в частині його екологічної безпеки для навколишнього середовища. Відомо, що аміак - речовина природного походження, тобто компоненти, що входять до його складу, нешкідливі для навколишнього середовища. Однак це не єдина перевага аміаку щодо його екологічної безпеки.

Сьогодні світова спільнота стурбована впливом людської діяльності на навколишнє середовище. Про це свідчать посилення законодавства щодо екологічної безпеки, у тому числі й харчової промисловості. Сьогодні до підприємств висувуються різні вимоги, мета яких - запобігти виникненню екологічних катастроф. Так формується система менеджменту якості, яка передбачає наскрізний контроль на всіх етапах технологічного ланцюга - від отримання сировини до кінцевої готової продукції, що постачається споживачеві.

Робочі речовини холодильних машин також роблять свій внесок у формування екологічної обстановки на нашій планеті. Різні фторвуглеці (R-11, R-12, R-502 тощо), а також гідрогеновмістні фреони (R-22) надають руйнівну дію на озоновий шар. Крім того,

незаперечна їх участь у створенні ефекту «глобального потепління», оскільки ці речовини належать до «парникових» газів. Аміак не має озоноруйнівної активності і не є «парниковим» газом, чого не можна сказати про діоксид вуглецю, один з альтернативних холодоагентів.

З точки зору енергетичної ефективності та екологічної безпеки, аміак привабливий як робоча речовина холодильних машин. Існуючі підприємства харчової промисловості - досить великі промислові об'єкти, з великою потребою у холодильних машинах. Як правило, і це явно простежується на прикладі існуючих аміачних установок, вдаються до створення централізованих холодильних систем, що мають велику холодопродуктивність, які працюють за різних умов, у широкому діапазоні робочих параметрів. Такий підхід дозволяє не тільки систематизувати роботу всієї холодильної системи та зав'язати її з системою управління всього технологічного ланцюга, а й отримати найбільшу віддачу від продуктивності аміачних холодильних машин за рахунок високої об'ємної холодопродуктивності та високої теплоти випаровування аміаку.

Однак існує низка проблем в експлуатації аміачних холодильних установок, пов'язаних з їхньою техногенною безпекою. Аміак - це горюча та вибухонебезпечна речовина, що обумовлює необхідність контролю за забезпеченням техногенної безпеки на всіх об'єктах, де використовуються аміачні холодильні установки. Також відомо, що аміак здатний викликати незворотні зміни у харчових продуктах, але тільки за їх тривалого контакту. При короткочасному контакті аміак, поглинений харчовими продуктами, легко випаровується на відкритому повітрі, не суттєво впливаючи на показники якості та безпеки харчової продукції. Таким чином, аварії на підприємствах харчової промисловості, пов'язані з витоком аміаку та його безпосереднім попаданням у контур технологічної обробки харчових продуктів, негативно впливають на показники продовольчої безпеки.

Один із шляхів усунення зазначених недоліків аміачних холодильних установок - використання систем холодопостачання з проміжним холодоносієм, які дозволяють виключити можливість безпосереднього контакту аміаку з харчовими продуктами. Цей напрямок розвитку холодильних систем доцільно застосовувати у тих виробництвах, де висувуються високі вимоги до чистоти продукту, наприклад, у молочній промисловості. Однак реалізація даної концепції холодопостачання пов'язана з непереборними тепловими втратами, а також додатковими капітальними та експлуатаційними витратами, що сягають 40 % порівняно з безпосередніми системами холодопостачання. Такий підхід дозволяє значно підвищити безпеку холодильної установки, що сприяє більшій популярності цих систем в іноземних компаніях.

В Україні широкий розвиток отримали системи холодопостачання з безпосереднім кипінням холодильного агента в приладах охолодження. Перед розробниками стоять завдання вдосконалення існуючих аміачних холодильних установок, які є діючими. Насамперед необхідне переоснащення аміачних холодильних установок сучасним обладнанням та засобами автоматизації, які є у великому асортименті як в Україні, так і за кордоном. Також необхідно підтримувати досить високий рівень підготовки обслуговуючого персоналу, забезпечувати його відповідну кваліфікацію та навчання.

Важливим фактором, що впливає не тільки на ефективність роботи, але й на загальну безпеку аміачних холодильних установок, є застосування ефективних способів відокремлення аміаку від олії та пристроїв для його здійснення. Застосування мастил - необхідна умова, що забезпечує стабільну роботу компресорного обладнання та його тривалий термін служби. Однак присутність мастил, що переносяться разом з холодоагентом, у приладах автоматики, у циркуляційних ресиверах та допоміжному обладнанні аміачних холодильних установок негативно позначається на безпеці їх експлуатації. Науково-дослідні роботи в цій галузі мають велике значення для забезпечення безпеки існуючих аміачних холодильних установок.

УДК 572.23.3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МЕТАНОВОГО БРОДІННЯ ВІДХОДІВ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Бондар С.М., к.т.н, доцент

Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

При переробці молока у різноманітні продукти з високим вмістом білку утворюється велика кількість сироватки. На кінець минулого століття світове виробництво сироватки перевищувало 80 млн. т. З року в рік об'єми молочної сироватки зростають, що пов'язане як з ростом виробництва молочно-білкових продуктів (сиру, казеїну, копрецепітатів), так і з впровадженням мембранних способів концентрування молока.

За рахунок відносно високої кількості доступних для мікроорганізмів речовин сироватка швидко псується і різко підвищує навантаження на очисні споруди. Забруднення молочною сироваткою стічних вод і водою призводить до зменшення концентрації розчинного у воді кисню, що, в свою чергу, негативно впливає на розвиток гідробіонтів.

Використання молочної сироватки зараз і у майбутньому тісно пов'язане, таким чином, з охороною навколишнього середовища.

Традиційно відомі способи переробки молочної сироватки, що частково реалізовані в Україні на промисловому рівні – це згущення, сушіння, виробництво напоїв, відокремлене використання сироваткових білків, жиру, лактози. Однак останнім часом все більше приділяють уваги виробництву продуктів як похідних сироватки при біотехнологічній обробці. Це дозволить у майбутньому масово реалізувати принципи маловідходних технологій, підвищить економічну ефективність виробництва і зменшить навантаження на навколишнє середовище. Сироватка містить значну кількість органічних сполук, котрі потребують для свого окислення великої кількості кисню. Встановлено, що для окислення сполук 1 літра сироватки потрібно 50 г кисню. Для порівняння побутові стічні води потребують для окислення 0,3 г кисню. А якщо при мінімальних витратах води на одну людину 100 літрів на добу потреба в кисні для даної кількості стічних вод складає приблизно 30 г, то для заводу потужністю на добу 50 т сироватки потрібно буде 2,5 т кисню, що еквівалентне очисним спорудам міста з населенням 80000. Малоімовірно, що найближчим часом кожне молокопереробне, хоча б сироварне, підприємство побудує власні очисні споруди подібної потужності. Ось чому альтернативою є впровадження промислових маловідходних технологій. Використання ж сироватки безпосередньо для кормління худоби при всій високій цінності цього продукту і удаваній простоті питання виявляється складною справою. Транспортування, зберігання, швидке псування і небезпека розповсюдження інфекційних хвороб не дозволяють застосовувати рідку сироватку як корм ще й з урахуванням іноді значної відстані від переробного підприємства до тваринницької ферми. У багатьох дослідників викликає сумнів доцільність використання сироватки як корму з багатьох інших позицій. Наприклад, підраховано, що тварина для синтезу власного 1 кг білка повинна вжити 1,7 т молочної сироватки! Так само недоцільне кормління сухою сироваткою, яка засвоюється лише на 20%.

Біотехнологія переробки молочної сироватки дозволяє вирішити ряд проблем, які сьогодні традиційними способами вирішити не можливо. Анаеробні процеси обробки молочної сироватки за допомогою мікроорганізмів називають бродінням. У промисловості на сьогодні використовують такий тип біотехнології для отримання етилового спирту (біопалива), рибофлавіну, пропіонової, оцтової та молочної кислот.

Метанове бродіння -метод біотехнології, що полягає у ферментаційному перетворюванні біоценозом анаеробних мікроорганізмів більшості органічних полімерних та інших сполук на біометан і вуглекислий газ. Це один з відомих методів очищення

стічних вод, обробки осадів первинних відстійників і надлишкового активного мулу очисних споруд каналізації.

Закваска вироблялася на основі молочної сироватки отриманої з підприємства «Салюс» (смт. Єгорівка). 1 л сироватки підлягав пастеризації за режимом: температура 74-75<sup>0</sup>С, витримкою 15с для усунення сторонньої мікрофлори. В сироватку вносимо водну витяжку приготовлену з активного мулу очисних споруд м. Чорноморська за допомогою якого проводилось метанове бродіння осадів від міських стічних вод. Цей осад накопичують в спорудах званих метантенками. Кількість витяжки по відношенню до сироватки складала 15%. Водну витяжку готували шляхом розведення активного мулу дистильованою водою 1:3 із наступним фільтруванням через фільтрувальний папір. Сироватку поміщають у колбу з водяним затвором, для створення анаеробних умов і термостат з температурою оптимальною для розвитку мікроорганізмів, що беруть участь у метановому бродінні (t=38-40<sup>0</sup>С). Динаміка накопичення біомаси контролювалася протягом 45 днів, при цьому щодня перевірявся рН, який за допомогою питної соди підтримувався на рівні 6,5 - 7,0. Щоденно за допомогою стандартних методів визначали наступні показники: масову частку лактози, концентрацію сухих речовин, біомасу.

Встановлено, що на 40-45 день різко знижується інтенсивність розвитку біомаси. На 45 добу бродіння практично припиняється. Це підтверджують зміни біомаси в кінці бродіння які сягають  $1,2 \cdot 10^8$  к.у.о. Експериментальні дані свідчать, що максимальна біомаса складала  $1,4 \cdot 10^8$  к.у.о. В цей час для реалізації основного метанового бродіння безперервним способом важливо додавати 10% від загального об'єму, що міститься у бродильній ємності, свіжої молочної сироватки і стільки ж рідких продуктів бродіння видаляти щодоби.

Концентрація вітаміну В12 у рідких продуктах при умові щодобової регуляції рівня рН і температури, є стабільною і досягає 5-7 мкг/кг. У метановому бродінні приймають в основному органічні, а не мінеральні складові сироватки. Визначення вмісту метану у біогазі, що проводилось за допомогою приладу «Дозор» підтверджує перспективність даного способу утилізації молочної сироватки. Вміст метану у біогазі коливався у межах 44,5 -52,5 %. Це означає, що за умови вдосконалення технологічних режимів метанового бродіння можна додатково отримувати паливо для покриття власних потреб. На основі експериментальних та літературних даних розроблено технологічну схему виробництва кормового концентрату вітаміну В12 на основі метанового бродіння молочної сироватки. Розроблена технологічна схема передбачає змішування сироватки з метаногенними культурами мікроорганізмів, які додаються в сироватку у вигляді водяної витяжки з активного мулу очисних споруд або наперед підготовленої закваски цих культур, закваски з цими культурами на основі цієї ж сироватки. При досяганні максимальної біомаси у бродильній ємності в безперервному режимі, в бродильну суміш додається приблизно 10% свіжої сироватки щодоби, і стільки ж суміші видаляється. Вона містить вітамін В12. Саме зброджена сировина є основою для виробництва кормового концентрату. Задля зменшення інтенсивності неприємного запаху в готовому продукті пропонується обробка активованим вугіллям, що при перемішуванні додається у сироватку у кількості 3-5% від маси протягом 30хвилин з наступним фільтруванням.

Наступною операцією є концентрування сироватки з метою зменшення енерговитрат при наступному сушінні. Вакуумне випаровування до концентрації 13-15% сухих речовин, в тому числі концентрації вітаміну В12 до 60-84 мкг/кг. Внаслідок того, що в розробленій технології застосовується анаеробний процес і використовується суміш різних культур із активного мулу очисних споруд в сироватці можуть розвиватися шкідливі мікроорганізми, наприклад, *Clostridium botulinum*. Для запобігання цієї загрози перед випаровуванням, що проходить при низьких температурах та не дає гарантії знешкодження мікроорганізмів, суміш пропонується стерилізувати.

УДК 662.63

## МОЖЛИВОСТІ ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ ГРЕЧКИ

Ткаченко А.О., аспірантка, Сагдєєва О.А., к.т.н., доцент  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Грецька є однорічною псевдозлаковою культурою з роду *Fagopyrum*, яка належить до родини *Polygonaceae*. Останніми роками лідерами з виробництва гречки та продуктів її переробки є Китай, Україна, Казахстан, США, Бразилія та Японія (за обсягами виробництва) [1]. Зростання популярності цієї рослини пов'язане з її високою харчовою цінністю, оскільки зерна гречки містять велику кількість поживних речовин, антиоксидантів та багаті вітамінами, особливо групи В. Крім того, зерна є джерелом важливих макро- та мікроелементів, таких як цинк, марганець, мідь, селен, калій, натрій, кальцій, магній. Завдяки високому вмісту рутину, катехинів, поліфенолів, клітковини та розчинних харчових волокон, гречка може використовуватися для профілактики ожиріння та діабету, раку, серцево-судинних захворювань, а також має протизапальні та антибактеріальні ефекти [2].

Зростання населення планети спричиняє збільшення виробництва харчових продуктів, включаючи продукти рослинництва, що, у свою чергу, веде до зростання кількості відходів переробки рослинної сировини на харчових виробництвах. Зокрема, підвищення обсягів вирощування гречки супроводжується утворенням значної кількості відходів. Переробка гречаного зерна починається з процесу лушпиння, під час якого отримують очищені зерна та перший вид відходів — лушпиння, яке становить приблизно 5% від загальної сировини. Очищене зерно може бути кінцевим продуктом технологічної обробки і перетворюватися на гречану крупу, або ж підготовлене до помелу для виробництва гречаного борошна. Після помелу та просіювання формується другий вид відходів — висівки, що становлять до 15% від початкової сировини. Таким чином, під час переробки гречки утворюються побічні продукти, як-от листя, стебла, лушпиння та висівки, які часто сприймаються як відходи [3]. Зазвичай, ці неістівні частини гречки утилізують шляхом спалювання або складування, що призводить до забруднення повітря та ґрунтів.

Данні в літературних джерелах свідчать про дослідження, та успішне їх впровадження, щодо використання відходів переробки гречки в агроіндустрії (виробництво коримів для тварин, грибних субстратів та добрив), у харчовій промисловості (виробництво безглютенових продуктів харчування, хліба, пасти тощо) [3].

Біочар (біовугілля) є високовуглецевим продуктом термохімічної конверсії, що виробляється з біомаси, такої як відходи сільського господарства, лісництва, відходи харчової промисловості тощо. Та, оскільки, біочар виробляють переважно з відходів, то це одночасно дає можливість називати його продуктом доданої вартості. Застосування відходів для виробництва біочару в свою чергу відповідає принципам сталого розвитку та моделі циркулярної економіки основними питаннями яких є збереження ресурсів та раціональне їх використання, в тому числі вторинна переробка та використання відходів різних галузей виробництва.

Тип сировини, що використовується для виробництва біочару, значно впливає на його кінцеві властивості. Целюлоза та геміцелюлоза, що містяться в сировині, сприяють утворенню біонафти, тоді як лігнін забезпечує високий вихід біочару. Співвідношення цих сполук у сировині визначає хімічні, фізичні та структурні зміни, які відбуваються під час термохімічної конверсії, що впливає на якість та ефективність отриманого біочару [4].

Лушпиння гречки, що складається переважно з вологи, целюлози, геміцелюлози та лігніну, а також вміщує значну кількість вуглецю та кисню. Крім полісахаридів, гречане

лушпиння містить поліфеноли, флавоноїди та мікроелементи (калій, натрій, мідь, срібло тощо) [5]. Це дозволяє розглядати гречане лушпиння як високоякісну та екологічно безпечну сировину для виробництва біочару, що може бути використане у різних галузях, зокрема в сільському господарстві та екологічній ремедіації.

