

## ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації  
Пустового Григорія Миколайовича

На тему «Енергоефективний комплекс компресорного чілера з адсорбційним  
холодильним модулем», що подана на здобуття ступеня доктора філософії за  
спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія»

**Актуальність та перспективність.** Міжнародний інститут холодильного обладнання в Парижі оцінив, що приблизно 18% всієї виробленої в усьому світі електроенергії використовується холодильними системами. Холод є невід'ємною частиною життя сучасної людини. Холодильне обладнання активно використовується в різних галузях промисловості для зберігання та створення продукції. Холод це важлива частина багатьох технологічних процесів. Сучасна людина вже не може уявити життя без холодильного обладнання, яке створює сприятливі умови для життя та розвитку промисловості. Зараз холод є обов'язковою частиною побутового та промислового життя людини. Велика кількість товарів харчування виробляється завдяки холоду, а ще більша кількість після виготовлення потребує ретельного зберігання при відповідному температурному та вологісному режимах.

У промисловості холод використовують для створення продукції та охолодження технологічних систем. Важливість та необхідність холодильного обладнання у сучасному житті незаперечна. Але парові холодильні цикли охолодження споживають велику кількість енергії високої якості, що значно збільшує споживання первинних енергоресурсів. А ще більше це важливо під час війни і скрутної ситуації с електромережами України. Але неможлива відмовитись від холоду, тому треба зробити так, щоб холодильні систему споживали мінімальну кількість електроенергії. Тому для розгрузки класичних систем енергопостачання необхідно використовувати альтернативні джерела енергії. Нажаль альтернативні джерела енергії не можуть повністю забезпечити необхідну кількість енергії для роботи холодильних систем. Тому необхідно вдосконалити класичну холодильну систему та збільшити її енергоефективність і холодопродуктивність. Існує багато сучасних способів підвищення енергоефективності холодильної системи, але всі вони

мають свої переваги і недоліки. Одним з популярніших способів підвищення енергоефективності холодильної системи є зменшення температури конденсації і навколишнього середовища. Для цього використовують адіабатичні конденсатори та водяні градирні. Але у таких систем є свої недоліки, що впливають на вартість і роботу всієї холодильної системи. Основними недоліками адіабатичних систем є: висока вартість, габаритні розміри, специфіка обслуговування, постійні втрати води високої якості, необхідність встановлення додаткової системи водопідготовки. А з іншого боку існують адсорбційні холодильні установки, так звані сонячні адсорбційні холодильники. Дані пристрої включають адсорбер, конденсатор і розміщений біля холодильної камери випарник. Ці системи сприяють значній економії первинної енергії в порівнянні зі звичайними механічними системами охолодження з паровим стисненням і мають більш простий контроль, відсутність вібрації, відсутність шуму, більш низькі експлуатаційні витрати, зниження впливу на навколишнє середовище.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дослідження, що подаються, виконувалися відповідно до держбюджетної тематики науково-дослідних робіт «Розробка технологій створення та експлуатації нанокompозитних сорбентів «силікагель-кристалогідрат» для адсорбційних перетворювачів низькопотенційної теплової енергії» (№ держ. реєстрації 0109U000400) та «Енергетичні комплекси поглинання та акумулювання сонячної енергії на основі полімерних колекторів та полімер-неорганічних теплоакуючих матеріалів" (№ держреєстрації 0116U001489)», «Дослідження процесів виробництва та використання енергії з метою підвищення їх ефективності» (№ держреєстрації 0119U002313), «Підвищення ефективності використання енергоресурсів у теплових системах» (№ держреєстрації 0111U008142).

#### **Наукова новизна отриманих результатів.**

У дисертаційній праці проведено комплекс теоретичних розробок та експериментальних досліджень, направлених на розвиток наукових основ створення енергоефективного комплексу компресорно-конденсаторного холодильного обладнання з адсорбційним холодильним модулем.

1. Проаналізовано основні залежності експлуатації адсорбційного холодильного модуля з паровою компресорною холодильною установкою для зменшення температури та тиску конденсації. На основі отриманих залежностей розроблено та науково обґрунтовано новий метод зменшення температури та тиску конденсації в компресорно-конденсаторних установках. Використання запропонованого методу дозволить підвищити енергоефективність холодильного обладнання.

