

# ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЯ REFRIGERATION ENGINEERING AND TECHNOLOGY

науково-технічний журнал



Заснований у 1965 році  
Виходить шість разів на рік  
Мови видання:  
українська, російська, англійська  
**ТОМ 55 ВИПУСК 2  
2019**

**ISSN (print)  
0453-8307**

Журнал включено до Переліку наукових видань, в яких можуть публікуватися основні результати дисертаційних робіт (Наказ МОН України від 4 липня 2014 р. № 793, додаток № 8)

**Засновник:**

Одеська національна академія харчових технологій

**Founder:**

Odessa National Academy of Food Technologies

**Свідоцтво:**

КВ № 21283-11083ПР 26.03.2015

**Certificate:**

КВ № 21283-11083ПР 26.03.2015

Головний редактор  
д-р техн. наук, проф. **Б.В. Косой**

Editor-in-Chief  
Dr.Sc., professor **B. Kosoy**

Заступник головного редактора  
д-р техн. наук, проф. **М.Г. Хмельнюк**

Deputy Editor-in-Chief  
Dr.Sc., professor, **M. Khmelniuk**

Відповідальний редактор **О.С. Бодюл**

Executive editor **O. Bodiul**

Редакційна колегія:

Editorial Board:

д-р техн. наук, проф. **С.В. Артеменко**  
д-р техн. наук, проф. **В.Л. Бондаренко**  
д-р техн. наук, проф. **О.В. Дорошенко**  
д-р техн. наук, проф. **В.П. Желєзний**  
д-р техн. наук, проф. **Г.К. Лавренченко**  
д-р техн. наук, проф. **В.О. Мазур**  
д-р техн. наук, проф. **В.І. Мілованов**  
д-р техн. наук, проф. **Л.І. Морозюк**  
д-р техн. наук, проф. **В.Р. Нікульшин**  
д-р техн. наук, проф. **М.І. Радченко**  
д-р техн. наук, проф. **Ю.М. Симоненко**  
д-р техн. наук, проф. **Л.М. Тележенко**  
д-р техн. наук, проф. **О.С. Тітлов**  
д-р техн. наук, проф. **Н.М. Фіалко**

Dr.Sc., professor **S. Artemenko**  
Dr.Sc., professor **V.L. Bondarenko**  
Dr.Sc., professor **A. Doroshenko**  
Dr.Sc., professor **V. Zhelezny**  
Dr.Sc., professor **G. Lavrenchenko**  
Dr.Sc., professor **V. Mazur**  
Dr.Sc., professor **V. Milovanov**  
Dr.Sc., professor **L. Morosuk**  
Dr.Sc., professor **V. Nikulshin**  
Dr.Sc., professor **M. Radchenko**  
Dr.Sc., professor **Yu. Symonenko**  
Dr.Sc., professor **L. Telezhenko**  
Dr.Sc., professor **O. Titlov**  
Dr.Sc., professor **N. Fialko**

проф. **А. Бежан** (США)  
проф. **Л. Васильєв** (Білорусь)  
проф. **С. Какач** (Туреччина)  
проф. **І. Емрі** (Словенія)  
проф. **Г. Чен** (Китай)  
проф. **Ш. Морі** (Японія)

Professor **A. Bejan** (USA)  
Professor **L. Vasiliev** (Belarus)  
Professor **S. Kakac** (Turkey)  
Professor **I. Emri** (Slovenia)  
Professor **G. Chen** (China)  
Assoc. professor **S. Mori** (Japan)

**Адреса редакції:** вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082  
телефон: +38 (048) 720-91-79  
e-mail: reftech@ukr.net www.reftech.onaft.edu.ua

**Address:** Dvorianska str., 1/3, Odesa, 65082, Ukraine  
phone: +38 (048) 720-91-79  
e-mail: reftech@ukr.net www.reftech.onaft.edu.ua

Підписано до друку 02.04.2019. Рекомендовано до друку та поширення в мережі Інтернет Вченою Радою ОНАХТ (протокол №9 від 02 квітня 2019 р.) Формат 60×84<sup>1/8</sup>. Гарнітура Times New Roman. Друк різнографічний. Ум.-друк. арк. 5. Тираж 110 прим.