В свою чергу, біочар завдяки своїм унікальним властивостям, таким як велика площа поверхні, висока пористість, наявність різноманітних функціональних груп та висока катіонообмінна здатність, є надзвичайно перспективним матеріалом для широкого спектра застосувань. Його ефективність проявляється у сільському господарстві, видаленні важких металів та органічних забруднюючих речовин зі стічних вод [6], в якості альтернативного джерела енергії та зменшенні викидів CO<sub>2</sub> [7], та як добавку до компосту [8]. Простота та швидкість виробництва, екологічна й економічна ефективність, а також можливість багаторазового використання є лише кількома з багатьох переваг біочару.

Одним із перспективних напрямків використання біочару з сільськогосподарських відходів є його додавання до компостів, що містять харчові відходи. Завдяки великій площі поверхні та високій пористості, біочар покращує газообмін і подачу кисню до внутрішніх шарів компосту, сприяючи розмноженню аеробних мікроорганізмів та пришвидшуючи швидкість розкладання органічних речовин. Дослідження показують, що біочар здатен подовжити термофільну стадію компостування і модулювати вологість суміші, забезпечуючи оптимальні умови для мікроорганізмів. Крім того, біочар допомагає відновити співвідношення C/N [9], утримує азот у компості та поглинає аміак [8]. Важливою перевагою є здатність біочару знижувати біодоступність важких металів (Pb, Zn, Cd) та зменшувати викиди парникових газів на 19–27%.

Отже, гречка, як цінна псевдозлакова культура, забезпечує не лише високий рівень харчової цінності завдяки вмісту поживних речовин і антиоксидантів, але й утворює значну кількість відходів, таких як лушпиння та висівки. Однак ці відходи, зокрема гречане лушпиння, мають великий потенціал для повторного використання. Таким чином, біочар, отриманий з відходів переробки гречки, є не лише екологічно ефективним рішенням для утилізації відходів, а й важливим компонентом для поліпшення якості компостів та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

### Інформаційні джерела

1. Food and Agriculture Organization <https://www.fao.org/faostat/> (viewed on: 11.02.2024).
2. Zhu, F. (2016). Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat. *Food Chemistry*, 203, 231-245. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.050>
3. Gonçalves, M., Salvador, R., Francisco, A., Piekarski, C. (2023). Value recovery from waste in the processing of buckwheat: Opportunities for a circular bioeconomy. *Engineering Reports*, e12757. <https://doi.org/10.1002/eng2.12757>
4. Joshi, S., Ramola, S., Singh, B., Anerao, P., & Singh, L. (2022). Waste to Wealth: Types of Raw Materials for Preparation of Biochar and Their Characteristics. *In Engineered Biochar*, 21–33. Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-2488-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-19-2488-0_2)
5. Song, C, Ma, C, Xiang, D. (2019). Variations in Accumulation of Lignin and Cellulose and Metabolic Changes in Seed Hull Provide Insight into Dehulling Characteristic of Tartary Buckwheat Seeds. *International Journal of Molecular Sciences*. 20(3):524. <https://doi.org/10.3390/ijms20030524>
6. Liu, P., Ptacek, C., Blowes, D., Finfrock, Y., Liu, Y. (2019). Characterization of chromium species and distribution during Cr (VI) removal by biochar using confocal micro-X-ray fluorescence redox mapping and X-ray absorption spectroscopy. *Environment international*. 134. 105216. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105216>
7. Jeyasubramanian, K., Baskaran, T., Arumugam, S., Raja, D., Seenivasan, S., Vallinayagam, P., Madhavan, D., Sundaramoorthy, M., Boobalan, R. (2021). A complete review

on biochar: Production, property, multifaceted applications, interaction mechanism and computational approach. *Fuel*. 292. 120243. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120243>

8. Sánchez-García, M., Alburquerque, J., Sánchez-Monedero, M., Roig, A., Cayuela, M. L. (2015). Biochar accelerates organic matter degradation and enhances N mineralisation during composting of poultry manure without a relevant impact on gas emissions. *Bioresource Technology*. 192. 272-279. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.003>

9. Yu, Y., Yang, B., Petropoulos, E., Duan, J., Yang, L., Xue, L. (2022). The Potential of Biochar as N Carrier to Recover N from Wastewater for Reuse in Planting Soil: Adsorption Capacity and Bioavailability Analysis. *Separations*. 9(11). 337. <https://doi.org/10.3390/separations9110337>

**УДК 355.018:504.1(477)**

## **ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ПРИ ВИБУХАХ ПОЛЬОВИХ СКЛАДІВ БОЄПРИПАСІВ**

**Орел С.М., к.т.н, с.н.с.**

**Національна академія сухопутних військ імені гетьмана П.Сагайдачного, м. Львів**

В умовах ведення бойових дій, як це має місце у ході російсько-української війни, ураження складів боєприпасів супротивника є бажаною метою для кожної із ворогуючих сторін. При ураженні складу відбуваються процеси, які негативно впливають на екологічну обстановку як одночасно, так і тривалий термін.

При підриві складу, боєприпаси можуть бути відкинуті від епіцентру вибуху (спостерігалися некеровані ракети, які долали відстань до 20 км). Якщо боєприпаси зберігалися зарядженими, цілком можливо, що сила вибуху буде достатньою для спрацювання капсуля. Таким чином, усі цілісні боєприпаси, виявлені на місці вибуху або на короткій відстані навколо нього, повинні розглядатися як боєприпаси, що не вибухнули.

Вміст боєприпасів з пошкодженими корпусами може частково або повністю згоріти. У разі часткового згорання виникне небезпека, пов'язана з відкритою вибухівкою та піротехнічними матеріалами (наприклад білий фосфор), які розповсюджуються на значну відстань. Крім того, можуть існувати небезпеки, пов'язані з повторною кристалізацією розплавлених вибухових речовин і утворенням небажаних, більш чутливих до вибуху, або більш токсичних ізомерів. Ракетне паливо могло не згоріти під час вибуху та пожежі, отже, відкритий пропелент може поширюватися по території. Він може спонтанно спалахнути під час операцій з очищення, або виділяти шкідливі речовини; цей процес буде залежати від хімічного стану палива та температури навколишнього середовища.

Боєприпаси, які вибухнули, утворюють воронки, які можуть бути заповнені іншими боєприпасами із цілими, або пошкодженими корпусами, попадаючи таким чином на значну глибину від поверхні землі. Боєприпаси, які брали участь у вибуху, але не згоріли чи детонували, будуть дуже чутливі до погодних умов; ризики значно зростуть під час грози та можуть виникнути додаткові вибухові події, ініційовані ударами блискавки. Подальша погана погода може призвести до повені та зсувів ґразі, яка накриває боєприпаси, що не розірвалися. Вибухівка та пропеленти, що вмістяться в боєприпасах із пошкодженими корпусами і вилугуюються водою, можуть забруднити поверхневі та підземні води. В подальшому забруднюючі речовини попадають у рослини, споживаються тваринами та людьми та завдають шкоди останнім.

До забруднюючих речовин відносяться важкі метали: свинець, сурма та миш'як (патрони до стрілецької зброї), кадмій та цинк (захисне покриття на гільзах боєприпасів), ртуть (гримуча ртуть у капсулях та детонаторах), вольфрам, нікель, мідь та кобальт (у

формі сплавів для сердечників бронебійних снарядів), а також органічні сполуки (вибухові речовини та порох). Органічні сполуки представляють собою N-метил-2-4-6-тринітрофенілнітрамін (тетрил), 2,4,6-тринітротолуол (тротил, TNT), гексагідро-1,3,5-тринітро-1,3,5-тріазин (гексоген, RDX), октагідро-1,3,5,7-тетранітро-1,3,5,7-тетразоцин (октоген, HMX) та їх суміші, а також: 1,2,3-тринітрооксіпропан (нітрогліцерин, NG), нітрогуанідин (NQ), нітроцелюлоза (NC), 2,4-динітротолуол (2,4-DNT) і перхлорат.

Небезпека для людини та довкілля залежить від виду речовини та її дози. Небезпеку виду речовини зручно відображати за допомогою поняття референтної дози (RfD), запропонованої Американським агентством з охорони навколишнього середовища USEPA. Референтна доза – добовий вплив хімічної речовини протягом життя, що встановлюється з урахуванням всіх наявних сучасних наукових даних та, імовірно, не призводить до виникнення ризику для здоров'я чутливих груп населення. Крім того, частина речовин є канцерогенами. Канцерогенез – це підвищений ризик розвитку раку протягом життя людини внаслідок впливу канцерогенів. Небезпека канцерогену визначається значенням так званого фактора нахилу (SF), який представляє собою ступінь збільшення канцерогенного ризику зі збільшенням дози на одиницю та є величиною, яка описує небезпеку канцерогену. Значення RfD і SF для речовин, що входять у склад боєприпасів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – RfD та SF для речовин, які можуть входити до складу боєприпасів

Речовина	RfD (мг/кг- день)	SF (мг/кг- день) <sup>-1</sup>	Уражений орган людини
Al	1.0		Центральна нервова система (ЦНС)
Pb	0.0035	0.047	ЦНС, кров, репродуктивна та імунна системи
Sb	0.0004		Респіраторні органи
As	0.0003	1.5	Шкіра, ЦНС, серцево-судинна, імунна, гормональна системи (діабет), шлунково-кишковий тракт
Cd	0.0005	0.38	Нирки, гормональна система
Zn	0.3		Біохімічні властивості крові
Hg	0.0003		Нирки, ЦНС, репродуктивна, імунна та гормональна системи
W	0.0025		Печінка, серцево-судинна система, шлунково-кишковий тракт, кров, вага тіла
Ni	0.02		Печінка, серцево-судинна система, шлунково-кишковий тракт, кров, вага тіла
Cu	0.019		Шлунково-кишковий тракт
Co	0.02		Кров
TNT	0.0005	0.03	Збільшення селезінки, порушення імунної системи. Інші шкідливі наслідки включають зниження чоловічої фертильності та ризик раку
RDX	0.003	0.11	Пошкодження життєво важливих органів, таких як печінка і нирки, патологія еритроцитів, подразнення епітеліальних тканин
HMX	0.05		Печінка і центральна нервова система
Tetryl	0.004		Висипання, подразнення шкіри, сухий кашель, подразнення носа, головний біль
NG	0.03		Гіпотензія, венозне накопичення, збільшення вазодилатації та зниження серцевого викиду, а також тахікардія та серцебиття

NQ	0.1		Вплив на весь організм
NC	3 000		Вплив на весь організм
DNT	0.002	0.68	Порушення координації м'язів, ціаноз, пригнічення центральної нервової системи та пригнічення дихання з наступною смертю.
Перхлорат	0.0007		Ендокринна система

Джерело: IRIS, останнє оновлення 19 грудня, 2016

Висновки: вибухи польових складів боєприпасів є розповсюдженим явищем при веденні бойових дій. Речовини, які попадають при цьому у довкілля, представляють небезпеку для людини. Тому недостатньо лише зібрати уцілілі боєприпаси і їх залишки, особливо після тривалого часу, необхідно провести рекультивацию території складів, звівши до мінімуму розповсюдження шкідливих речовин. В умовах України метод фітореMediaції може дати результат, прийнятний з точки зору рівня очистки і матеріальних затрат.

**УДК 615.9:547.544**

## **ТОКСИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДУ ЗА БІОТЕСТУВАННЯМ**

**Новіков Я.Є., Тараненко В.М.**

**Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів**

Диметилсульфоксид (ДМСО), формула якого  $C_2H_6OS$ , широко використовується як промисловий розчинник та для різноманітних медичних цілей [1-3]. Початок клінічних досліджень диметилсульфоксиду датується жовтнем 1963 року [4]. Також ДМСО є природною речовиною [5]. Очевидно, це частина складного циклу сульфуру на Землі [5]. ДМСО зустрічається в природі у морському та прісноводному середовищі, ґрунті, у дощовій воді та в атмосфері, а також в різноманітних напоях і харчових продуктах [1, 5]. ДМСО часто виявляють у промислових стічних водах процесів виробництва напівпровідників або рідкокристалічних дисплеїв у концентраціях 500–800 мг/л [6]. ДМСО утворюється в атмосфері зі швидкістю 20-60 мільярдів фунтів на рік з диметилсульфіду, який утворюється в результаті метаболічних процесів у ґрунті та відкладеннях [5]. У ґрунті метаболізм ДМСО мікроорганізмами призводить до утворення сірки і диметилсульфіду [5].

Метою даного дослідження було проаналізувати дані літературних джерел щодо токсичних властивостей ДМСО за методами біотестування.

Біотестування (біологічний аналіз) - це система токсикологічних тестів, у якій активність хімічної речовини вимірюється як несприятливий вплив на популяцію певного тестового виду [7]. Зазначається, що ДМСО має низьку гостру і хронічну токсичність для тварин, рослин і водних організмів, без канцерогенних властивостей (використовується як нейтральний розчинник у тестах Еймса на мутагенність) [5]. Він не проявляє тератогенні властивості щодо мишей, шурів або кроликів [5]. Зважаючи на це, ДМСО використовується як розчинник або співрозчинник у пестицидах, які застосовуються до появи сходів культур або до формування їстівних частин харчових рослин [5].

Показано, що застосування глинистих мінералів та кремнезему з добавками ДМСО та рослинних екстрактів у комплексному лікуванні хворих на гемофілію знижує рівень ендотоксикації і підвищує прокоагулянтну активність крові, а в цілому - прискорює відновлення організму хворого після геморагічного ускладнення [8].

Проте є результати біотестування з різними тест-організмами, які вказують на токсичність ДМСО. Так, у дослідженні впливу ДМСО на фібробластоподібні синовіоцити людини при ревматоїдному артриті, яке включало п'ять різних зразків, зібраних із суглобів (пальців, рук і таза) п'яти жінок з ревматоїдним артритом, показано індукцію розщеплення каспази-3 і PARP-1 (двох явищ, пов'язаних із механізмом загибелі клітин) при високих концентраціях (>5 %) ДМСО [9]. Навіть при 0,5 %-й концентрації ДМСО аналізи антипроліферативного тесту продемонстрували сильну токсичність після 24 годин впливу (≈25 % загибель клітин). Отже, для забезпечення мінімального впливу ДМСО на фібробластоподібні синовіоцити людини при ревматоїдному артриті, концентрація ДМСО, щоб вважатися безпечною, повинна бути меншою за 0,05 % [9].

Для визначення токсичності субстратів та сполук широко використовується фітотестування з тест-рослинами [10-13]. Було показано повне пригнічення проростання насіння квасолі, гороху, ячменю та жита при концентраціях ДМСО 10,0% і вище та незначний ефект при концентраціях 5% і нижче [14]. Дослідження впливу ДМСО спричинило фітотоксичність для росту біомаси та життєздатності коренів проростків рису [6]. Автори зазначають, що ДМСО викликає окиснювальний стрес у проростків рису, що призводить до накопичення  $H_2O_2$  в коренях. За ростовим тестом з *Raphanus raphanistrum* subsp. *sativus* показано екстремальну токсичність 10-45 % водних розчинів ДМСО [15].

Таким чином, повідомлення щодо токсичності ДМСО для живих організмів різняться. У подальших дослідженнях токсичності ДМСО з використанням тест-рослин слід обирати низькі концентрації цієї сполуки.

### Інформаційні джерела

1. Hatton A. D., Malin G., McEwan A. G., Liss P. S. Determination of dimethyl sulfoxide in aqueous solution by an enzyme-linked method. *Analytical Chemistry*. 1994. Issue 66, No 22. P. 4093-4096.

2. Макашова О. Є., Зубова О. Л., Зубов П. М., Мігунова Р. К., Бабійчук Л. О. Кріоконсервування гемопоетичних прогеніторних клітин кордової крові в кріозахисних середовищах, що містять різні концентрації ДМСО та антиоксидантів. *Український журнал медицини, біології та спорту*. 2017. № 2. С. 234-238.

