



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
АСОЦІАЦІЯ ІНЖЕНЕРІВ ПО ВЕНТИЛЯЦІЇ, ОПАЛЕННЮ ТА
КОНДИЦІОНУВАННЮ «АВОК України»
СПІЛКА ХОЛОДИЛЬЩИКІВ УКРАЇНИ
МІЖНАРОДНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ**

**XI Всеукраїнська науково-технічна конференція
XI Всеукраинская научно-техническая конференция
XI International scientific conference**

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

21-22 вересня 2017 року

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ



ОДЕСА 2017

УДК 621.565 (075.6)

Сучасні проблеми холодильної техніки та технології / Збірник тез доповідей XI Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2017. – 243 с.

У збірнику наведені матеріали XI Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології» та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та криогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

В сборнике представлены материалы XI Всеукраинской научно-технической конференции «Современные проблемы холодильной техники и технологии» и рассмотрены различные аспекты научно-технических вопросов, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией холодильного оборудования различного назначения, исследованием рабочих тел и процессов в элементах холодильных и криогенных систем, применением нано и когенерационных технологий, использованием холода в пищевых технологиях, применением и внедрением нетрадиционных источников энергии.

Рекомендовано до видання Вченою Радою Одеської національної академії харчових технологій протоколом №6 від 07.11.2017 р.

Відповідальність за достовірність інформації несе автор публікації.
Матеріали публікуються мовою оригінала, наданого автором.

Голова конференції – Єгоров Богдан Вікторович – ректор Одеської національної академії харчових технологій, член-кореспондент НААН України, Заслужений діяч науки і техніки, д-р техн. наук, професор.

Заступник голови – Косой Борис Володимирович – директор Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, д-р техн. наук, професор.

Члени наукового комітету:

Хмельнюк М.Г. – зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор.

Лагутін А.Є – академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор.

Морозюк Л.І. – д-р техн. наук, професор.

Желєзний В.П. – зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д-р техн. наук, професор.

Симоненко Ю.М. – зав. кафедрою криогенної техніки ОНАХТ, д-р техн. наук, професор.

Мілованов В.І. – зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, професор.

Радченко М.І. – зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор.

Бондаренко В.Л. – д-р техн. наук, професор.

Лавренченко Г.К. – д-р техн. наук, професор.

Семенюк В.О. – к.т.н., директор НВФ «Терміон».

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова – проф. Хмельнюк М.Г.

Науковий секретар – к.т.н. Зімін О.В.

Члени – к.т.н. Буданов В.О., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Стоянов П.Ф., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Ерін В.А., к.т.н. Гайдук С.В., к.т.н. Соколовская В.В., к.т.н. Подмазко І.О., к.т.н. Федоров О.Г.

ТЕМИ ДОКЛАДОВ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

1. 30 РОКІВ МОНРЕАЛЬСЬКОГО ПРОТОКОЛУ. СТРАТЕГІЇ В СФЕРІ ОБІГУ ОЗОНОРУЙНУЮЧИХ ХОЛОДОАГЕНТІВ

Возний В.Ф., к.т.н., президент ВГО «Спілка холодильщиків України»

2. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ І СПОЖИВАННІ РІДКІСНИХ ГАЗІВ

Бондаренко В.Л., доктор техн. наук, професор, МДТУ ім. М. Е. Баумана, м. Москва;

Биканов О.М., «KLA–Tencor Corporation», Milpitas, California, USA;

Симоненко Ю.М., доктор техн. наук, професор, ОНАПТ, м. Одеса

Чигрин А.А., інженер-технолог, ООО «Кріоін Інжиніринг», м. Одеса;

e-mail: ysim1@yandex.ua

3. ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ, ТЕПЛА И ХОЛОДА: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КАФЕДРЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И РЕФРИЖЕРАЦИИ НУК ИМ. АДМИРАЛА МАКАРОВА

Радченко Н.И. доктор техн. наук, професор, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев, nirad50@gmail.com

4. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА МАШИННОГО ОТДЕЛЕНИЯ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

Трушляков Е.И., к.т.н., доц., Радченко А.Н., к.т.н., доц., Грич А.В., к.т.н., ассистент

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев,

nirad50@gmail.com

5. СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В СВЕТЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ. СОЛНЕЧНЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АБСОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛО-ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

А.В. Дорошенко, доктор техн. наук, професор кафедры термодинамики и возобновляемой энергетики

6. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ВЫБОРЕ КОМПРЕССОРА. СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ВИНТОВОГО И ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРОВ

В. Гринько Региональный представитель J&E Hall и GEA ВОСК/Генеральный директор ООО «Еврокул

**СЕКЦІЯ № 3. КОМПРЕСОРИ ТА ПНЕВМОАГРЕГАТИ
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ. РОБОЧІ РЕЧОВИНИ**

стр.