Видруковано в типографії «Діол-Принт»

© Одеська національна академія харчових технологій, 2019

# ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЯ

Том 55 Випуск 2  
2019

## В НОМЕРІ:

### ПАМ'ЯТІ ВИДАТНИХ ВЧЕНИХ

*Валентин Петрович Алексєєв* 64

### ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

*Koivalov D., Kovalava H.*

Numerical simulation of the regime and geometric characteristics influence on the pressure loss of a low-flow aerothermopressor 66

*Burunsuz K. S., Kuklinovsky V. V., Serbin S. I.*

Investigations of the emission characteristics of a gas turbine combustor with water steam injection 77

*Титлов 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 84

*Дорошенко О. В., Антонова А. Р., Бодня О. С., Халак В. Ф.*

Сонячні абсорбційні системи кондиціонування повітря на основі двохступеневої регенерації абсорбенту 97

### ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ

*Лавренченко Г. К., Кравченко М. Б., Грудка Б. Г.*

Термодинамічний аналіз схем повітророзподільних установок для отримання газоподібного кисню під тиском 109

*Швець М. В.*

Концепція спряжених на критичній ізохорі циклів Стірлінга, працюючих на двоокису вуглецю 121

*Гурський О. О., Гончаренко О. Є., Дубна С. М.*

Розробка моделі газотурбінного двигуна на основі даних перерахування характеристик компресора динамічного принципу дії 132

# REFRIGERATION ENGINEERING AND TECHNOLOGY

Volume 55 Issue 2  
2019

## IN ISSUE:

### IN MEMORY OF OUTSTANDING SCIENTISTS

*Valentin Petrovich Alekseev* 64

### REFRIGERATION ENGINEERING AND ENERGY TECHNOLOGIES

*Kononov D., Kobalava H.*  
Numerical simulation of the regime and geometric characteristics influence on the pressure loss of a low-flow aerothermopressor 66

*Burunsuz K. S., Kuklinovsky V. V., Serbin S. I.*  
Investigations of the emission characteristics of a gas turbine combustor with water steam injection 77

*Titlov O. S., Osadchuk E.O., Tsoy O. P., Alimkeshova A. Kh., Dzhamasheva R. A.*  
Development of autonomous cooling systems on the basis of renewable and cable sources of heat energy 84

*Doroshenko A. V., Antonova A. R., Bodnia A. S., Khalak V. F.*  
Solar absorption air conditioning systems based on two-step absorber regeneration 97

### THERMODYNAMIC ANALYSIS AND MODELING

*Lavrenchenko G. K., Kravchenko M. B., Hrudka B. H.*  
Thermodynamic analysis of schemes of air separating units for obtaining gaseous oxygen under pressure 109

*Shvets M. V.*  
Concept of the conjugated along the critical isochoric Stirling cycle, working on carbon dioxide 121

*Gursky A. A., Goncharenko A. E., Dubna S. M.*  
The development of the turbojet model on the basis of data received as a result of the recalculation of the turbo compressor characteristics 132



## **Алексеев Валентин Петрович**

**(23.04.1919 – 04.04.1989)**

*У квітні 2019 року виповнюється 100 років від дня народження видатного вченого в галузі холодильної та криогенної техніки, заслуженого діяча науки України, доктора технічних наук, професора Валентина Петровича Алексеева.*

Валентин Петрович народився 23 квітня 1919 року в Омську. Його батько, Петро Омелянович, був службовцем, мати, Анастасія Андріївна, – домогосподаркою. У 1927 році він вступив до неповної середньої школи в місті Борисоглібську, Воронежської області, яку закінчив в 1934 році. Після закінчення робітничого факультету, у 1937 році Валентин Петрович почав працювати викладачем фізики і німецької мови на крайній півночі в середній школі міста Нар'ян-Мар ненецького національного округу.

Валентин Петрович поступив до Ленінградського політехнічного інституту у 1939 році, звідки цього ж року був призваний в армію. У 1940 він закінчує полкову школу 16-ої дивізії Ленінградського військового округу та йде на фронт. У двадцять один рік Валентин Петрович став сержантом 169-го зенітно-артилерійського полку, а з червня 1941 року є помічником командира взводу зенітно-артилерійського дивізіону на Карельському фронті. Він пройшов всю війну, з першого до останнього її дня, включаючи фінську кампанію, і був демобілізований у званні лейтенанта в 1945 році. Алексеев Валентин Петрович був нагороджений трьома орденами та багатьма медалями.