3. Volkova N., Yukhta M., Chernyschenko L., Stepaniuk L., Sokil L., Goltsev A. The effectiveness of biopolymers application for cryopreservation of the fragments of convoluted seminiferous tubules of prepubertal rat's testis. *Cell and Organ Transplantation*. 2019. Issue 7, No 1. P. 12-17. DOI: <https://doi.org/10.22494/cot.v7i1.92>

4. Jacob S.W., Wood D.C. Dimethyl sulfoxide (DMSO). Toxicology, pharmacology, and clinical experience. *Am. J. Surg.* 1967. Issue 114, No 3. P. 414-426. DOI: [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(67\)90166-3](https://doi.org/10.1016/0002-9610(67)90166-3).

5. Dimethyl Sulfoxide (DMSO). Health and Safety Information. Bulletin 106. Gaylord Chemical Company, L.L.C. 2007. P. 1-16. URL: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=547d95e4d2fd6436518b468c&assetKey=AS%3A273644578639890%401442253359624> (дата звернення 13.03.2024)

6. Zhang X. H., Yu X. Z., Yue D. M. Phytotoxicity of dimethyl sulfoxide (DMSO) to rice seedlings. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2016. N 13. P. 607-614 DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0899-6>

7. Lynch J. M., Wiseman A., De Leij F. A. A. M. Ecotoxicology. *Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition)* / Editor S. A. Levin. Academic Press, 2001. P.118-126. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00043-5>.

8. Ковзун І. Г., Панько А. В., Яцьків Є. В., Нікіпелова О. М., Гриценко В. Ф., Авер'янов Є. В., Бурнаєва С. В., Семеняка В. І. Застосування нанорозмірних систем глинистих мінералів у комплексному лікуванні хворих на гемофілію «А». *Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології: зб. наук. пр.* Київ: РВВ ІМФ, 2008. Т. 6, № 2. С. 613-623.

9. Gallardo-Villagrán M., Paulus L., Leger D. Y., Therrien B., Liagre B. Dimethyl Sulfoxide: A Bio-Friendly or Bio-Hazard Chemical? The Effect of DMSO in Human Fibroblast-like Synoviocytes. *Molecules*. 2022. Issue 27. P. 4472. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecule>
10. Смикун Н. В., Фурман С. С. Біотестування колодязної води з використанням деяких рослин родини *Roaceae*. *Вісник Запорізького національного університету. Серія: Біологічні науки*. 2008. № 2. С.182-184.
11. Tkachuk N., Okulovych I. Toxicity of aqueous solutions of cosmetics in phytotest with *Lepidium sativum* L. *Agrobiodiversity for Improving, Nutrition, Health and Life Quality*. 2021. Issue 5, No 2. P. 348–354.
12. Daniel D., Dias de Alkimin G., Nunes B. Plant seeds and their use as test organisms for the assessment of toxicity of a model xenobiotic. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2022. Issue 44, No 2. P. 13.
13. Tkachuk N., Zelena L., Fedun O. Phytotoxicity of the aqueous solutions of some synthetic surfactant-containing dishwashing liquids with and without phosphates. *Environmental Engineering and Management Journal (EEMJ)*. 2022. Issue 21, No 6. P. 965-970. DOI: <https://doi.org/10.30638/eemj.2022.087>.
14. Erdman H. E., Hsieh J. J. S. Dimethylsulfoxide (DMSO) Effects on Four Economically Important Crops. *Agronomy Journal*. 1969. Issue 61, No 4. P. 528-530. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1969.00021962006100040014x>
15. Ткачук О. В., Ткачук Н. В. Токсичність високих концентрацій диметилсульфоксиду за ростовим тестом з *Raphanus raphanistrum* subsp. *sativus* (L.) Domin. *Хімія, біотехнологія, екологія та освіта: Збірник матеріалів VIII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції* (м. Полтава, 15-16 травня 2024 року). Полтава, 2024. С. 157-158.

УДК 621.565:664.864

## СПОСІБ ПАКУВАННЯ, ЗБЕРІГАННЯ І ТРАНСПОРТУВАННЯ СВІЖИХ ПРОДУКТІВ, ЯКІ ШВИДКО ПСУЮТЬСЯ

Скрипник О. В., к.т.н, доцент, Клименко В. В., д.т.н, професор  
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

Температурний режим, рівень вологості та правильний вибір ємності для зберігання продуктів, які швидко псуються - це важливі фактори для їх безпечного і ефективного зберігання. Неправильні умови можуть спричинити псування продуктів, що не лише погіршує їх смакові якості, а й може становити небезпеку для здоров'я [1].

Для зберігання природних властивостей продуктів, які швидко псуються, при пакуванні, зберіганні та транспортуванні доцільно застосовувати холодильну технологію. Створювати умови заданого холодного середовища для таких продуктів можна різними способами, найбільш розповсюдженим з яких є розміщення в тарі з продуктами штучного або природного льоду різної геометричної форми (подрібнений лід, лід в брикетах тощо); при цьому лід в ємностях може розміщуватись в тарі з продуктами, або знаходитись в тарі безпосередньо в контакті з продуктами.

Одним із способів пакування, зберігання і транспортування свіжих продуктів є одночасне розміщення всередині пакувальної тари разом з продуктами, що вкладені в пакети, природного або штучного льоду[2]. Недоліками такого способу є невелика швидкість охолодження продуктів, неможливість створення захисної атмосфери.

Нами пропонується для підвищення ефективності технології пакування, зберігання і транспортування свіжих продуктів, які швидко псуються, разом з льодом застосовувати

льдогазгідратні капсули (ЛГК) двоокису вуглецю, що представляють з себе заморожену суміш "вода + газові гідрати  $\text{CO}_2$ " [3]. Експериментальні дані по процесам утворення газових гідратів  $\text{CO}_2$  та виготовлення заморожених ЛГК  $\text{CO}_2$  наведено в роботах [4,5].

Кількість ЛГК  $\text{CO}_2$  для розміщення в пакетах, укладених в тару, визначається в залежності від температури навколишнього середовища, виду транспорту, часу транспортування, розміру пакувальної тари та інших умов.

Необхідна кількість газових гідратів в ЛГК  $\text{CO}_2$  визначається за формулою:

$$m_{\text{гід}} = \frac{\mu_{\text{CO}_2} + n\mu_{\text{H}_2\text{O}}}{\mu_{\text{CO}_2}} m_{\text{CO}_2}, \quad (1)$$

де  $\mu_{\text{CO}_2}$  і  $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$  – відповідно, молекулярні маси  $\text{CO}_2$  і води;  $n$  – кількість молекул води в складі гідрату  $\text{CO}_2$ ;  $m_{\text{CO}_2}$  – питома маса  $\text{CO}_2$ , необхідна для створення захисної атмосфери.

Нижче розглянуто приклад застосування запропонованого способу пакування, зберігання і транспортування продуктів для свіжої зелені (кріп, петрушка, кінза тощо). Спочатку в пакувальній тарі розміщують стандартний пакет об'ємом  $0,03 \text{ м}^3$  з дегазуючим клапаном, в який вручну упаковують зважену свіжу зелень у невеликі фасовочні пакетики конусної форми, при чому пакет наповнюють наполовину. Пакування проводиться в спеціальному приміщенні при температурі  $-1 \text{ }^\circ\text{C} \dots +1 \text{ }^\circ\text{C}$  і вологості повітря від 95 % [6]. Всередину пакету разом із фасованими пакетиками зелені розміщують подрібнений лід, при плавленні якого поглинається основна частина теплопритоків та ЛГК  $\text{CO}_2$  для створення захисної атмосфери. Після чого пакет запаюють, а пакувальну тару закривають.

При зберіганні і/або транспортуванні в тарі свіжої зелені, в зв'язку з тим, що ЛГК  $\text{CO}_2$  знаходяться в невірноваженому стані, вони плавляться з утворенням газоподібного  $\text{CO}_2$  та води і поглинають при цьому незначну частину теплопритоків. Виділення газоподібного  $\text{CO}_2$  сприяє підвищенню тиску захисної атмосфери в пакеті. Регулювання тиску захисної атмосфери в певних межах проходить автоматично за рахунок скидання через дегазуючий клапан надлишку в навколишнє середовище. Дегазуючий клапан має спеціальний герметик і мембрану, які запобігають проникненню повітря ззовні. Працює він наступним чином: коли всередині пакету починає накопичуватися вуглекислий газ, він створює підвищений тиск. Щойно тиск досягає певного рівня, мембрана відкривається, випускаючи надлишок  $\text{CO}_2$  назовні; газ виходить назовні доти, доки надлишковий тиск усередині не зменшиться до 0,5 мілібарів. Тоді спрацьовує герметик, перешкоджаючи проникненню зовнішнього повітря. Після зниження тиску пакет з поміщеною зеленню знову стає герметичним. Під час подальшого виділення газу і підвищення тиску все повторюється знову.

Для збереження зелені в свіжому вигляді рекомендується вміст  $\text{CO}_2$  в захисній атмосфері підтримувати від 2 % до 5 % [7]. Температура води після плавлення ЛГК  $\text{CO}_2$  близька до  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Кількість ЛГК  $\text{CO}_2$  в пакетах, укладених в тару, визначається в залежності від температури навколишнього середовища, виду транспорту, часу транспортування, розміру пакувальної тари та інших умов. Наприклад, для картонної тари, в якій розміщено поліетиленовий пакет об'ємом  $0,03 \text{ м}^3$ , при його заповненні на половину, наприклад петрушкою, вміст  $\text{CO}_2$  в захисній атмосфері при 5 % повинен становити  $0,75 \times 10^{-3} \text{ м}^3$ . Тоді необхідна кількість газових гідратів  $\text{CO}_2$ , з урахуванням втрат, становитиме  $0,65 \times 10^{-2} \text{ кг}$ , а маса ЛГК  $\text{CO}_2$ , при концентрації газових гідратів  $\text{CO}_2$  40%, складатиме  $1,6 \times 10^{-2} \text{ кг}$ .

Отже застосування ЛГК  $\text{CO}_2$  в технології пакування, зберігання та транспортування продукції, яка швидко псується, дозволяє збільшити термін зберігання її споживчих властивостей в результаті одночасного застосування холодильної технології та створення захисної газової атмосфери.

## Інформаційні джерела

1. Віктор Колтунов. Технологія зберігання продовольчих товарів / Віктор Колтунов, Євгенія Белінська. – К.: Центр навчальної літератури, 2019. – 138 с.
2. Патент № 75887UA, Україна, МПК 2012.01 A23L 3/00. Спосіб пакування, транспортування і зберігання свіжих продуктів / Гобадзе Р.Н. – № u2012 12568 Заявл. 05.11.2012; Опубл. 10.12.2012; Бюл. № 23.
3. Патент № 144701UA, Україна, МПК 2020.01 A23L 3/00. Спосіб пакування, транспортування і зберігання свіжих продуктів / Клименко В. В., Скрипник О. В., Свяцький В. В., Конончук С. В. – № u2019 12265 Заявл. 26.12.2019; Опубл. 26.10.2020; Бюл. № 20.
4. Клименко В. В. Экспериментальная оценка кинетики образования гидратов диоксида углерода в системе "H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub>" / В. В. Клименко, О. В. Скрипник – Одеса: Холодильна техніка і технологія, 2006. – № 4 (102). – С. 50 – 54.
5. Скрипник О. В. Экспериментальная оценка процессов замораживания смеси "H<sub>2</sub>O + газодые гидраты CO<sub>2</sub>" / О. В. Скрипник, В. В. Клименко – Одеса: Холодильна техніка і технологія, 2007. – № 1 (105). – С. 87 – 90.
6. Подпратов Г.І. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: підручник / Г.І. Подпратов, В.І. Рожко, Л.Ф. Скалецька. – К.: Аграрна освіта, 2014. – 393 с.
7. Технологія виробництва продукції рослинництва: навч. посіб. Ч.1 / [Мельник С.І., Муляр О.Д., Кочубей М.Й., Іванцов П.Д.]. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 282 с.

УДК 662.61: 662.63

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ВИГОТОВЛЕННЯ ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА З ЛІГНОЦЕЛЮЛОЗНОЇ СИРОВИНИ КОМУНАЛЬНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Клименко В.В.<sup>1</sup>, д.т.н, професор, Невдаха Ю.А.<sup>1</sup>, к.т.н, доцент,  
Молокост Л.А.<sup>1</sup>, викладач, Братішко В.В.<sup>2</sup>, д.т.н., професор

<sup>1</sup>Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

Однією з невирішених екологічних проблем переробки твердих побутових комунальних відходів в Україні є утилізація рослинних відходів комунального походження, основну частину яких складає лігноцелюлозна сировина [1]. В такій сировині містяться компоненти целюлози, геміцелюлози та лігніну, а співвідношення між компонентами залежать від виду породного походження сировини [2]. Комунальні лігноцелюлозні відходи за породним походженням можна об'єднати у наступні групи: група 1 – зелені відходи косіння газонної трави та бур'янів; група 2 – обрізки гілок та кущів, відходи кронування дерев; група 3 – опале листя.

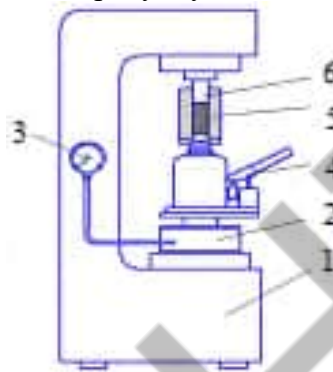
Традиційними напрямками утилізації рослинних відходів комунального походження в Україні є складування на полігонах, спалювання, компостування. Кожний із цих методів має як певні переваги так і суттєві недоліки. Технологія переробки лігноцелюлозної сировини з метою отримання рідкого біопалива у вигляді аліфатичних спиртів знаходиться на стадії розробки і є досить складною.

Одним із практичних методів утилізації лігноцелюлозної сировини комунального походження може бути виготовлення з неї твердопаливних брикетів чи пелет. В такій технології використовується дія високого гідростатичного тиску з метою часткового руйнування клітинних стінок біополімерної сировини, що сприяє «склеюванню» окремих частинок лігноцелюлозної сировини і дозволяє формувати твердотільні структури з

високою щільністю:  $\geq 1 \text{ г/см}^3$ . Пелети з такою щільністю відповідають європейським стандартам [1].

Проведений аналіз ботанічного складу зелених насаджень на прикладі Святошинського району м. Києва показав, що біля 60% всіх насаджень (або  $\approx 70\%$  без врахування насаджень хвойних порід) становлять лише три види дерев: клен, липа, тополя. Можна вважати, що склад опалого листя кількісно буде еквівалентний складу видів дерев. Тому для експериментальної оцінки виготовлення твердого біопалива у вигляді пелет було вибрано обрізки дерев клена, липи і тополі та опале листя клену і тополі.

Виготовлення пелет у закритій матриці досліджувалося на експериментальній пресовій установці, схема якої показана на рисунку 1



1-станина, 2-контрольний гідроциліндр, 3- манометр, 4-ручний гідропривід, 5-прес-форма, 6-пуансон ( $d=16\text{мм}$ )

Рис. 1 - Схема експериментальної пресової установки

Обладнання установки дозволяє виконувати випробування на стиск при максимальному навантаженні 50 кН. Величина тиску на сировину визначається за допомогою зразкового манометра ОБМ-100 зі шкалою 0-100 атм і класом точності 0,4, під'єднаного до контрольного гідроциліндра.