79.	МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ	181
	С. А. Задорожний, С.Г. Потапов, А.В. Форсюк	
80.	ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНОГО ТЕРМІЧНОГО ОПОРУ ТЕПЛОВІДДАЧІ БАГАТОШАРОВОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ СТІНКИ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ УМОВАХ	183
	С.А. Задорожний, С.Г. Потапов, А.В. Форсюк	
81.	ДИНАМІКА ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ГАЗІВ В МАЛОРУХОМОМУ ШАРІ ЗЕРНА	184
	Гапонюк І. І.	
82.	АНАЛІЗ ПРИРОДНИХ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ХОЛОДОАГЕНТІВ В ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИНАХ І КОМПРЕСОРАХ МАЛОЇ ХОЛОДОПРОДУКТИВНОСТІ	186
	В.І. Мілованов, А.В. Зажий	
83.	ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ	188
	В.І. Мілованов, О.Л. Клебан	
84.	ЗАСТОСУВАННЯ SCHUKEY-ДВИГУНА ДЛЯ КОНДИЦІОНУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	191
	Мілованова В.В	
85.	ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ВИНИКНЕННЯ ГІДРОУДАРІВ У ГІДРОСИСТЕМАХ	193
	Скалозубов В.І., Чулкін О.А, Пірковський Д.С.	
86.	ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБЛЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	194
	Іщук В.І., Козлов Я.М.	
87.	СУЩЕСТВУЮЩІЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРШНЕВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ КОМПРЕССОРОВ	195
	Яковлев Ю.А., Дяченко И. А., Чербаджи С. В.	
88.	ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИЛОВОЇ РЕГАЗИФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ЗПГ	197
	Ярошенко В.М. к.т.н., Бабамірадов Максат,	
89.	УТИЛІЗАЦІЯ АВТОТРАКТОРНИХ ШИН НА ОСНОВІ ТУРБОХОЛОДИЛЬНОГО ЦИКЛУ	199
	Ярошенко В.М., Кусік О.	
90.	АНАЛІЗ ХОЛОДИЛЬНОГО ЦИКЛУ З РТО ПРОМІЖНОГО ТИСКУ	201
	Ярошенко В.М., Переход О.,	
91.	ВРАХУВАННЯ ГРАНИЧНИХ УМОВ ПРИ РОЗРАХУНКАХ ЗАПІЗНЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ХВИЛІ В ОГОРОДЖЕННІ	203
	Миرونчук Ю. А	
92.	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА СОПЛА ДВУХПОТОЧНОЙ ВИХРЕВОЙ ТУРБИНЫ С ВНЕШНИМ ПЕРИФЕРИЙНЫМ КАНАЛОМ НА ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	206
	Ванеев С.М., Д.В. Мирошниченко,	
93.	ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ПІД ДІЄЮ ВИСОКОГО ТИСКУ	208
	Потапов В.О., Гриценко О.Ю	
94.	ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО І НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГЕМОЛІЗУ ЕРИТРОЦИТІВ КРОВІ	210
	Євлаш В.В., Погожих М.І., Потапов В.О.	
95.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК НАНОЧАСТИНОК ТІО₂ НА ВНУТРІШНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ КИПІННЯ ХОЛОДОАГЕНТУ R141В	213
	Хліва О.Я., Гордейчук Т.В., Семенюк Ю.В.	
96.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ КОЕФІЦІЕНТІВ ТЕПЛОВІДДАЧІ ПРИ КИПІННІ РОБОЧИХ ТІЛ R600А/КОМПРЕСОРНЕ МАСТИЛО ТА R600А/КОМПРЕСОРНЕ МАСТИЛО /ФУЛЕРЕНИ C₆₀ У ТРУБІ	216
	Мороз С.О., Хліва О.Я., Железний В.П.	
97.	МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛІСМНОСТІ НАНОФЛОЇДІВ	219
	Железний В.П., Мотовий І.В.	
98.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК НАНОЧАСТИНОК ТІО₂ НА В'ЯЗКІСТЬ І ПОВЕРХНЕВИЙ НАТЯГ ХОЛОДОАГЕНТУ R141В	222
	Гордейчук Т.В., Лук'янов М.М., Семенюк Ю.В.	

ДИНАМІКА ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ГАЗІВ В МАЛОРУХОМОМУ ШАРІ ЗЕРНА

Гапонюк І. І., д.т.н., проф., НУХТ, Київ, e-mail: zenidtar@gmail.com

Мета роботи: встановити кількісну характеристику перемінних значень густини й в'язкості робочих газів в малорухомому шарі зерна шахтної сушарки та їх вплив на міжфазовий вологообмін.