В Одеський хіміко-технологічний інститут консервної промисловості Валентин Петрович поступив в 1946 році і зв'язав з ним все своє життя. Почав з технологічного факультету, але в 1949 році інститут одержав нову назву – Одеський технологічний інститут харчової і холодильної промисловості, було утворено холодильний факультет, і Валентин Петрович вирішив спеціалізуватися в області холодильної техніки. Він отримав кваліфікацію інженера-механіка за спеціальністю «Холодильні машини і установки», закінчивши інститут з відзнакою в жовтні 1951 року. Цього ж року в грудні він стає аспірантом інституту на кафедрі холодильних машин, через три роки, в жовтні 1954 року отримує посаду асистента цієї кафедри, а ще через рік – доцента.

У 1955 році Валентин Петрович успішно захищає кандидатську дисертаційну роботу на тему «Дослідження ефекту вихрового температурного розділення газів і парів». У цій роботі він закладає новий напрямок в холодильній та криогенній техніці, а в подальшому створює наукову школу, яка стала провідною в країні, практично визначивши розвиток цього важливого напрямку в світі. Валентином Петровичем вперше були розглянуті особливості температурного реверсу в вихровій трубі та вивчені можливості отримання холоду

методом вихрового розділення природного газу. До сьогодення цього дня роботи з вихрового ефекту, що з'являються на сторінках провідних наукових видань світу, як правило, містять посилання на основні праці В.П. Алексеева і створеної ним наукової школи.

З серпня 1957 року по червень 1959 Валентин Петрович був відряджений Міністерством вищої освіти в Китайську Народну Республіку, де працював в Шіаньському університеті та Шанхайському Політехнічному інституті доцентом кафедри компресорів і холодильних машин, а також виступав з лекціями у провідних навчальних і наукових закладах Китаю. Крім лекцій він проводив практичну роботу і часто виступав науковим консультантом. Під його безпосереднім керівництвом була розроблена та введена в експлуатацію перша в Китаї установка розділення повітря. У ці роки він написав три книги по техніці помірного та глибокого охолодження, які було перекладено на китайську мову.

У липні 1959 року Валентин Петрович повертається до Одеси, в рідний інститут, на кафедру холодильних машин, де продовжує працювати доцентом і веде активну наукову діяльність. У листопаді 1963 року він засновує в інституті нову кафедру – глибокого охолодження і розділення газів. В той же час Валентин Петрович створює відділ глибокого охолодження в проблемній лабораторії інституту, яким керує багато років. У цьому відділі була створена унікальна експериментальна база для наукових досліджень в області холодильної та криогенної техніки. До початку шістдесятих років відносяться перші роботи Валентина Петровича з розробки та використання багатоканальних насадкових структур в холодильній і криогенній техніці. Ці роботи носили теоретичний та експериментальний характер і виконувалися як комплексна програма вдосконалення техніки низькотемпературного розділення. Практично в ці роки були закладені наукові та інженерні основи вдосконалення енергетичних, холодильних і криогенних систем, що забезпечили появу нового покоління високоефективного тепломасообмінного обладнання.

Зокрема, під керівництвом Валентина Петровича Алексеева і, базуючись на його наукових ідеях, були розроблені:

- азотно-водяні охолоджувачі і скрубери з щілинними насадками;
- ректифікаційні колони повітророзподільних установок зі щілинними насадками, для чого вивчалися процеси плівкової ректифікації повітря;

– нові схемні рішення й устаткування для очищення і попереднього охолодження повітря на кисневих і азотних установках, зокрема, низькотемпературний метод очищення повітря;

– розроблені наукові основи процесів тепломасообміну в щільних насадкових шарах регулярної структури, включаючи питання стійкості течій та гідроаеродинамічні взаємодії контактуючих середовищ;

– стосовно до насадок щільного типу було виконано комплексне теоретично-експериментальне дослідження явища «захливання» насадкових структур, що дозволило встановити діапазон оптимальних навантажень на обладнання;

– досліджено процес вилучення криптону при розділенні повітря методом глибокого охолодження і вивчені можливості збільшення виробництва аргону на повітророздільних установках з регенераторами;

– розроблені промислові установки, машини і апаратура для виробництва, зберігання і транспортування аргону, включаючи вивчення теплофізичних властивостей аргону;

– розроблені наукові основи автоматизації проектування і виробництва апаратів криогенних установок.