Тиск пресування зразків біопалива визначається наступним чином. Оскільки зусилля від штока контрольного гідроциліндра 2 передається ручному гідроприводу 4 з прес-формою 5, внутрішній діаметр якої дорівнює 16 мм, тому значення зусилля визначали як добуток значення тиску манометра на площу підшви (основи) ручного гідроприводу 4, значення якого дорівнювало  $87 \text{ см}^2$ . Знаючи зусилля пресування, тиск пресування зразків пелет визначали шляхом його відношення до площі поперечного перерізу пуансона ( $2,01 \text{ см}^2$ ). Наприклад, при показанні тиску манометра  $50 \text{ кгс/см}^2$ , зусилля пресування дорівнює:  $50 \times 87 = 4350 \text{ кгс}$ . При цьому тиск пресування у прес-формі дорівнює:  $4350/2,01 = 217,5 \text{ кгс/см}^2 = 213,3 \text{ МПа}$ .

В експериментах використовувалося здрібнене опале листя, просушене до вологості 12-14%, яке просівалося на ситі з круглими отворами діаметрами 1 мм, і подрібнені обрізки дерев, просушені до вологості 5,7-7%, які просівалися на ситі з діаметром отворів 0,1 мм.

Щільність пелет, виготовлених з опалого листя при тисках 130-217 МПа, складала  $1,02-1,14 \text{ г/см}^3$ , а пелет виготовлених з обрізків дерев при цих тисках  $1,01-1,12 \text{ г/см}^3$ . Утворені зразки біопалива циліндричної форми розміром ( в мм)  $d \times h = 16 \times 30$  мають доволі гладку бокову поверхню, а їх загальний вигляд показано на рис. 2

Зольність на суху масу пелет з опалого листя знаходилася в межах 13-18% , а з обрізків дерев в межах 6,7-11%. Вища теплота згорання на суху масу , розрахована за формулою для лігноцелюлозної сировини [3] була приблизно однаковою для пелет з опалого листя і з обрізків дерев та дорівнювала 17-20 МДж/кг.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що з лігноцелюлозних відходів комунального походження: опалого листя та обрізків дерев листяних порід, за умови попередньої їх механічної (подрібнення) та термічної (підсушування) підготовки, можна при тисках  $\geq 130 \text{ МПа}$  виготовляти якісні пелети щільністю  $\geq 1 \text{ г/см}^3$ .



*a* – з листя клена, *б* – з листя тополі, *в* – з обрізків клена, *г* – з обрізків тополі, *д* – з обрізків липи.

Рис. 2 – Загальний вигляд пелет, виготовлених з опалого з листя і обрізків дерев

### Інформаційні джерела

1. Клименко В. В., Кравченко В. І., Боков В. М., Гуцул В. І. Технологічні основи виготовлення біопалива з рослинних відходів та їх композитів: Монографія. /За ред. В.В. Клименка – Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. – 162 с. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/6980/1/MonographyKlym.pdf>
2. Howard R.L., Abotsi E., Jansen van Rensburg E.L., Howard S. Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production. African Journal of Biotechnology 2003. Vol. 2, N 12. – P. 602–619. doi:10.5897/AJB2003.000-1115
3. Малик І.К., Мирошниченко Д.В., Мещанін В.І. Визначення теплоти згорання рослинної сировини (2018)- Available at: <http://eprints.zu.edu.ua/34880/1/10.pdf>

УДК 625.311:502.5

## ЩОДО ЕКОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

Воїнов О.П., д.т.н., професор, Самохвалов В.С., к.т.н., доцент,  
Кобалава Г.О., к.т.н., доцент

Херсонський навчально-науковий інститут національного університету  
кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

У своїй багаторічній історії людство створило світове виробництво, яке, з одного боку, забезпечує його сталий розвиток, а з іншого - надає на навколишнє природне середовище багатофакторний шкідливий вплив, інтенсивність якого в міру розвитку виробництва зростає з прискоренням. Його проявами є теплове забруднення планети, парниковий ефект, кислотні дощі, виснаження озонового шару, масштабні забруднення токсичними хімічними речовинами та радіонуклідами, швидке скорочення біологічного розмаїття тощо.

Серед галузей світового виробництва особливе місце посідає енергетика, яка своєю продукцією забезпечує функціонування інших галузей і при цьому надає на природне середовище інтенсивний шкідливий вплив, сила якого є більшою за сумарний шкідливий вплив інших галузей. Проблема взаємодії енергетики та довкілля поширює свій вплив на величезні території, об'єми атмосфери та гідросфери Землі. Майбутні значні масштаби розвитку енергопостачання та енергоспоживання визначають подальше інтенсивне зростання їх різноманітних впливів на довкілля в глобальному масштабі.

З розвитком атомної енергетики виникли принципово нові проблеми взаємодії енергетики з довкіллям, прикладами яких стали аварії на Чорнобильській АЕС та АЕС Фукусіма-1.

В останні роки занепокоєння вчених викликає підвищення концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері, наслідком чого є парниковий ефект – підвищення температури Землі. Це веде до

необхідності обмеження споживання вуглецевмісного палива. Крім викиду CO<sub>2</sub>, паливоспалювальні установки в усьому світі виробляють теплові та хімічні забруднення, золу та сажу, які зі збільшенням масштабу виробництва також створюють серйозні проблеми. Оскільки в даний час в Україні найбільшим стаціонарним джерелом забруднення атмосферного повітря є енергетика, що використовує до 40% всього органічного палива, відсутність необхідного обладнання та ефективних технологій очищення негативно впливають на вирішення проблем уловлювання та утилізації шкідливих речовин. Таким чином, вітчизняна та світова енергетика опинилася перед необхідністю переходу до безвідходного енерговиробництва [1].

Іншою стороною проблеми взаємодії енергетики та довкілля є визначальна роль природного середовища у вирішенні практичних завдань енергопостачання: вибору типу енергетичних установок, дислокації підприємств, одиничних потужностей енергетичного обладнання та енергоресурсів, облік їх впливу на навколишнє середовище, застосування енергозберігаючих технологій та заходів тощо.

Доцільним способом мінімізації забруднення навколишнього середовища та підвищення енергетичної безпеки мають стати відновлювані джерела енергії. Передбачається, що в середині XXI століття половина світового енергопостачання здійснюватиметься з використанням відновлюваних джерел енергії [2].

У нинішніх умовах надзвичайно важливою є інтеграція енергетики та екології, взаємозв'язок екологічних аспектів енергетики та енергетичних аспектів екології. Необхідно правильно їх формулювати і неухильно відстежувати на всіх етапах енергопостачання та енергоспоживання. Лише в цьому випадку можлива реалізація природоохоронної стратегії розвитку енергетики України, зокрема Національного плану з енергетики та клімату (НПЕК) на період до 2030 року, схваленого Кабінетом Міністрів України 25 червня 2024 р. [3].

### Інформаційні джерела

1. Крижанівський, Є. І. Екологічні проблеми енергетики / Є. І. Крижанівський, Г. В. Кошлак // Нафтогазова енергетика. - 2016. - № 1. - С. 80 - 90.
2. Інженерна екологія / В. М. Ісаєнко, К. О. Бабікова, Ю. М. Саталкін, М. С. Романов ; за заг. ред. В. М. Ісаєнка. - Київ : НАУ, 2019. - 452 с.
3. Урядовий портал [Електронний ресурс].- URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/ukraina-zatverdyla-natsionalnyi-plan-z-enerhetyky-ta-klimatu-v-den-pochatku-peremovyn-pro-vstup-do-ies>.

**УДК 628.1.037-049.7:628.381:504.03**

## **СОЦІАЛЬНІ, ЕКОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ДОЩОВОЇ ВОДИ ЯК ДОДАТКОВОГО ДЖЕРЕЛА ДЛЯ ВОДОКОРИСТУВАННЯ**

**Коваленко О.О., д.т.н., професор**

**Одеський національний технологічний університет, м. Одеса**

В сучасному світі людство все частіше стикається з проблемами доступу до водних ресурсів і все більше відчуває дефіцит якісної і безпечної питної води. Це відбувається через демографічні, економічні, соціальні причини, погіршення стану навколишнього середовища, кліматичні зміни та техногенні впливи в глобальному масштабі. За прогнозами експертів існуючі темпи розвитку виробництва та росту чисельності населення планети

лише загострюватимуть ці проблеми. Дуже відчуває це аграрний сектор. Бо саме на зрошення сільськогосподарських насаджень витрачається найбільше прісної води. Більшість країн намагається розширити доступ до води за рахунок підземних вод. Але вони також вичерпуються. Тому актуальним завданнями сьогодні є впровадження технологій раціонального використання водних ресурсів, державне регулювання і контроль за видобутком підземних вод, застосування більш ефективних технологій оброблення води, розробка і впровадження технологій водокористування, зокрема і водопостачання, з альтернативних джерел [1].

Традиційними джерелами водопостачання населення і промисловості є прісні поверхневі і підземні води. До альтернативних джерел води відносять опріснену морську воду чи воду з підземних джерел з високою мінералізацією, очищені стічні води, дощову воду, конденсати атмосферної вологи, воду з льодовиків, сконденсовані випари з ґрунту та сконденсовану воду, утворену при транспірації рослин. Зрозуміло, що замінити повністю традиційне водопостачання такі технології не зможуть. Але задовольнити окремі потреби у воді як в приватному секторі, так і в промисловості – це реально [1].

Метою роботи було оцінити соціальні, екологічні та техніко-економічні аспекти застосування дощової води як додаткового джерела для водокористування, зокрема технічного і питного водопостачання.

Ще не так давно дощова вода розглядалася як непотрібний стік, якого треба було швидко позбутися за допомогою дренажних і каналізаційних систем. Сьогодні підхід змінився. В сучасних умовах дощова вода - цінний природний ресурс, до якого потрібно ставитися дбайливо. В порівнянні з водою з інших альтернативних джерел, дощова вода чинить мінімальний вплив на навколишнє середовище та потребує, в разі збору з дахів будівель, менш складної технології оброблення перед подальшим використанням. Крім того, збір дощової води і використання її після очищення зменшує об'єм зливної води, що стікає в дренажну систему. Відповідно зменшуються ризики затоплення територій, витрати на каналізування та очищення стічних вод, тиск на природні водні ресурси.

В останні десятиліття все більше країн світу стали підтримувати повернення до технології збору і використання дощової води. В низці країн світу розроблено і вже діє відповідне законодавство. Вже сучасною практикою доведено, що встановлення систем збору, резервування і використання дощових стоків з дахів житлових і офісних будівель є перспективним для водокористування. А економічні розрахунки, виконані фахівцями з різних країн світу, показують, що очищати і повторно використовувати дощові води більш раціонально, ніж доочищати їх до норм для скидання у поверхневі водойми [1 - 4].

Хімічний склад дощових стоків залежить від місця їх утворення і умов збору. Концентрація домішок може змінюватися в широких діапазонах. Відповідно, різними будуть і технології оброблення таких вод. Наприклад, технологія очищення суміші дощових вод, зібраних із промислових і транспортних площадок включає процеси вилучення завислих речовин, колоїдних, дрібнодисперсних, органічних і токсичних домішок, застосовують процеси коагуляції і флокуляції, механічної фільтрації, біологічні процеси [4].

Сучасні системи збору і використання дощової води складаються із жолобів і водостічних труб для відведення води з дахів, металевої сітки чи фільтру для вилучення листя і камінців, резервуару для накопичення води, насосної станції для подачі води споживачу, за потреби – системи більш глибокого доочищення води. Із їх застосуванням в сезон дощів можна до 50 % знизити споживання води із систем централізованого водопостачання.

Очищену дощову воду можна використовувати для побутових потреб: прання, прибирання, змив туалетів, прийняття душу, полив декоративних та сільськогосподарських культур. Її також можна застосовувати для охолодження повітря, призначеного для кондиціювання приміщень в будівлях. Дощова вода може стати джерелом питної води, якщо після очищення її показники відповідатимуть вимогам до якості і безпечності питної води [1 -4].

В ОНТУ також були виконані дослідження можливості організації додаткового водокористування за рахунок дощової води, зібраної з дахів будівель, на одному із регіональних харчових підприємств та безпосередньо в нашому закладі освіти. Було вибрано будівлі, оцінено площі дахів для збору води, розраховано кількість опадів в регіоні за даними Гідрометцентру. Також були виконані експериментальні дослідження показників якості зразків зібраної води. З врахуванням отриманих результатів запропоновано технологічні схеми оброблення води для підприємства і закладу вищої освіти, підібрано необхідне для ліній технологічне обладнання, розраховано необхідну кількість реагентів та оцінено економічну ефективність запропонованих технічних рішень. Наприклад, для підприємства запропоновано технологію, яка включає: збір дощової води, макрофільтрацію, накопичення і зберігання зібраної дощової води, подачу води на обробку, механічну фільтрацію від дрібнодисперсних домішок, ремінералізацію і нейтралізацію води, знезараження води і окиснення органічних домішок, видалення залишкового хлору і покращення органолептичних показників якості води, вилучення кисню з води, додаткову механічну фільтрацію, накопичення і подачу на використання підготовленої води [1, 4].

В результаті виконання економічного розрахунку визначено собівартість підготовленої води. Зібрана і очищена за розробленими технологіями дощова вода буде придатна у використанні для господарських та технічних потреб підприємства і закладу освіти. Використання зібраної дощової води дозволить скоротити витрати на забір питної води із мережі централізованого водопостачання населеного пункту.

### Інформаційні джерела

1. Коваленко О.О., Василів О.Б., Шаповал Є.О. Водопостачання з альтернативних джерел та оцінка доцільності його організації на харчовому підприємстві. Зб. тез допов. XIII Всеукр. наук.ово-практич-ної конференції. 17 – 18 листопада 2022 р., Одеса, ОНТУ. - Одеса: ОНТУ, 2022. – С.39 – 41.
2. Almeida, A.P., Liberalesso, T., Silva, C.M., & Sousa, V. (2023) Combining Green Roofs and Rainwater Harvesting Systems in University Buildings under Different Climate Conditions. *Sci. Total Environ.*, 16, 3719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv>
3. Almeida, A.P., Liberalesso, T., Silva, C.M., & Sousa, V. (2021). Dynamic modelling of rainwater harvesting with green roofs in university buildings. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127655>
4. Коваленко О.О., Чумахан П.О. Збір і використання дощової води в закладах освіти. Зб. тез доповідей 84 наук. конф. виклад. Одеського національного технологічного університету. Міністерство освіти і науки України. – Одеса: ОНТУ. – 2024. - С. 259-260.

**УДК 628.1.033:663.6:504.064.4**

## **ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ФАСОВАНИХ ВОД**

**Литвин О.О., здобувач СВО «Магістр», Коваленко О.О, д.т.н., професор  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса**

Споживання фасованих питних вод на душу населення в світі неухильно зростає. Виробництво такої продукції в останні десятиліття є найбільш зростаючим сектором в галузі виробництва фасованих напоїв. Експерти вважають, що до 2026 року його приріст становитиме 10 % щорічно [1]. Разом з тим, дослідженню впливу таких виробництв на навколишнє середовище приділяється недостатньо уваги. Метою наукової роботи став

аналіз та узагальнення інформації стосовно забруднювачів довкілля, що утворюються і накопичуються безпосередньо при виробництві фасованих питних вод, а при також інших процесах, без яких виготовлення та споживання зазначеної продукції є неможливим.

Виробництво і споживання фасованих питних вод характеризується утворенням чималої кількості твердих промислових відходів. На виробництві накопичуються некондиційні матеріали для фасування води (преформи, кришки, етикетки, скло, металеві банки), використаний картон, залишки пакувальних матеріалів, відпрацьовані фільтруючі матеріали, УФ-лампи для знезараження питної води, обладнання та прилади для контролю технологічних параметрів і виконання лабораторних досліджень, що вийшли з ладу тощо. При споживанні фасованої питної води твердими відходами стають використані пляшки для води із поліетилентерефталату, полікарбонату, скла, алюмінію чи жести, пластикові кришки чи кронен-пробки до пляшок, етикетки та залишки упаковок для пляшок. Згідно оцінок експертів, масштаби утворення твердих відходів як при виробництві, так і при споживанні фасованих питних вод значні і вже сьогодні негативна дія таких відходів на компоненти довкілля є досить відчутною.