Результати досліджень. На рушійний потенціал міжфазового тепловологообміну суттєво впливає густина і в'язкість робочих газів.

За стаціонарних умов міжфазової взаємодії нерухомих капілярно-пористих тіл рівняння дифузії вологи в середині тіла О.В.Ликов представив диференціальним рівнянням [1]:

$$\rho \cdot \frac{d\rho_{ko}}{d\tau} = \operatorname{div} \left[\rho \cdot D \cdot \left(\nabla \rho_{ko} + \frac{K_T}{T} \cdot \nabla T + \frac{K_P}{P} \cdot \nabla p \right) \right] + I_{vk} \quad (1)$$

Однак очевидним є те, що для описання рівняння 1 для наближених до реальних умов міжфазового масообміну слід вводити правку на перемінний рушійний потенціал та густину вологи в порах зневоджуваного тіла. Що є взаємопов'язано.

За умов незалежності характерних коефіцієнтів масоперенесення від координат тіла, та ігнорування джерелом додаткової маси зневоджуваного матеріалу (I_{vk}), внаслідок хімічних чи фазових перетворень системи тіла, найбільш впливовими є потенціали вологовмісту, температури та парціальних тисків. Для незтискуємих рідин та зовнішнього впливу лише сил гравітації, переміщення вологи в матеріалі можна описати диференціальним рівнянням Нав'є-Стокса [1]:

$$\rho \cdot \frac{d\vec{v}}{d\tau} = -\nabla p + \eta \cdot \nabla^2 \vec{v} + \rho \cdot \vec{g} \quad (2)$$

Аналогічно попередньому рівнянню 1, в рівнянні 2 слід відмітити вплив перемінних параметрів градієнту тиску, густини і в'язкості.

За умов спрощення, несуттєвих змін густини та ігнорування силами в'язкості ($\eta=0$), ми можемо отримати рівняння Ейлера для ідеальної рідини [2].

За умов міжфазового вологообміну, для оцінки інтенсивності потоку вологи в зневоджу вальному тілі, О.В.Ликов було запропонував використовувати коефіцієнт внутрішньої дифузії [1]:

$$\vec{j} = -(a_m \cdot \rho_0 \cdot \nabla U + a_m^T \cdot \rho_0 \cdot \nabla T + a_p \cdot \nabla p), \quad (3)$$

де a_m , a_m^T і a_p – коефіцієнти відповідно дифузії вологи, термодифузії та молекулярного перенесення, $\text{м}^2/\text{г}$; ρ_0 – густина абсолютного сухого матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Знову ж таки, як і в попередніх формулах, ми маємо фактор впливу густини. Якщо перемінними параметрами густини зневоджуваного тіла ми можемо нехтувати, то для робочих газів порядок перемінних значень, з огляду на їх значимість, нехтувати ними не можна.

За умов суттєвих змін параметрів густини і в'язкості цими перемінними вже не можна ігнорувати й метод інтегрування не є прийнятним з огляду на нерівномірність величини перемінних параметрів цих перемін в часі та товщині шару зневоджуваних тіл.

В свою чергу й інші складові рівнянь дифузії a_m , a_m^T і a_p є залежними від температури t_i , густини ρ_i і тиску H_i , а також шпаруватості шару зневоджуваних тіл й перемінних значень параметрів фазових середовищ (W_i , ∇U , ∇T , ∇p) також є перемінними величинами.

Для прикладу шпаруватість зернового середовища однієї і тієї самої культури, в залежності від стану його рухомості, може змінюватися в межах $\varepsilon = 0,25 \dots 1,0$ [3]. А в межах зміни температури $t = (0 \dots 100) \text{ }^\circ\text{C}$ коефіцієнт в'язкості повітря $(13,28 \dots 40,3) \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$, густина $\rho = 1,293 \dots 0,095 \text{ кг}/\text{м}^3$ в межах зміни температури $t = (0 \dots 300) \text{ }^\circ\text{C}$; в'язкість води – $v = (1,79 \dots 0,295) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, поверхневий натяг $\sigma = (756 \dots 588) \cdot 10^{-4} \text{ Н}/\text{м}$, число Прандтля $Pr = 13,67 \dots 1,75$. Швидкість пронизування зернового середовища повітрям при різних станах рухомості зернового середовища може змінюватися в межах $v = 0,1 \dots 6,0 \text{ м}/\text{с}$, а активна поверхня зернини – $0,01 \dots 1,0$ від загальної об'ємної площі зернини [2].