Всі ці розробки отримували практичну реалізацію на провідних підприємствах, зокрема, на Одеських виробничих об'єднаннях «Кислородмаш» і «Холодмаш».

Під керівництвом Валентина Петровича були організовані кілька наукових колективів, зосереджених на розробці високоефективного тепломасообмінного обладнання для енергетики, холодильної та криогенної техніки. Виконувалися теоретичні та експериментальні дослідження металополімерних теплообмінників високої компактності (так звані матричні теплообмінники) для холодильних і криогенних систем. Отримала подальший розвиток робота зі створення широкого класу вихрових охолоджувачів для використання в різних областях техніки. Роботи цієї групи дослідників лягли в основу промислового виробництва таких охолоджувачів на десятках заводів країни. Під керівництвом В.П. Алексєєва розроблялися компактні та ефективні тепломасообмінні апарати плівкового типу для енергетичних систем. Це вентиляторні плівкові градірні були поставлені на виробництво у вигляді типорозмірних рядів більш ніж на двадцяти заводах країни, зокрема, на п'яти заводах оборонного комплексу.

У ці ж роки було розпочато роботу зі створення випарних охолоджувачів непрямого типу з насадками регулярної структури та капілярно-пористими покриттями поверхонь обміну. Ця робота отримала широкий розвиток вже на початку XXI століття в дослідженнях вчених і практиків України та Росії, а в США, в 2007 році, вона була визнана одною з десяти найважливіших технологічних розробок на майбутні десятиліття розвитку науки і техніки.

Для районів з екстремальними умовами експлуатації холодильного та криогенного обладнання були розроблені тепломасообмінні апарати з рухомою насадкою, що самоочищається. Такі апарати призначені для роботи в дуже забруднених середовищах і, на момент

створення, не мали аналогів у світі. Перші з них були встановлені на Байконурі, в районі пилових бур, і успішно витримали суворі умови експлуатації. Вони знайшли широке застосування в системах морського базування (системи життєзабезпечення, осушення повітря, кондиціонування повітря).

Дослідження, виконані під керівництвом Валентина Петровича Алексєєва, стали основоположними у створенні нового наукового напрямку в історії інституту і країни, в формуванні наукових шкіл. Результати цих досліджень широко застосовуються в науковому світі і отримують новий розвиток вже в XXI столітті. Підсумком цих робіт стала підготовка і успішний захист в червні 1969 року докторської дисертації «Дослідження процесів тепло- і масообміну в апаратах холодильних установок з регулярними насадками». У 1970 році Валентин Петрович стає професором. Результати цих робіт лягли в основу наукових монографій «Устаткування для виробництва аргону» (1972), «Розрахунок і моделювання апаратів криогенних установок» (1987). Всього Валентином Петровичем було опубліковано у вітчизняних і зарубіжних виданнях понад 250 наукових робіт і отримано понад 160 авторських свідоцтв на винаходи. Про важливість і актуальність цих розробок свідчить значна кількість посилань на його роботи в провідних наукових виданнях світу.

У лютому 1972 року Валентин Петрович стає проктором з навчальної роботи Одеського технологічного інституту холодильної промисловості, а з вересня 1973 року – ректором інституту, зберігаючи керівництво кафедрою. На посаді ректора Алексєєв Валентин Петрович працював протягом 11 років.

У 1975 році Валентин Петрович організував два нових факультети – криогенної техніки та кондиціонування повітря. Були відкриті нові спеціальності «Криогенна техніка» і «Холодильні та компресорні машини і установки». Були організовані навчально-науково-виробничі об'єднання спільно з провідними підприємствами, такими як «Кислородмаш», «Холодмаш» і «Шторм», що забезпечило високопрофесійну практику та значно підвищило інженерну підготовку фахівців.

Під керівництвом В.П. Алексєєва були захищені 25 кандидатських і 7 докторських дисертацій, практично кожна з яких стала основою нового наукового напрямку не тільки в області холодильної та криогенної техніки, а й нових найсучасніших робіт в області альтернативних холодильних і криогенних систем.

Валентин Петрович гідно представляв науку своєї країни в НДР та Індії (1974 рік), на XIII Міжнародному Конгресі з холоду в США в 1971 році, XV Міжнародному Конгресі з холоду в Італії в 1979 році, а також багато років працював у складі директорів Міжнародного інституту холоду (Франція, Париж) і в ЮНЕСКО.