Ще одним суттєвим джерелом забруднення довкілля є стічні води, що утворюються на підприємствах з виробництва фасованих питних вод. Хоча кінцевим продуктом є фасована питна вода, та для її виробництва слід використати чималу кількість також питної води. Адже перед розливом води в пляшки їх попередньо ополіскують тією ж самою водою. Питну воду використовують для мийки і дезінфекції технологічного обладнання та санітарної обробки свердловини. Також якісна вода необхідна для питних потреб працівників підприємства і задоволення їх санітарно-гігієнічних потреб. Питна вода на підприємстві необхідна для забезпечення роботи їдальні, медпункту, лабораторії, для дотримання санітарно-гігієнічних вимог в цехах з розливу води та на промислових площадках і територіях підприємства тощо. Також не слід забувати про розсоли, що утворюються у випадку опріснення води із природних джерел з підвищеною мінералізацією. Як правило, ці розсоли не переробляють а скидають разом з іншими стічними водами підприємства. За даними фахівців, об'ємні витрати стічних вод підприємств з видобутку і розливу питних вод знаходяться в межах від 30 до 50 % по відношенню до об'єму води, розлитої в пляшки, тобто готової продукції. Стічні води підприємств з виробництва фасованих питних вод можуть містити залишки кислотних і лужних миючих засобів, різні солі, озон, залишки хлорвмісних дезінфікуючих засобів, четвертинних амонійних сполук чи кислотних аніонних дезінфікуючих засобів, органічні речовини, мікроорганізми тощо. Також, якщо для мийки використовують гарячу воду чи водні розчини, то стічні води мають підвищену температуру. Всі зазначені забруднювачі, що потрапляють зі стічними водами підприємств в навколишнє середовище, негативно на нього діють.

Виробництво преформ для ПЕТ-тари, виробництво кришок і етикеток, видув пляшок, процеси забору природної води із джерела і подальшого її оброблення, охолодження і насичення газом, наповнення пляшок водою, їх закупорювання та пакування – всі ці технологічні процеси неможливо здійснити без використання електричної енергії. Транспортування матеріалів і продукції потребує витрат газу, бензину чи дизельного пального. А після того, як вода спожита, тверді відходи потребують збору, сортування та переробки, а стічні води – очищення. І всі ці процеси також неможливо здійснити без витрат електричної енергії та палива. Згідно результатів дослідження [2], за життєвий цикл фасованої води витрачається в 2000 разів більше енергії, ніж за життєвий цикл води із мережі централізованого водопостачання.

Електрична енергія часто виробляється тепловими електростанціями. При цьому спалюється значна кількість викопного палива. Спалювання палива на теплоелектростанціях а також в двигунах різного транспорту є причиною забруднення повітря оксидами сірки, азоту та вуглецю, поліциклічними ароматичними вуглеводнями,

дрібними твердими частками золи тощо [3]. А вони, як відомо, є однією із причин збільшення кількості захворювань серед населення та підвищення рівня смертності [4].

Забруднення повітря відбувається і безпосередньо при виготовленні ПЕТ-преформ. Високі температури плавлення грануляту є причиною його термічної деструкції. В результаті цього вже при 250 °С починають вивільнятися різні леткі органічні сполуки, в тому числі поліциклічні ароматичні вуглеводні. Відомо також, що деякі прості вуглеводні можуть утворюватися і при нижчих температурах [5]. Леткі органічні речовини потрапляють в атмосферу, з часом осідають на ґрунт і потрапляють у воду. З навколишнього середовища з повітрям, з питною водою і продуктами харчування такі речовини потрапляють в живі організми. Відомо, що багато з них чинять токсичну, канцерогенну та мутагенну дію на живі організми та негативний вплив на навколишнє середовище. Вони добре розчинні в ліпідах і тому легко всмоктуються із шлунково-кишкового тракту, швидко розподіляються в різних тканинах із помітною тенденцією до локалізації в жирових клітинах [6].

Викиди в повітря різних забруднювачів, серед яких є і парникові гази, негативно впливають на озоновий шар. Викид парникових газів на підприємстві може відбуватися при розливі води в пляшки. Для виробництва газованої питної води використовують вуглекислий газ. Він доставляється на підприємства в цистернах в зрідженому стані. При дроселюванні вуглекислого газу та при сатурації води за неналежної експлуатації обладнання виникають його втрати. Охолодження води перед насиченням вуглекислим газом - ще один технологічний процес у виробництві фасованих вод, що потребує уваги еколога. Для охолодження води застосовують теплообмінники та холодильні машини. Технічні неполадки в роботі холодильних машин потенційно є причиною втрат холодоагенту. Якщо таким холодоагентом є фреон, і ще з тих фреонів, що руйнують озоновий шар, то негативний вплив виробництва фасованих вод на довкілля зростає. Звичайно, що кількість небезпечних для навколишнього середовища газових викидів на підприємстві з виробництва фасованих вод не співвідносна з викидами парникових газів при спалюванні палива транспортом чи теплоелектростанцією. Але вони є і систематично вносять свою частку в сукупний негативний вплив на довкілля. Згідно даних дослідників [7] загальні викиди парникових газів за повний життєвий цикл ПЕТ-пляшки для води об'ємом 500 мл становлять 3,87 кг CO<sub>2</sub> екв.

Таким чином, в ході виконаного наукового дослідження проведено аналіз діяльності виробництв фасованих питних вод та визначено джерела забруднення компонентів довкілля. Показано, що виробництво і споживання зазначеної продукції є причиною утворення чималої кількості твердих відходів та стічних вод, а також газових викидів, в тому числі і парникових газів. Тому розробка технологій для переробки, ефективної утилізації чи очищення таких відходів і викидів є пріоритетним напрямком для наукових досліджень, а їх впровадження у виробництво - актуальним завданням для інженерів із захисту навколишнього середовища.

### Інформаційні джерела

1. Parag, Y., Elimelech, E., & Opher, T. (2023). Bottled Water: An Evidence-Based Overview of Economic Viability, Environmental Impact, and Social Equity. *Sustainability*, 15(12), 9760. <https://doi.org/10.3390/su15129760>.
2. Gleick, P.H., & Cooley, H.S. (2009). Energy Implications of Bottled Water. *Environ. Res. Lett.*, 4 (1), 014009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/1/014009>
3. Через викиди вугільних ТЕС в Україні та ЄС вмирають тисячі людей – дослідження. (2021). *Економічна правда*. <https://www.epravda.com.ua/news/2021/09/8/677591/>
4. Викиди від транспорту і як з ними боротися. (2024). *Прес-служба Федерації автомобілістів України*. <https://fra.org.ua/uk/an/publikatsii/analitika/vikidi-vid-transportu-i-iak-z-nimi-borotisia>

5. Nolasco Cruz, J., Donjuan Martínez, K., Álvaro Zavariz, D., & Hernández, I. P. (2022). Review of the Thermochemical Degradation of PET: an Alternative Method of Recycling. *Journal of Ecological Engineering*, 23(9), 319-330. <https://doi.org/10.12911/22998993/151766>
6. Hussein I. Abdel-Shafy, & Mona S.M. Mansour (2016). A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25 (1), 107-123. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>
7. Horowitz, N., Frago, J., & Mu, D. (2018). Life Cycle Assessment of Bottled Water: A Case Study of Green2O Products. *Waste Manag.*, 76, 734–743. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.043>

**УДК 628.16:663.93:66.067.1**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО КАВОВОГО ШЛАМУ ЯК МАТЕРІАЛУ ДЛЯ СОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ**

**Кідакова Д.В., здобувачка СВО «Бакалавр», Коханська А.В., аспірант,  
Коваленко О.О., д.т.н., професор  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса**

Кава – напій, який виготовляють із смажених бобів кавового дерева. Вона відноситься до напоїв, що найбільше споживаються у світі. Щорічно у світі виробляють близько 7 мільярдів кг кави. Щодня у світі випивають близько 3,5 мільярда чашок цього напою. У світовому споживчому попиті кава займає другу сходинку після нафти [1]. У зв'язку з великим попитом на каву в світі щорічно утворюється в процесі її виробництва понад 23 мільйони тон відходів. На різних технологічних етапах виробництва кави накопичуються тверді та рідкі відходи [2, 3]. Технології утилізації відходів розробляють з врахуванням їх кількості та хімічного складу. Основна частка серед відходів, що накопичуються при виробництві кави, припадає на кавовий шлам. Накопичується кавовий шлам під час обсмажування і екстрагування зерен кави, в процесі заварювання меленої кави. З 1 г меленої кави після споживання кавових напоїв утворюється 0,91 г відпрацьованого кавового шламу. Це балансове співвідношення між масою сировини для приготування кавового напою та масою утвореного відпрацьованого кавового шламу дозволяє уявити масштаби накопичення таких відходів. Вони значні.

Хімічний склад кавового шламу залежить від сорту зерна кави, способу і ступеню його обжарювання, подрібнення і помелу, від співвідношення різних сортів кави у суміші мелених зерен кави, умов водної екстракції кавових зерен [4]. За даними роботи [5] середній хімічний склад (у відносних одиницях) відпрацьованого кавового шламу, відібраного після заварювання кави в кавових машинах, відображається вмістом: целюлози - 12,4 %, геміцелюлози - 39,1%, лігніну - 23,9 %, олій - 2,29 %, білка - 17,44 %. Також в кавовому шламі присутні цукри, фенольні сполуки, кофеїн, амінокислоти, меланоїдини, вітаміни, ферменти, різні мікро- і макрокомпоненти. Клітковина після екстрагування водою меленої кави практично повністю залишається в шламі. Майже вся кавова олія залишається у шламі. А ось розчинні вуглеводи, які становлять третину всіх розчинних компонентів обсмажених і мелених зерен кави, в процесі приготування напою майже повністю екстрагуються і переходять в напій [2]. Різноманітний хімічний склад кавового шламу робить його хорошою сировиною для виробництва біодизелю, біоетанолу, паливних гранул, багаторазових стаканчиків, алкогольних напоїв. Також його можна використовувати як компост, як субстрат для виробництва грибів, як джерело природних фенольних антиоксидантів, як біоматеріал у фармацевтичній, харчовій та полімерній

промисловостях. Одним із напрямків утилізації кавового шламу є виробництво на його основі матеріалів для очищення природних і стічних вод. В той же час більша частина утворених відходів виробництва кави і кавових напоїв не утилізується належним чином. Часто їх просто скидають на звалища. Відсутність ефективної утилізації відходів стає причиною засмічення навколишнього середовища, забруднення ґрунтів, води і повітря. Як наслідок - погіршення родючості ґрунтів, цвітіння водойм і їх забруднення токсичними домішками, мор риби, забруднене повітря, погіршення стану здоров'я людей [3, 6]. Саме тому розробка і удосконалення технологій, що дозволятимуть перетворювати токсичний для навколишнього середовища кавовий шлам в корисну для людей продукцію є актуальною.

Метою наукового дослідження був аналіз сучасного стану технологій отримання із кавового шламу біосорбентів для очищення води від важких металів, а також отримання такого матеріалу одним із способів та дослідження його властивостей.

В результаті літературного огляду відомих способів отримання біосорбентів із кавового шламу зроблено висновок, що вони потребують додаткового використання чистої води, хімічних реагентів та передбачають використання сушіння шламу. Негативним наслідком застосування цих способів є утворення чималої кількості стічних вод, що містять більше токсичних речовин для навколишнього середовища, ніж вихідний шлам. Тому для отримання в експерименті біосорбентів із кавового шламу було обрано комбіноване термічне оброблення сировини без попереднього промивання і оброблення розчинами хімічних реагентів.

В науковій роботі досліджували зразки біосорбентів, отриманих в результаті сушіння вологого кавового шламу в сушильній шафі протягом різного проміжку часу. Також досліджували зразок біосорбенту, який після найбільш тривалого сушіння був додатково карбонізований в муфельній печі. Сушіння зразків кавового шламу здійснювали в лабораторній сушильній шафі при температурі (105 - 110) °С. Зразки вихідного кавового шламу попередньо зважували та поміщали в алюмінієві бюкси, закривали кришками та ставили в сушильну шафу. В ході експерименту отримали п'ять зразків висушеного шламу з різним вмістом вологи. Для цього змінювали тривалість процесу сушіння зразків шламу від однієї години до п'яти годин. Карбонізацію висушеного шламу здійснювали в лабораторній муфельній печі. Метою карбонізації висушеного кавового шламу було термічне розкладання органічних сполук і отримання твердого мікропористого матеріалу з високим вмістом вуглецю. Карбонізацію шламу здійснювали в наступному порядку. Кавовий шлам, попередньо висушений, поміщали в капсулу із нержавіючої сталі. Її закривали кришкою, яку загвинчували і таким чином герметизували ємність. Заповнену сировиною і закупорену ємність поміщали в муфельну піч. Карбонізацію проводили при наступних умовах: температурний режим роботи муфельної печі - 600 °С, тривалість процесу – 30 хвилин (без врахування часу виходу печі на заданий температурний режим). Після завершення карбонізації зразки витримували у відкритій муфельній печі до повного охолодження та подрібнювали.

Для дослідження сорбційних властивостей зразків біосорбентів по відношенню до важкого металу використовували модельні розчини з концентрацією іонів заліза (III), рівною 50 мг/дм<sup>3</sup>. Розчин необхідної концентрації готували шляхом розчинення в дистильованій воді наважки залізо-амонійних квасців  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  зі ступенем чистоти «ч.д.а». Процес очищення води від іонів заліза за допомогою біосорбенту здійснювали наступним чином. В колбу об'ємом 250 мл наливали 150 мл модельного розчину. рН розчину доводили до рН = 4 шляхом додавання розчину соляної кислоти в концентрації 0,1 моль/дм<sup>3</sup>. Температуру розчину підтримували на рівні (20 ± 2) °С. В розчин додавали 1 г отриманого біосорбенту. Розчин із біосорбентом перемішували протягом 2 хв через кожні пів години. Тривалість оброблення розчину біосорбентом становила п'ять годин. Потім розчин відфільтровували і в фільтраті визначали залишкову концентрацію іонів заліза. Вимірювання концентрації для кожного розчину проводили

тричі. Потім розраховували середнє арифметичне отриманих даних. Його і вважали за результат досліду. Концентрацію іонів заліза до і після оброблення модельного розчину отриманими біосорбентами визначали колориметричним методом з використанням розчину роданіда амонія. Для оцінювання сорбційних властивостей зразків біосорбентів на основі експериментальних даних розраховували такі показники, як величину адсорбції та відсоток адсорбції.

Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що внаслідок контакту отриманого біосорбенту з модельним розчином стає можливим зменшення вмісту іонів заліза (III) в розчині в 6,1 - 8,9 разів. При цьому кращі результати демонстрували більш зневодненні при сушінні зразки біосорбентів. Порівняння сорбційних властивостей біосорбентів, отриманих тільки висушуванням протягом п'яти годин в сушильній шафі з властивостями біосорбенту, отриманого сушінням шламу протягом п'яти годин з його подальшою карбонізацією в муфельній печі показало, що величина адсорбції і відсоток адсорбції відрізняються суттєво для двох зразків біосорбентів. Встановлено, що карбонізація попередньо висушеного кавового шламу погіршує його сорбційні властивості. І величина адсорбції, і відсоток адсорбції зменшується в більше ніж 2 рази. Тобто можна зробити висновок, що застосування карбонізації для лише висушеного кавового шламу при отриманні із нього біосорбенту для очищення води від іонів заліза (III) недоцільно. В даному випадку кращими сорбційними властивостями володіє лише висушений кавовий шлам. Разом з тим, важливо зауважити, що при застосуванні лише сушіння в кавовому шламі зменшується вміст вологи, але повного розкладання низки органічних речовин не відбувається. Тому при застосуванні такого біосорбенту може відбуватися як вилучення важких металів, так і додаткове забруднення води органічними речовинами.