Те ж саме стосується незалежних змінних теплопровідності λ , теплоємності c , температуро-провідності a , масопровідності λ_m , масоємності c_m , тепловологопровідності a_m . За літературними даними коефіцієнти тепловіддачі змінюється в межах $\alpha = 10 \dots 110 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, при обдуванні вологого зерна повітрям коефіцієнт температуро-провідності має екстремальний характер в межах $20 \dots 30 \%$ вологості зерна [3].

Коефіцієнт дифузії вологи в залежності від вологовмісту і температури зерна також змінюється в межах $(0,3...0,467) \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ при взаємодії вологого зерна із робочим агентом. Коефіцієнт масообміну $\alpha_m = (1,0...2,99) \cdot 10^{-2} \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{°М}$ [2].

Для з'ясування характеру перемін вказаних перемінних нами було в експериментальних дослідженнях нами було встановлено характер зміни величини в'язкості і густини робочих газів та встановлено можливість опису їх для нерухомого шару зневоджувальних тіл.

Зі змінням вологовмісту та температури газів їх густина змінюється за відомими залежностями. Однак при переміщенні робочих газів крізь шар пористих тіл його густина може змінюватися також під впливом аеродинамічного опору цього шару [2, 3]:

$$H_{ш} = \lambda_{ш} \frac{h}{d_e} \frac{\rho v^2}{2} \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \right) \quad (4)$$

де $H_{ш}$ – опір шару зерна, Па; h – висота шару зерна, м; $\lambda_{ш}$ – сукупний коефіцієнт гідродинамічного опору по довжині течії; $\varepsilon = V_o / V_z$ – коефіцієнт шпаруватості; V_o, V_z – об'єми повітря (газу, пари, води) та загального об'єму суміші з твердими частками, м^3 ; d_e – еквівалентний діаметр часток, м; v – швидкість газу, що віднесена до загального перерізу шару зерна (умовна), м/с; ρ – густина газу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Нами виконано дослідження з встановлення густини робочих газів за умов пронизування шару зерна в шахтних прямотечійних зерносушарках за реальних умов: фіктивній швидкості течії цих газів, режимів сушіння, товщини і стану рухомості шару зерна.

За умов переміщення газів в шахтних зерносушарках крізь шар нерухомого зерна товщиною 0,25 м із фіктивною швидкістю 0,4 м/с, аеродинамічний опір для дрібнодисперсних культур становить 1,4...1,6 кПа, а температури нагрівання газів може змінюватися від 10 до 160 °С. Тоді густина та об'єм повітря може змінюватися в межах 40% від початкових значень (табл.1).

Для розрахунку абсолютної, або динамічної в'язкості повітря користуються формулою Міллікена [2, 3]:

$$\mu = 1,745 \cdot 10^{-6} + 5,03 \cdot 10^{-9} \cdot t, \quad (5)$$

Таблиця 1 – Залежність густини газів від їх вологовмісту і температури

$v, \text{ м}^3$	$\pm v \%$	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	$\pm \rho \%$	$T, \text{ °К}$	$t, \text{ °К}$	$p, \text{ Па}$	$d_p, \text{ Па}$
1,32	-58,6	0,76	37,0	273	160	101325	0
1,14	-36,6	0,88	26,8	273	100	101325	0
1,02	-22,0	0,98	18,0	273	60	101325	0
0,83	0,0	1,20	0,0	274	0	101325	0
0,83	0,5	1,21	-0,5	273	0	101325	500
0,83	1,0	1,21	-1,0	273	0	101325	1000
0,82	1,5	1,22	-1,5	273	0	101325	1500
0,82	1,9	1,22	-2,0	273	0	101325	2000
0,81	2,9	1,24	-3,0	273	0	101325	3000
1,11	-32,7	0,90	24,6	273	100	101325	3000

Слід відмітити відмінність залежності кінематичної в'язкості від температури та тиску у рідин від газів. Так, у рідин зі зростанням температури вона, на відмінність від газів, зменшується.

Висновки: 1. Для виробничих параметрів зневоднення зерна в шахтних прямотечійних сушарках температура є більш впливовим фактором впливу на густина та питомий об'єм робочих газів.

2. На відмінність від рідин, динамічна в'язкість газів μ зростає, а кінематична ν ($\text{м}^2/\text{с}$) зменшується до 11 % за параметрів тиску в шахтній зерносушарці та для параметрів довкілля "літо-зима" – до 30 %.

Літературні джерела

1. Лыков А.В. Тепломассообмен (Справочник). – М.: Энергия. 1972. – 560 с.
2. Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств: [Уч. пособие.]// – К.: Вища шк. – 1991. – 367 с.
3. Гапонюк І.І., До уточнення моделі внутрішньо капілярної дифузії вологи//– К.: Наукові праці НУХТ – Том 21, № 1– 2015. – С.142 – 151.