2. Отримали подальший розвиток основні вимоги до робочої пари адсорбційного холодильного модуля. На основі отриманих вимог розроблено комплексний метод визначення раціонального використання різних типів робочої пари адсорбента і адсорбата в залежності від типу та призначення холодильного обладнання.

3. Встановлені основні фактори, що впливають на ефективність роботи холодильної системи з адсорбційним холодильним модулем. На основі отриманих факторів холодопродуктивності і інтенсивності процесу адсорбції, розроблено комплексний метод визначення впливу адсорбційного холодильного модуля на енергоефективність холодильної системи.

4. Визначені залежності холодопродуктивності адсорбційного холодильного модуля до маси адсорбента і адсорбата. На основі отриманих результатів розроблено новий метод визначення кількості адсорбента і адсорбата в залежності від холодопродуктивності адсорбційного холодильного модуля.

5. Отримані залежності коефіцієнта продуктивності (COP) холодильної системи від холодопродуктивності адсорбційного холодильного модуля. Завдяки отриманим залежностям створено метод визначення коефіцієнта продуктивності холодильної системи в залежності від холодопродуктивності адсорбційного холодильного модуля.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

Результати наукової роботи використані для розробки і впровадження енергоефективного комплексу компресорної холодильної установки з адсорбційним охолоджувальним модулем в промислову систему холодозабезпечення для зберігання продуктів харчування (ТОВ «ГРІНКУЛ»).

Отримали подальший розвиток методи підвищення енергоефективності і холодопродуктивності парової компресорної холодильної установки.

Отримала подальший розвиток методика розрахунку та підбору адсорбційного охолоджувального модуля для класичної компресорної холодильної установки.

Розроблений адсорбційний холодильний модуль, що підвищує енергоефективність та холодопродуктивність класичної компресорної холодильної установки.

Розроблена схема утилізації тепла від адсорбційного охолоджувального модуля, що дає можливість використовувати тепло адсорбції для технологічних потреб, а саме для відтаювання повітроохолоджувачів та випарників, що входять до складу холодильної системи.

Розроблені пристрої були випробуванні на промисловому виробництві компресорно-конденсаторних систем холодозабезпечення компанії (ТОВ «ЄВРОКУЛ»).

Визначено режими експлуатації адсорбційного охолоджувального модуля в умовах компресорно-конденсаторної холодильної установки.

Результати роботи можуть бути використані при розробці теплообмінного обладнання для промислових потреб холодозабезпечення, вентиляції і опалення.

#### **Особистий внесок здобувача.**

Розробка та виконання експериментальної частини роботи, аналіз отриманих результатів, корегування існуючих конструкцій та методик розрахунку адсорбційного холодильного модуля для охолодження повітряного конденсатора виконано безпосередньо здобувачем.

Планування роботи було розроблено спільно з науковим керівником, кандидатом технічних наук, професором М.П.Сухим

Розробка конструкції адсорбційного холодильного модуля, виконано за участю співробітників кафедри енергетики – к.т.н., доцент О.А.Беляновська, к.т.н. Е.В. Коломиєц.

Створена методика розрахунку та підбору адсорбційного холодильного модуля для класичної компресорної холодильної установки виконано з к.т.н., доцент О.А.Беляновською, к.т.н., професором М.П.Сухим.

Аналіз процесів експлуатації адсорбційного холодильного модуля парової компресорної холодильної установки розроблено з к.т.н., доцент О.А.Беляновською

### **Повнота викладення матеріалу дисертації в наукових публікаціях.**

Зміст роботи викладено в 8 наукових працях, в тому числі: 7 статей у фахових виданнях та 1 стаття, що входить до міжнародних науково-метричних баз даних Web of Science; 6 тезах доповідей на міжнародних наукових конференціях.