Однією із причин погіршення сорбційних властивостей карбонізованих біосорбентів із кавового шламу вважаємо наявність в них кавової олії. Основну частку рослинної олії складають тригліцериди. Під час тривалого нагрівання при температурах вище 240 °C відбувається руйнація їх структури. Олія темніє, загусає, з'являється задимлення. Слід зазначити, що деякі зміни спостерігали і в експерименті при карбонізації кавового шламу. Відбувалося сильне задимлення при карбонізації шламу. Крім того, модельний розчин із карбонізованим біосорбентом мав більш темне забарвлення, ніж розчин із лише висушеним біосорбентом.

Підсумовуючи результати наукового дослідження можна сформулювати наступні висновки: відпрацьований кавовий шлам – перспективна сировина для виробництва матеріалів для покращення якості води; висушування кавового шламу дозволяє отримати з нього матеріал, здатний вилучати із води важкі метали, зокрема залізо. В той же час є ризики додаткового забруднення води домішками органічного походження; комбіноване термічне оброблення кавового шламу (сушіння + карбонізація) погіршує сорбційні властивості отриманого матеріалу. Причиною вважаємо продукти термічної деструкції кавової олії. Вони забивають мікропори сорбенту і погіршують доступ іонів важких металів із води до функціональних груп на поверхнях вуглецевого матеріалу, здатних їх зв'язувати. Тому попереднє знежирення шламу перед карбонізацією може бути доцільним. І це є одним із завдань наших подальших досліджень.

### Інформаційні джерела

1. International coffee organization. (2023) Coffee report and outlook. [https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee\\_Report\\_and\\_Outlook\\_December\\_2023\\_ICO.pdf](https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee_Report_and_Outlook_December_2023_ICO.pdf)
2. Arya, S.S., Venkatram, R., More, P.R., & Vijayan, P. (2022). The wastes of coffee bean processing for utilization in food: a review. *J Food Sci Technol.*, 59(2), 429–444. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05032-5>

3. Макас, А., & Крусіп, Г. (2021). Сучасні методи утилізації кавового шламу, як елемент природоохоронних технологій. *Зб. наук. пр. ЛОГОΣ*. <https://doi.org/10.36074/logos-15.10.2021.21>
4. Blinová, L., Sirotiak, M., Bartošová, A., & Soldán, M. (2017). Review: Utilization of waste from coffee production. *Research Papers Faculty of Materials science and technology in Trnava Slovak University of Technology in Bratislava*, 25 (40), 91-100. <https://sciendо.com/pdf/10.1515/rput-2017-0011>
5. Cruz, R. (2014). Coffee by-products: Sustainable Agro-Industrial Recovery and Impact on Vegetables Quality. *Dissertation thesis. Universidade do Porto*. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/76762/2/32890.pdf>
6. Bhatia, L., Jha, H., Sarkar, T., & Sarangi, P.K. (2023). Food waste utilization for reducing carbon footprints towards sustainable and cleaner environment: a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*., 20(3):2318. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032318>

**УДК 504.05**

## **ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБНИЦТВА ОДЯГУ ТА ЕКОДИЗАЙН**

**Якуб Л.М., д.т.н. професор, Прозоркевич Є.Д магістрантка  
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса**

Виробництво одягу є галузь, що відповідальна за 10% глобальних викидів парникових газів, що становить 1,2 мільярда тон вуглекислого газу щорічно. Прогнозується, що викиди парникових газів у цій галузі збільшаться більш ніж на 50% до 2030 року. Ці викиди виникають на різних етапах ланцюжка поставок - від сировини до виробництва, переробки, транспортування та доставки.

Наразі щорічно для зрошення використовується 44 трильйони літрів води, 95% з яких використовується для виробництва бавовни. Було підраховано, що 20% втрат води в Аральському морі були викликані попитом і споживанням бавовни в ЄС.

За даними Програми ООН з навколишнього середовища, індустрія моди несе відповідальність за 20 відсотків глобальних стічних вод.

Що секунди на звалище спалюється або викидається еквівалент одного сміттєвоза з одягом. Приблизно 60% усіх матеріалів, що використовуються в індустрії моди, виготовлені із пластику, щорічно викидаються в океан, під час прання одягу 500 000 тон мікроволокон, що еквівалентно 50 мільярдам пластикових пляшок.

Досягнення цілей якісного навколишнього середовища та розвитку, що само підтримується, вимагає: ефективного виробництва та зміни моделі споживання для чого необхідно зосередитися на оптимізації використання ресурсів та мінімізації вироблених відходів. Для досягнення таких цілей в роботі розглянута оцінка життєвого циклу існування продукту.

Аналізу повного циклу життя систем, надає певний перелік напрямків методичних досліджень в сфері екологічного дизайну [1-3].

Традиційно життєвий цикл виробу закінчується звалищем. Витягнути хоч якусь користь від предмету, що туди потрапив майже не вдається. Очевидно, що альтернативою звалищу може бути подальше використання продукту або через апгрейд (модернізація, оновлення), або через рециклінг (повторне використання або повернення в обіг) матеріалів (рис. 1).



Рис. 1 – «Зелений цикл» життя продукту

Єдиної методики врахування LCA сьогодні, на жаль, не існує. В той же час, повний життєвий цикл виробу, тобто закінчений перелік виробничо-споживчих етапів від проектної концепції до його утилізації, часто стає зрозумілим тільки після того, як починається виробництво або навіть споживання об'єкту [3,4].

Розглядаючи виробничі критерії «екологічної якості» виробу (продукту), зазначимо, що до них належить наявність замкненого циклу виробництва, зменшення матеріалоемності, можливість повторного використання матеріалу, максимально можлива економія енергії під час виробництва тощо.

Витримування усіх критеріїв екологічної якості є передумовою створення «зеленого» виробу – такого, що має бути адекватним довкіллю. Сучасний екодизайн поєднує групу показників екологічної якості у 3R, тобто групу проектних підходів, які охоплюють основні етапи від проектування виробу до системи його споживання, а саме:

- reuse – повторне або багаторазове використання;
- reduce – зменшення (тобто економія);
- recycle – рецикл, переробка (тобто створення замкнутого циклу як у виробництві, так і у споживанні).

Принципи 3R-проекування стали сьогодні провідними у новій європейській і світовій проектній культурі [ 3 ].

Їх впровадження відбувається на тлі ґрунтовної зміни соціальних аспектів взаємодії людини із довкіллям.

LCA разом із 3R-проекуванням тягне за собою необхідність створення принципово нового погляду на природу і зміст речей, традиції їх використання і утилізації.

В роботі розглянута змістовна послідовність циклу «потреби– проектування– виробництво– споживання– рецикл– утилізація» під кутом зору новітніх проектних стратегій, в першу чергу з урахуванням стратегії ергодизайну.

Повторне використання одягу в кілька разів знижує вплив на навколишнє середовище. Деякі наукові дослідники вважають, що вплив повторного використання текстилю на навколишнє середовище в 70 разів нижчий, навіть з урахуванням глобального експорту для повторного використання, включно з викидами від транспорту.

В роботі розглянута циркулярна економіка (ЦЕ) - це концепція, у рамках якої матеріальне виробництво може бути перепроєковано. Вона використовує ресурси для виробництва, використання та утилізації на користь максимально можливого повторного використання та переробки.

В основі ЦЕ лежать три основні методи і підходи (скорочення, повторне використання і переробка); при цьому всі традиційні методи управління відходами не практикуються.

Концепція етапу повторного використання полягає в тому, що текстильні матеріали легко піддаються переробці або перепрофілюванню для різних видів застосування. Крім

того, збільшення повторного використання і перепрофілювання дасть змогу скоротити кількість текстильних матеріалів, необхідних для виробництва

### Інформаційні джерела

1. Life cycle of clothing [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://letstalkscience.ca/c4c/resource/life-cycle-clothing>
2. Життєвий цикл продукту [Електроний ресурс]. – Режим доступу: [https://ukrayinska.libretexts.org/Бізнес/Маркетинг/Книга%3А Принципи маркетингу \(Lumen\)/10%3А Маркетинг продукції/10.03%3А Життєвий цикл продукту](https://ukrayinska.libretexts.org/Бізнес/Маркетинг/Книга%3А Принципи маркетингу (Lumen)/10%3А Маркетинг продукції/10.03%3А Життєвий цикл продукту)
3. Дизайнерська діяльність: екологічне проектування Науково-методичне видання / В.О.Свірко, О.В.Бойчук, В.М. Голобородько –Київ: УкрНДІ ДЕ, 2016. – 196 с.
4. Оцінювання життєвого циклу методичні рекомендації навчальне видання / Л. Д. Загвойська, М. В. Шпек –Львів: НЛТУ України, 2015 – 33 с.

УДК 577.4:613

## ОЦІНКА АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ЛАНДШАФТИ У ВИЗНАЧЕНИХ АДМІНІСТРАТИВНО-ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ОДИНИЦЯХ

Семенюк Ю.В., д.т.н., професор

Одеський національний технологічний університет, м.Одеса

Зростання антропогенного навантаження на природні системи, виснаження багатьох видів природних ресурсів, зниження якості середовища життєдіяльності людей зумовили актуальність та необхідність розробки шляхів оптимізації природно-суспільної взаємодії для збалансованого еколого-соціально-економічного розвитку регіонів.

Робіт, присвячених різним питанням динаміки антропогенних впливів, небагато. Ландшафтно-динамічні дослідження дають змогу визначати закономірності просторової диференціації змінних у часі динамічних параметрів стану природно-господарських систем.

Значна техногенна ураженість екосфери України призводить до того, що природне середовище втрачає притаманні йому властивості до саморегуляції, що має критичні прояви, особливо при прогнозованих суттєвих змінах кліматичних факторів.

В умовах впливу війни значне погіршення стану екосистем потребує ретельної уваги, моніторингу та розробки планів відновлення та адаптації до нових умов існування ландшафтів.

Об'єкт дослідження - геосистеми у фізико-географічних районах Полісся, Центральнопридніпровської височинної та Київської височинної області Подільсько-Придніпровського краю зони лісостепу.

Предмет дослідження – сукупний вплив різних видів природокористування на геосистему в рамках конкретної адміністративно-територіальної одиниці, що проявляється у рівні її антропогенної трансформації.

Мета роботи - оцінювання міри впливу на ландшафти на території 19-ти адміністративних районів.

Виходячи з встановленої мети, було визначено такі завдання дослідження: проаналізувати та узагальнити дані дистанційного зондування Землі, зокрема класифіковані зображення зі супутникових даних мультиспектральних зображень GlobeLand30 з роздільною здатністю 30 м, в тому числі Landsat з попередньою атмосферою і

топографічною корекцією, з використанням наукової та статистичної інформації про показник і динаміку стану ландшафтів.

проаналізувати просторово-часову структуру й динаміку виникнення більшості порушень (перетворень) геосистем; оцінити ступінь порушення екологічної рівноваги в агроландшафтах за п'ятибальною шкалою; оцінити вплив складу угідь на екологічну стійкість (стабільність) території, розрахувати коефіцієнт екологічної стабільності; проаналізувати екологічну збалансованість ландшафтів та ступінь їхнього екологічного перетворення, розрахувати коефіцієнт антропогенного навантаження; оцінити та порівняти комплексні показники екокризовості районів на основі розрахованого інтегрального показника антропогенної деструкції ландшафтів; визначити рангові місця районів за рівнем антропогенного впливу.

Індикатором антропогенних порушень довкілля було обрано частку порушень як міру, що визначає відсоток площі вищезазначених штучних поверхонь у певних територіальних одиницях.

Також однією з основних цілей роботи було встановлення не лише міри антропогенних порушень довкілля на основі зазначеного індикатора, а й часових проміжків, протягом яких більшість порушень (перетворень) виникло. Дослідження охоплювало період з 1992-го по 2020-й роки.

Як вхідні дані використовували повний інформаційний продукт, який містить всі 7 каналів знімків Landsat 1992, 2002, 2011 та 2020 років.

Деякі з отриманих результатів дослідження антропогенного впливу представлені діаграмою на рис. 1 та на порівняльній карті - рис. 2.

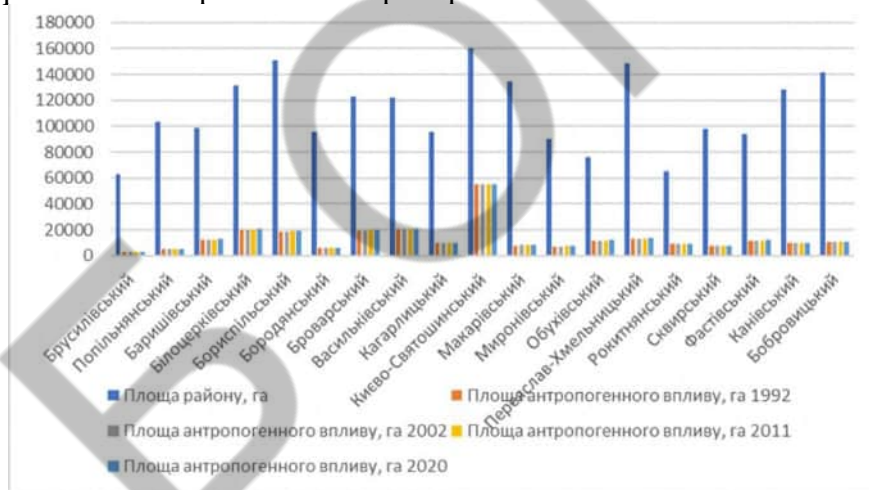


Рисунок 1 – Діаграма антропогенного впливу по районах (1992, 2002, 2011 і 2020 роки)

Оцінка екологічного стану ландшафтів за складом та співвідношенням угідь проводилася також шляхом аналітичного визначення ступеня порушення екологічної рівноваги між орними землями як основного дестабілізуючого чинника агроландшафтів та за сукупністю природних компонентів ландшафту (ліси, луки, водні об'єкти, сіножаті, пасовища тощо), що виконують екологічностабілізуючу функцію. При цьому використовувалися матеріали Міністерства екології та природних ресурсів України та Державної служби статистики.

Ступінь порушення екологічної рівноваги в агроландшафтах за співвідношенням Р:ЕСУ оцінювали за п'ятибальною шкалою та розраховували за методикою Інституту землеустрою. Оцінка впливу складу угідь на екологічну стійкість (стабільність) території характеризується коефіцієнтом екологічної стабільності ( $K_{ек}$ ), який розраховували за формулою:

$$K_{ек} = \frac{\sum K_i + \Pi_i}{\sum \Pi_i}, \quad (1)$$

де  $K_i$  – коефіцієнт екологічної стабільності угіддя  $i$ -го виду;  $\Pi_i$  – площа угідь  $i$ -го виду, тис. га.