За величезні наукові досягнення у 1979 році Валентин Петрович Алексєєв отримав почесне звання Заслуженого діяча науки.

Валентин Петрович Алексєєв пішов з життя 4 квітня 1989 року, залишивши глибокий слід в історії інституту та добру пам'ять у серцях колег, учнів і друзів.

# ХОЛОДИЛЬНА АСОЦІАЦІЯ УКРАЇНИ

ГРОМАДСЬКА  
СПІЛКА

**Шановні колеги та науковці!**  
**Громадська Спілка «Холодильна асоціація України»**  
**Вітає Вас з наближенням святкування на міжнародному**  
**рівні нашого професійного свята –**  
**Всесвітнього Дня Охолодження «World Refrigeration Day» (WRD),**  
**що планується визначати щорічно,**  
**26 червня (26 червня 1824 року – День народження лорда Кельвіна,**  
**ім'ям якого визначається один з показників температури)**  
**яке підтримується усіма провідними асоціаціями холодильщиків**  
**багатьох країн світу та Європи!!!**

Наша асоціація створена наприкінці 2017 року та наразі об'єднує перш за все юридичних осіб, що працюють у галузі промислового, комерційного холоду та холодильних технологій! Нашими членами асоціації та їх підприємствами надаються робочі місця більш ніж 2500 тисячам працівників, сплачуються мільйонні податки до бюджету країни та її областей, ми працюємо як в межах країни, так і на експортні ринки послуг та постачання обладнання вітчизняного виробництва. Все про нас можна бачити тут: [www.ref.org.ua](http://www.ref.org.ua)

Ми відкриті до співпраці як з підприємствами, так і з малим бізнесом, навчальними закладами професійної фахової освіти, що викладають дисципліни з холодильних технологій!

Головною метою нашої Асоціації є об'єднання у правовому та інформаційному полі компаній та підприємств, фізичних осіб діючих у галузі холодозабезпечення України, а також сприяння членам Спілки – виробникам, інжиніринговим та інсталяційним компаніям, продавцям, імпортерам та експортерам сучасного холодильного устаткування задля досягнення наступних цілей:

- розвиток холодильної галузі в Україні та сприяння виведенню вітчизняних виробників та компаній на міжнародний ринок обладнання, технологій та послуг;
- робота із законодавчими та державними органами влади України з розробки та впровадження міжнародних (Монреальського, Кіотського протоколів та ін.) та українських законодавчих актів з питань їх виконання по речовинах, що руйнують озоновий шар та впливають на глобальні зміни клімату, імплементації європейських нормативних актів та стандартів щодо функціонування вітчизняної галузі холодозабезпечення та підготовки її до функціонування за європейськими стандартами якості з урахуванням пропозицій та безпеки членів Спілки;
- представництво інтересів членів Спілки у відносинах з органами державної влади, органами місцевого самоврядування, їх посадовими і службовими особами, сприяння якнайшвидшому впровадженню єдиних стандартів якості та застосуванню сучасного холодильного устаткування, модернізації нормативно-правових актів, які містять обов'язкові вимоги у промисловій, торговій, побутовій сферах.
- захист та підтримка інтересів членів Спілки у питаннях співпраці з державними органами, забезпечення безпечного та ефективного функціонування, здійснення підприємницької діяльності членами Спілки у конкурентному середовищі, вирішення та урегулювання спірних і конфліктних питань між членами Спілки;
- системна робота із закладами професійної освіти з питань її вдосконалення відповідно найкращих європейських стандартів та з питань спільної підготовки якісних кваліфікованих кадрів для галузі, їх сертифікації і підвищення кваліфікації;
- участь членів Спілки у міжнародних освітніх, технологічних та інноваційних проектах, які забезпечують досягнення цілей Спілки.

Пропонуємо Вам взяти участь у безкоштовному вебінарі, присвяченому цій події, що відбудеться 26 червня 2019 року з 9 до 10-30 за східноєвропейським часом. Реєстрація тут:

<https://register.gotowebinar.com/register/8929574132452185347>

**ЗАПРОШУЄМО ДО СПІВПРАЦІ ТА СПІЛЬНИХ ПРОЕКТІВ!!!**  
**З повагою, Голова Правління ГС «Холодильна асоціація України»**



**Сергій Анашкін**