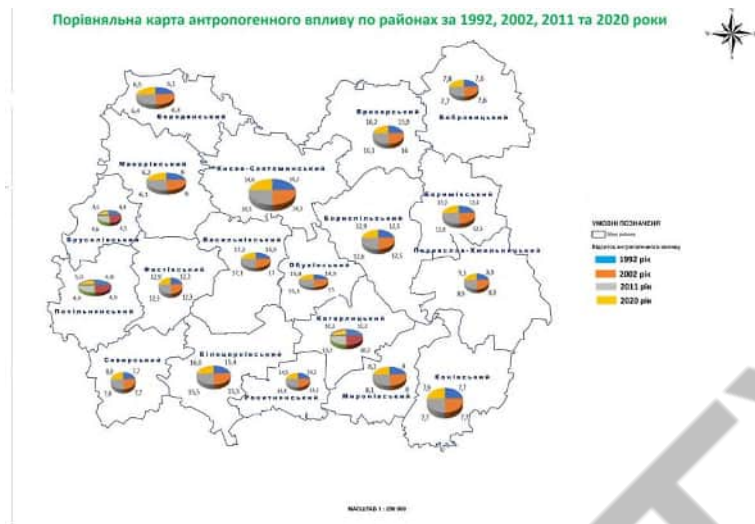


Рисунок 2 – Порівняльна карта антропогенного впливу по районах

Важливим показником, який свідчить про екологічну збалансованість ландшафтів та ступінь їх екологічного перетворення, є коефіцієнт антропогенного навантаження ( $K_{ан}$ ), який розраховували за формулою

$$K_{ан} = \frac{\sum B_{уi} + \Pi_i}{\sum \Pi_i}, \quad (2)$$

де  $B_{уi}$  – бал за рівнем антропогенного навантаження угіддя  $i$ -го виду;  $\Pi_i$  – площа угідь  $i$ -го виду, тис. га

Отримані результати щодо оцінки екологічної стабільності землекористування наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 - Оцінка екологічної стабільності землекористування

Район	К ек.	Екологічна стабільність території	$K_{ан}$	Антропогенне навантаження території
Брусилівський	0,51	середньо стабільна	3	середній рівень
Попільнянський	0,6	середньо стабільна	3	середній рівень
Баришівський	0,39	слабко стабільна	3	середній рівень
Білоцерківський	0,37	слабко стабільна	3	середній рівень
Бориспільський	0,48	слабко стабільна	3	середній рівень
Бородянський	0,41	слабко стабільна	3	середній рівень
Броварський	0,4	слабко стабільна	3	середній рівень
Васильківський	0,33	нестабільна	4	значний рівень
Кагарлицький	0,43	слабко стабільна	3	середній рівень
Києво-Святошинський	0,32	нестабільна	4	значний рівень
Макарівський	0,54	слабко стабільна	3	середній рівень
Миронівський	0,47	слабко стабільна	3	середній рівень
Обухівський	0,35	слабко стабільна	3	середній рівень
Переяслав-Хмельницький	0,48	слабко стабільна	3	середній рівень
Рокитнянський	0,39	слабко стабільна	3	середній рівень
Сквирський	0,42	слабко стабільна	3	середній рівень
Фастівський	0,36	слабко стабільна	3	середній рівень
Канівський	0,36	слабко стабільна	3	середній рівень
Бобровицький	0,47	слабко стабільна	3	середній рівень

Аналіз отриманих даних показує, що в межах досліджених регіонів екологічну стабільність землекористування можна характеризувати як нестійку.

УДК 615.327.036.8:613.3

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ІНДИКАТОРІВ ЗАХВОРЮВАНOSTІ ДИТЯЧОГО НАСЕЛЕННЯ В УКРАЇНІ

Семенюк Ю.В., д.т.н., професор  
Одеський національний технологічний університет, м.Одеса

Однією з найгостріших соціальних проблем в Україні є стан здоров'я дітей. Незадовільний стан здоров'я у дитячому віці призводить до порушень здоров'я протягом усього життя людини, що створює соціальні та фінансові проблеми, негативно впливає на рівень соціально-економічного розвитку країни. Стан здоров'я дітей в Україні є незадовільним у зв'язку із тенденцією до зростання захворюваності, поширеності хвороб та інвалідності. Процес депопуляції, що спостерігається в Україні починаючи з 1990 р., набув характеру демографічної кризи, в умовах якої збереження життя і здоров'я кожної дитини набирає надзвичайно важливого загальнодержавного значення.

Складну медико-географічну ситуацію в Україні визначають швидкі темпи поширення хвороб, високий рівень захворюваності населення, суттєві регіональні диспропорції у рівнях захворюваності. Із погіршенням якості навколишнього середовища, соціально-економічних умов життя, рівня медичного обслуговування та фінансування медичних установ регіональна диференціація медико-географічної ситуації посилюється. Це зумовлює актуальність комплексних медико-географічних досліджень.

Основними завданнями роботи були аналіз основних індикаторів захворюваності дитячого населення; виявлення міжрегіональних диспропорцій та розривів; групування регіонів за показниками, що характеризують стан здоров'я дітей.

Дослідження базувалося на даних офіційної статистики. Джерелами даних були довідники Державної служби статистики України та звітні матеріали Міністерства охорони здоров'я України.

Групування регіонів за показниками, що характеризують стан здоров'я населення, здійснено з використанням методу рангів.

У роботі виконано просторовий аналіз захворюваності для моніторингу наявної ситуації, прогнозування або виявлення типових загроз на основі вивчення поширення хвороб, притаманних кожному регіону.

Для виявлення особливостей динаміки захворюваності та поширення хвороб в регіонах України проаналізовано статистичні дані за період 2016-2023 років, розраховано коефіцієнти захворюваності по різних класах хвороб у розрізі областей України.

Групування регіонів за показниками, що характеризують стан здоров'я населення, здійснено з використанням методу рангів.

Найбільшу небезпеку антропогенне навантаження завдає здоров'ю дітей, що зумовлено віковими закономірностями зростання та розвитку, які спричиняють більшу легкість адсорбції хімічних речовин і менш ефективну біотрансформацію екотоксикантів, та їх значну акумуляцію у тілі та, відповідно, високу чутливість організму до поллютантів.

Тому показники дитячої смертності є сигналом екологічного та соціального неблагополуччя середовища.

За роки незалежності в Україні відбулося зниження показника малякової смертності та всіх її складових. Проте, Україна продовжує лідувати за показниками материнської смертності серед інших країн Європи.

В Україні спостерігається скорочення народжуваності, особливо з початку повномасштабного вторгнення при достатньо високому рівні малякової смертності. Зафіксовано різке зростання смертності дітей до 1-го року у Херсонській (2023 р.) та Луганській (2022 р.) областях, що пов'язано з бойовими діями.

УДК 628.1:663.8/502.1

## УДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОТЕЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГУАНІДИНОВИХ ПОЛІМЕРІВ

<sup>1</sup>Стрікаленко Т.В., д. м.н., професор, <sup>2</sup>Нижник Т.Ю., к.т.н., ст.н.с.

<sup>1</sup>Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

<sup>2</sup>НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», м. Київ

Актуальність впровадження автономного водозабезпечення готелів обумовлена не лише складною ситуацією з енергопостачанням, від якого залежить якісне постачання води до споживачів. Серед шляхів вирішення проблем екологічної безпечності, що виникають при експлуатації систем водопостачання об'єктів комунального водопостачання в населених пунктах, як і готелів, переважають рекомендації щодо зменшення кількості аварій та втрат води при її транспортуванні, збільшення строків експлуатації трубопроводів чи суттєвої зміни їхньої конструкції, технічного переоснащення існуючого устаткування тощо [1]. Сучасні тенденції розвитку замських СПА-готелів, Велнес-готелів у віддаленій «від цивілізації» місцевості, а також поширення туризму, зокрема, сільського/зеленого туризму, потребують використання відповідних технічних рішень і впровадження новітніх технологій оброблення води, у тому числі її знезараження [2-4]. Однією з вимог ДСТУ 4269:2003 [5] є цілодобова подача до всіх приміщень готелю води, що відповідає діючим в державі вимогам до показників її якості [6]. У комерційному готельному бізнесі, громадському харчуванні, а також у бізнесі та промисловості використовується багато типів обладнання для приготування їжі та напоїв, а також для захисту побутового, комерційного та промислового обладнання від утворення твердого накипу тощо. Тому вибір прийнятної технології оброблення води є одним з найбільш чутливих питань, з яким стикаються власники готелів, що прагнуть використовувати автономні джерела водопостачання або змушені повторно використовувати свою воду [6]. Особливу увагу, окрім досягнення необхідної якості води, при такому виборі звертають на (1) експлуатаційні витрати (споживання енергії та реагентів), (2) утворення відходів (пов'язаних з розсолами і хімічними шламами, а також з впливом на довкілля, який спричиняють ці залишки, технічною та економічною доцільністю належного поводження з ними), (3) технічні можливості, рівень підготовки обслуговуючого персоналу і потенціал для автоматизації та моніторингу технологічного процесу тощо [4].

Метою аналітичної роботи був аналіз ризиків при експлуатації системи автономного водопостачання та матеріалів власних досліджень для їх мінімізації у готелях при комплексному використанні водних розчинів одного з похідних гуанідинових полімерів - гідрохлориду полігексаметиленгуанідину (ПГМГ-гх). Критеріями розгляду були достатня ефективність технології, надійність роботи, безпечність для людини та об'єктів довкілля, компактність та енергоефективність використовуваної технології оброблення води

Маркетинговий аналіз виробництва і використання ПГМГ-гх у країнах світу свідчить про численні наукові дослідження і впровадження низки реагентів на основі ПГМГ для водозабезпечення промислових підприємств і населення, у харчовій промисловості, у хімічній, будівельній та медичній галузях, для дезінфекції і деконтамінації об'єктів ветеринарно-санітарного нагляду, для профілактичної або вимушеної дезінфекції підприємств агропереробки, тваринницьких ферм, пташників тощо [7].

Науковими дослідженнями, виконаними за участі авторів цієї роботи у 1997-2023 рр., обґрунтовано використання реагенту комплексної дії «Акватон-10» (діюча речовина - ПГМГ-гх з низьким вмістом залишкових мономерів, розробник – НТЦ «Укрводбезпека», м.

Київ), що пройшов санітарно-гігієнічну і токсикологічну експертизу та призначений, зокрема, для використання в технологіях оброблення води та водоочисного обладнання, в харчовій промисловості, в медицині, для безпечного водоспоживання в екстремальних ситуаціях, для оброблення осадів, що утворюються в процесах очистки природних і стічних вод тощо [7,8].

Основні напрямки і результати наших досліджень, що дозволили рекомендувати застосування реагенту комплексної дії «Акватон-10» у автономному водозабезпеченні готелів, полягають у наступному. (1) Як зазначено вище, реагент комплексної дії «Акватон-10» пройшов санітарно-гігієнічну і токсикологічну експертизу МОЗ України та призначений для використання в технологіях оброблення води, має відповідні методичні документи для проведення цих заходів, схеми використання при різній компоновці обладнання на станціях водопідготовки та методи контролю вмісту залишкової кількості реагенту у питній воді [7-9]. (2) Апробація оброблення каптажу джерела водопостачання на підприємстві ТзОВ «Вівас-М» (Закарпатська область), що розливає, фасує та реалізує природну мінеральну воду «Вівас», завершилась напрацюванням Технологічної інструкції [10], основні положення якої успішно впроваджені при організації автономного водопостачання у СПА-бутік-готелі «ХХ» (Закарпаття). (3) Оброблення ємкостей (у тому числі – транспортних, за необхідності) водними розчинами реагенту «Акватон-10» виконується вже понад 20 років при експлуатації систем/пристроїв для додаткового очищення води централізованого питного водопостачання, що функціонують у дитячих, медичних і торгівельних закладах, у готелях [7,11]. Методичний супровід та необхідні контрольні заходи щодо перевірки показників якості додатково очищеної води викладені у відповідних документах, розроблених за нашої участі та затверджених МОЗ України [9]. Дія цих методичних документів розповсюджується на зберігання запасів води у відповідних ємкостях при автономному водозабезпеченні готелів. (4) Серед вагомих причин розвитку корозії та біобростань у мережі трубопроводів, що постачають воду до будинків, у внутрішньо-будинковій мережі трубопроводів, є використання для знезаражування води біоцидів-окиснювачів (хлору і хлор-вмісних реагентів тощо) та формування хлор-резистентності у низки патогенних мікроорганізмів, що нерідко поєднується з їх стійкістю до антибіотиків [12]. Дослідженнями, виконаними за нашою участі, показано, що заміна у процесі оброблення води реагентів-окиснювачів на реагенти на основі ПГМГ-гх сприяє очищенню старих трубопроводів від накопичень компонентів біоценозу та солей Феруму, тоді як присутність у їх складі позитивно заряджених біоцидних гуанідинових груп обумовлює здатність полімеру утворювати на металевих поверхнях міцні, що не змиваються потоком води, біоцидні плівки, які захищають поверхню металу від корозії та біобростання [13]. Напрацьовано методичний супровід поточного та щорічного проведення заходів по дезінфекції водопровідної мережі [7]. (5) Вперше у 2019 р нами була сформульована гіпотеза щодо здатності реагентів на основі ПГМГ-гх проявляти гідродинамічну активність у водних розчинах (ефект Томса) та вірогідності використання ПГМГ-гх для зниження гідродинамічного опору у водопровідній мережі, що підтверджено експериментальними дослідженнями [13, 14]. Тобто, застосування для оброблення води полімерного реагенту комплексної дії «Акватон-10» у системі водозабезпечення готелів, у тому числі – при автономному водопостачанні, є енергоефективним заходом, що важливо при обмеженнях електропостачання. (6) За необхідності застосування реагенту «Акватон-10» разом з алюміній-вмісними коагулянтами зменшується у 2-3 рази потреба у цих коагулянтах, що знижує практично у таку ж кількість разів вміст токсичного алюмінію в осаді після процесу оброблення води. Крім того, ці осадки знезаражені і не піддаються загниванню, що зменшує навантаження на навколишнє середовище [7]. (7) Перспективним щодо використання води із залишковою кількістю полімерного реагенту «Акватон-10» є миття металевих та інших поверхонь у харчоблоці та приміщенні ресторану в готелі, яке забезпечує одночасно ефективну їх дезінфекцію (санітизацію) [7, 15]. З цією ж метою вже використовують у харчовій, зокрема,

кондитерській промисловості препарати «Біоцид плюс» і «Полідез» (діючі речовини – ПГМГ та ЧАС), що може сприяти впровадженню концепції «ZERO-ресторану», тому що стічні води готелю (ресторану) будуть частково знезаражені, менше піддаватимуться загниванню та негативному впливу на довкілля. Апробація такого використання полімерного реагенту комплексної дії «Акватон-10» (а також «Біоцид плюс», «Полідез») проводиться у СПА-бутік-готелі «ХХ».

Висновки. Результатами наукових досліджень, проведених у НТУ У «КПІ ім. І.Сікорського» та ОНАХТ/ОНТУ, обґрунтовані можливість та ефективність удосконалення експлуатації системи автономного водозабезпечення готелів шляхом використання одного з похідних гуанідинових полімерів – реагенту «Акватон-10» (ПГМГ-гх). Таке використання полімерного реагенту комплексної дії «Акватон-10» створює умови отримання нормативнобезпечної питної води, що відповідає вимогам державного законодавства, є екологічно безпечним та певною мірою енергоефективним.

### Інформаційні джерела

1. Новицький Д. Поточний стан водопровідної галузі в Україні. – Водопостачання і водовідведення. Виробничо-практичний журнал. - 2023. № 4. С.4-7
2. Гугул О., Гуменюк А. Інноваційні підходи щодо розвитку підприємств гостинності: зарубіжний досвід. – Інноваційна економіка. 2021. №5-6 (88). С.74-79.
3. Global Trends & Challenges in Water Science, Research and Management. Third edition - London: IWA Publishing, 2022. 174 p.
4. Water technology: trends 2023. Transforming utilities through innovation URL: <https://www.idrica.com/wp-content/uploads/2023/02/Idrica-Water-Technology-Trends-2023-EN.pdf>
5. Послуги туристичні. Класифікація готелів. Державний стандарт України ДСТУ 4269:2003.- К.: Держстандарт України, 2003. (Нормативний документ Держстандарту України)
6. Гігієнічні вимоги до якості води, призначеної для споживання людиною. Державні санітарні правила і норми: ДСанПіН 2.2.4-171-10 – К. : МОЗ України, 2010. (Нормативний документ МОЗ України).
7. Реагенти комплексної дії на основі гуанідинових полімерів. Під ред Г.І.Баранової./ Випуски 1-6. – К.: Укрводбезпека, 2003-2023 рр.
8. ТУ У 24.1-25274537-005-2003 зі змінами № 1 та № 2 «Реагент комплексної дії «Акватон-10» (Висновок Державної санітарно-епідеміологічної експертизи МОЗ України від 02/07/2013 р № 05.03.02-04/58289).
9. Методичні рекомендації щодо застосування засобу “Акватон-10” для знезараження об’єктів водопідготовки та води при централізованому, автономному та децентралізованому водопостачанні. Затверджені Наказом МОЗ України 26.02.2010. №16-2010. – К.: МОЗ України, 2010. – 31с.
10. Стрикаленко Т.В., Склифос Г.В., Нижник Т.Ю. Обработка каптажа минеральной воды: проблемы и новое решение.- Web of Scholar – 2018. № 5 (23), vol.1 - P.45-49.
11. Стрікаленко Т.В. Вода для готельно-ресторанних закладів: аналіз деяких шляхів оптимізації водопостачання. - Водопостачання і водовідведення. Виробничо-практичний журнал. - 2015. № 3. С.31-36.
12. Воинцева И.И., Нижник Т.Ю., Стрикаленко Т.В., Баранова А.И. Антикоррозионные свойства обеззараживающих реагентов на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида / Вода: химия и экология. — 2018. № 10-12. С. 99-108.
13. Maglyovana T., Nizhnik T., Strikalenko T., Nizhnik Yu. Analysis of the possibility of environmental risk management by using innovative water treatment technology. - Sciences of Europe (Praha, Czech Republic) – 2021. No 85. Vol. 1. P. 29-39

14. Нижник Т. Ю., Баранова А. И., Маглевая Т. В., и др. О гидродинамической активности обеззараживающего реагента на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида - World Science. - 2019.- № 4 (44), vol. 1, April 2019. – P. 11 – 15.

15. Магльована Т.В., Нижник Т.Ю., Жартовський С.В. Екологічні аспекти використання гуанідинових полімерів в умовах надзвичайних ситуацій: монографія.- Черкаси: ФОП Гордієнко Є. 2017. 210 с.

## ЗМІСТ

<b>СЕКЦІЯ 1 «АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ»</b> .....	<b>3</b>
<b>УДОСКОНАЛЕННЯ СХЕМНИХ РІШЕНЬ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ</b> .....	<b>3</b>
Яковлев Ю.О., к.т.н. доцент, Клименко В.В., д.т.н. професор, Яковлева О.Ю., к.т.н. доцент, Гайдаржи В.Є., аспірант	
<b>ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ДИСИПАЦІЇ ПРИ ТЕЧІЇ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИН В КАНАЛАХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ</b> .....	<b>5</b>
Петренко О.В., к.т.н. доцент, Білецький Е.В., д.т.н. професор	
<b>РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ТА РЕЖИМІВ КИПІННЯ ХОЛОДАГЕНТУ R1233ZD(E) В ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ТРУБІ</b> .....	<b>7</b>
Борисов В.О., аспірант, Івченко Д.О., к.т.н., Железний В.П., д.т.н. професор	
<b>ВПЛИВ ДОМІШОК ФУЛЕРЕНА C<sub>60</sub> НА СЕЛЕКТИВНІ КОЕФІЦІЄНТИ ПОГЛИНАННЯ СВІТЛА В ТЕХНІЧНИХ РІДИНАХ</b> .....	<b>9</b>
Борисов В.О., аспірант, Квасницький Б.А., аспірант, Шумський О.А., аспірант	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОМІШОК ФУЛЕРЕНА C<sub>60</sub> НА КАЛОРИЧНІ ТА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ Н-ЕЙКОЗАНУ В ШИРОКІЙ ОКОЛИЦІ ПАРАМЕТРІВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ</b> .....	<b>11</b>
Квасницький Б.А., аспірант, Івченко Д.О., к.т.н., Глек Я.О. PhD	
<b>СЕДИМЕНТАЦІЙНА СТАБІЛЬНІСТЬ ТА КАЛОРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПАРАФІН/ТЕРМОРОЗШИРЕНИЙ ГРАФІТ/ОКСИД МІДІ</b> .....	<b>13</b>
Квасницький Б.А., аспірант, Глек Я.О., PhD, Івченко Д.О., к.т.н.	
<b>ТЕХНОЛОГІЯ ПРИГОТУВАННЯ ТА СЕДИМЕНТАЦІЙНА СТАБІЛЬНІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ ТЕРМОАКУМУЛЮВАЛЬНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ</b> .....	<b>15</b>
Глек Я.О., PhD, Халак В.Ф., PhD, Івченко Д.О., к.т.н.	
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ ДАНИХ ПРОЦЕСУ ХЛАДОНОВОЇ ЕКСТРАКЦІЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ</b> .....	<b>17</b>
Потапов В.О., д.т.н. професор, Білий Д.В., аспірант	
<b>ПЕРСПЕКТИВНА СИСТЕМА ЗБІЛЬШЕННЯ ГЕНЕРОВАНОЇ ТЕПЛОТИ ДЛЯ КОМБІНОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ДООХОЛОДЖЕННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	<b>18</b>
Петраш В.Д., д.т.н. професор, Баришев В.П., к.т.н. доцент, Шевченко Л.Ф., к.т.н., доцент, Хоменко О. І., к.т.н. доцент	
<b>РОЗРОБКА АБСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ</b> .....	<b>19</b>
Березовська Л.В., PhD доцент, Тітлов О.С., д.т.н. професор	
<b>ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОНОМНИХ ГЕЛІОСИСТЕМ ОТРИМАННЯ ВОДИ З АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ АБСОРБЦІЙНИХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ</b> .....	<b>21</b>
Білий О.С., аспірант, Нікітін Д.М., д.т.н. професор	
<b>ЗАСТОСУВАННЯ ГЕЛІОСИСТЕМ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВОДИ З ПОВІТРЯ</b> .....	<b>25</b>
Кравченко В.В. аспірант, Нікітін Д.М., д.т.н. професор	
<b>РОЗРОБКА АБСОРБЦІЙНИХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ В СИСТЕМАХ ОТРИМАННЯ ВОДИ З АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ</b> .....	<b>27</b>
Осадчук Є.О., к.т.н., старший викладач	

<b>РОЗРОБКА АБСОРБЦІЙНИХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ МАЛОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ .....</b>	<b>32</b>
Пономарев К.М., аспірант, Тітлов О.С., д.т.н.професор	
<b>РОЗРОБКА ПЕРСПЕКТИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ КОМБІНОВАНИХ АБСОРБЦІЙНИХ ПОБУТОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ.....</b>	<b>34</b>
Гратій Т.І., PhD, старший викладач	
<b>РОЗРОБКА ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ КОМБІНОВАНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ДІЇ .....</b>	<b>37</b>
Дмитренко Д.В., аспірант	
<b>СУШІННЯ НАСІННЕВОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦІ В РЕЖИМІ ПУЛЬСУЮЧОГО МІКРОХВИЛЬОВОГО НАГРІВУ .....</b>	<b>40</b>
Бошкова І. Л., д.т.н. професор, Волгушева Н. В., к.т.н. доцент, Капауз К. О., аспірант	
<b>КІНЕТИКА СУШІННЯ ЦЕОЛІТІВ 13Х ТА 4А В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ .....</b>	<b>42</b>
Гречановський А. П., аспірант, Тортіка Д. М., аспірант	
<b>ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИЩЕННЯ ГРУНТУ ЗА ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГІЇ МІКРОХВИЛЬОВОГО ПОЛЯ .....</b>	<b>44</b>
Борець С. О., аспірант, Галкін О. І., аспірант	
<b>МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРАТОУТВОРЕННЯ НА ПОВЕРХНІ ГАЗОВОЇ БУЛЬБАШКИ ПРИ КОНВЕКТИВНОМУ ТЕПЛООБМІНІ.....</b>	<b>46</b>
Босий М.В. старший викладач, Клименко В.В. д.т.н. професор	
<b>ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ТОРГІВЛІ .....</b>	<b>48</b>
Семенюк Д.П., к.т.н. доцент, Якушенко Є.М. к.т.н., доцент	
<b>ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ВЕРТИКАЛЬНИХ ПЕТЕЛЬНО-ДРОТЯНИХ РАДІАТОРІВ .....</b>	<b>50</b>
Волчок В.О. к.т.н., Шаповалов Д.В.	
<b>ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ І РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПРІСНЮВАЛЬНОЇ ВИМОРОЖУЮЧОЇ УСТАНОВКИ .....</b>	<b>52</b>
Василів Б.О., аспірант, Дорошенко В.М, д.т.н. професор	
<b>ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ПРИ ВИМУШЕНІЙ КОНВЕКЦІЇ ГІБРИДНИХ НАНОТЕПЛОНОСІВ У ТРУБІ.....</b>	<b>54</b>
Шумський О.А., аспірант	
<b>ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КРІОГЕННОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ ЗА РАХУНОК МЕМБРАННИХ СИСТЕМ.....</b>	<b>56</b>
Якушенко Є.М., к.т.н. доцент, Семенюк Д.П., к.т.н. доцент	
<b>ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ МІКРОКАНАЛЬНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ У ЯКІСТІ ПОВІТРЯНИХ КОНДЕНСАТОРІВ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН .....</b>	<b>58</b>
Книш С.В., Желіба Ю.О., доцент, ст.н.с., Желіба Т.О., Козаченко І.С.	
<b>ВПЛИВ ЗВОЛОЖЕННЯ ПОВІТРЯ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВЕНТИЛЯТОРІВ СУХОГО ОХОЛОДЖУВАЧА.....</b>	<b>60</b>
Книш С.В., Желіба Ю.О., доцент, ст.н.с., Желіба Т.О.	
<b>LEVERAGING MACHINE LEARNING FOR ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY IN COLD CHAIN AND REFRIGERATION SYSTEMS .....</b>	<b>62</b>
Volodymyr Shemiakin, PhD student; Olga Yakovleva, Associate Professor	
<b>ТЕПЛОВИЙ НАСОС ПОВІТРЯ-ВОДА В СИСТЕМАХ ОПАЛЕННЯ.....</b>	<b>64</b>
Лужанська Г.В., к.т.н., доцент; Гаркуша В.А., студент	
<b>ОБІГРІВ БУДИНКИ ЗА ДОПОМОГИ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ .....</b>	<b>65</b>
Лужанська Г.В., к.т.н., доцент, Волков Д.О., студент	

<b>ТЕПЛОВІ НАСОСИ У СИСТЕМАХ ОПАЛЕННЯ І ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ ..</b>	<b>67</b>
Лужанська Г.В., к.т.н., доцент, Савілов А.О., студент	
<b>СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ.....</b>	<b>68</b>
Годик К.О., аспірант	
<b>СИСТЕМИ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....</b>	<b>71</b>
Гітрук М.А., студент	
<b>ELECTRIC VEHICLES, CHARGING SYSTEM AND ENERGY STORAGE .....</b>	<b>72</b>
Yefremov I., student	
<b>МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДНЮ В УКРАЇНІ.....</b>	<b>74</b>
Василів О.Б., к.т.н., доцент	
<b>ОСОБЛИВОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ НАФТОПРОВОДУ ЧАСТОТНИМИ ПРИСТРОЯМИ .....</b>	<b>76</b>
Кологривов М.М., к.т.н., доцент	
<b>ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ЗМІН В НАФТОГАЗОНАСИЧЕНОМУ ПОРИСТОМУ СЕРЕДОВИЩІ .....</b>	<b>79</b>
Дорошенко В.В., аспірант	
<b>ПАРАДІГМА ПІЗНЬОЇ СТАДІЇ РОЗРОБКИ НАФТОВИХ РОДОВИЩ.....</b>	<b>80</b>
Тітлов О.С., д.т.н., професор, Дорошенко В.В., аспірант	
<b>ВИВЧЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ХОЛОДУ НА КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЯХ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИТРАТ ПРИРОДНОГО ГАЗУ .....</b>	<b>82</b>
Фелонюк С.А., аспірант	
<b>DEVELOPMENT OF ABSORPTION REFRIGERATION DEVICES FOR OPERATION IN A WIDE RANGE OF AMBIENT TEMPERATURES.....</b>	<b>84</b>
Selivanov A.P.	
<b>DEVELOPMENT OF SYSTEMS FOR OBTAINING WATER FROM ATMOSPHERIC AIR ON THE BASIS OF ABSORPTION.....</b>	<b>85</b>
<b>WATER-AMMONIA REFRIGERATORS AND SOLAR COLLECTORS.....</b>	<b>85</b>
Osadchuk E.A.	
<b>СЕКЦІЯ 2. ЕКОЛОГІЯ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ.....</b>	<b>89</b>
<b>МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ВІД СИНТЕТИЧНИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН.....</b>	<b>89</b>
Войницька І. Г. студентка, Гаркович О.Л. к.б.н. доцент	
<b>ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....</b>	<b>91</b>
Мадані М.М., к.т.н, доцент	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МЕТАНОВОГО БРОДІННЯ ВІДХОДІВ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....</b>	<b>93</b>
Бондар С.М., к.т.н доцент	
<b>МОЖЛИВОСТІ ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ ГРЕЧКИ .....</b>	<b>95</b>
Ткаченко А.О., аспірантка, Сагдєєва О.А., к.т.н., доцент	

**ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ПРИ ВИБУХАХ ПОЛЬОВИХ СКЛАДІВ БОЄПРИПАСІВ 97**

Орел С.М., к.т.н, с.н.с.

**ТОКСИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДУ ЗА БІОТЕСТУВАННЯМ.... 99**

Новіков Я.Є., Тараненко В.М.

**СПОСІБ ПАКУВАННЯ, ЗБЕРІГАННЯ І ТРАНСПОРТУВАННЯ СВІЖИХ ПРОДУКТІВ, ЯКІ ШВИДКО ПСУЮТЬСЯ ..... 101**

Скрипник О. В., к.т.н доцент, Клименко В. В., д.т.н професор

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ВИГОТОВЛЕННЯ ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА З ЛІГНОЦЕЛЮЛОЗНОЇ СИРОВИНИ КОМУНАЛЬНОГО ПОХОДЖЕННЯ..... 103**

Клименко В.В., д.т.н професор, Невдаха Ю.А., к.т.н доцент, Молокост Л.А., викладач, Братішко В.В., д.т.н. професор

**ЩОДО ЕКОЛОГІЧНИХ АСПЕКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ ..... 105**

Воінов О.П., д.т.н. професор, Самохвалов В.С., к.т.н. доцент, Кобалава Г.О., к.т.н., доцент

**СОЦІАЛЬНІ, ЕКОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ДОЩОВОЇ ВОДИ ЯК ДОДАТКОВОГО ДЖЕРЕЛА ДЛЯ ВОДОКОРИСТУВАННЯ . 106**

Коваленко О.О., д.т.н. професор

**ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ФАСОВАНИХ ВОД ..... 108**

Литвин О.О., здобувач СВО «Магістр», Коваленко О.О, д.т.н. професор

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО КАВОВОГО ШЛАМУ ЯК МАТЕРІАЛУ ДЛЯ СОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ . 111**

Кідакова Д.В., здобувачка СВО «Бакалавр», Коханська А.В., аспірант, Коваленко О.О., д.т.н. професор

**ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБНИЦТВА ОДЯГУ ТА ЕКОДИЗАЙН ..... 114**

Якуб Л.М., д.т.н. професор, Прозоркевич Є.Д магістрантка

**ОЦІНКА АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ЛАНДШАФТИ У ВИЗНАЧЕНИХ АДМІНІСТРАТИВНО-ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ОДИНИЦЯХ ..... 116**

Семенюк Ю.В., д.т.н. професор

**АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ІНДИКАТОРІВ ЗАХВОРЮВАНOSTІ ДИТЯЧОГО НАСЕЛЕННЯ В УКРАЇНІ ..... 119**

Семенюк Ю.В., д.т.н. професор

**УДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОТЕЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГУАНІДИНОВИХ ПОЛІМЕРІВ ..... 120**

Стрікаленко Т.В., д.м.н., професор, Нижник Т.Ю., к.т.н., ст.н.с