### **Список опублікованих праць за темою дисертації**

1. О.А. Беляновська, **Г.М. Пустовой**, М.П. Сухий, К.М. Сухий, Р.Д. Литовченко. Performance Evaluation Of Adsorptive Refrigerators Based On Composite Adsorbents" Silica Gel–Sodium Sulphate" And" Silica Gel–Sodium Acetate"// Scientific Works. – 2019. - №2. – P. 96-101. DOI: <https://doi.org/10.15673/swonaft.v2i83.1514> (Аналіз експериментальних та розрахункових даних роботи)

2. Elena A Belyanovskaya, **Grigoriy N Pustovoy**, Kostyntyn M Sukhyy, Yana O Sergiyenko, Oleksandr O Yeromin, Elena M Prokopenko, Mikhailo V Gubinskyi, Ján Kizek, Ladislav Lukáč. Adsorptive Solar Refrigerators Based on Composite Adsorbents' Silica Gel–Sodium Sulphate' // Civil and Environmental Engineering Reports. – 2019. - №3. – P. 200-208. DOI: <https://doi.org/10.2478/ceer-2019-0035> (Web of Science) (Розробка конструкції адсорбційного холодильника)

3. Е.А Беляновская, **Г.М Пустовой**, К.М Сухой, Е.В Коломиец, М.П Сухой. «Адсорбционные холодильные установки на основе композитных адсорбентов». // Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – 2018. - №39. – С. 94-98. <https://bit.ly/3LoFqGW> (Встановлення основних вимог до композитних адсорбентів)

4. О.А. Беляновська, **Г.М. Пустовой**, К.М. Сухий, М.В. Губинський, М.П. Сухий, О.В. Дорошенко, Я.О. Сергієнко. Експлуатація адсорбційних холодильних установок на основі композитів «силікагель–натрій сульфат» для зберігання сільськогосподарської продукції. // Холодильна техніка татехнологія. 2019. - №3. – P.

165-171. DOI: <https://doi.org/10.15673/ret.v55i3.1574> (*Розрахунок холодильного коефіцієнту циклу і експлуатаційного коефіцієнту на основі композитного сорбенту «силікагель – натрій сульфат»*)

5. Elena A Belyanovskaya, **Grigoriy N Pustovoy**, Yana O Sergiyenko, Kostyntyntyn M Sukhyu, Oleksandr O Yeromin, Elena M Prokopenko, Mikhailo V Gubinskyi, Ján Kizek. Performance of the Adsorptive Solar Refrigerators Based on Composite Adsorbents' Silica Gel–Sodium Sulphate' // *Advances in Thermal Processes and Energy Transformation*. – 2019. - №2. P. 19-23. <https://bit.ly/44RmYh5> (*Обґрунтування основних вимог до адсорбентів та адсорбатів для адсорбційних систем*)

6. О.А. Бебяновська, О.І. Скляренко, К.М. Сухий, **Г.М. Пустовой**, М.П. Сухий, О.М. Прокопенко, О.О. Єрьомін. Утилізація низько-потенційної теплової енергії при експлуатації парової компресорної холодильної установки. // Таврійський Національний Університет, м. Київ, Видавничий дім «Гельветика». - 2022. - №1. – С. 6. <https://bit.ly/48ca9B5> (*Розробка принципіальної схеми утилізації тепла від парової компресорної холодильної установки*)

7. **Г.М. Пустовой**, І.В. Суха, О.І. Скляренко. «Експлуатаційні Характеристики Адсорбційного Холодильного Модуля Парової Компресійної Холодильної Установки» // *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. – 2020. - Том 31 (70). №4. – С. 136-140. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.4/19> (*Встановлення закономірностей експлуатації адсорбційного холодильного модуля парової компресійної холодильної установки*)

8. О.А. Бебяновська, **Г.М. Пустовой**, К.М. Сухий, М.П. Сухий, Єрьомін О.О., Фролова Л.А. Критерії підбору робочих пар для адсорбційних холодильних пристроїв // *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. – 2019. - Том 31 (70). №2. – С. 46. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/23> (*Порівняння робочих пар для адсорбційних холодильних пристроїв*)

#### **Апробація результатів дисертації.**

Результати було представлено на вітчизняних та міжнародних наукових конференціях:

1. Композитні матеріали для адсорбційних холодильних геліоустановок // Збірник праць XVII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (Одеса, 3 – 8 вересня 2018 р.). – Одеса: ОНАХТ, 2018 – С. 106 – 110;

2. Polymer-Inorganic Nano-Dispersed Composite Materials for Adsorptive Solar Refrigerators // Тези доповідей XIV Української конференції з високомолекулярних сполук, Київ, Україна, 15-18 жовтня 2018. – С. 285 – 287.;

3. Полімер-неорганічні нанодисперсні композитні матеріали для адсорбційних холодильних геліоустановок // Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів ТАСХ-2020: Матеріали IV Всеукраїнської наукової конференції, 10 квітня 2020 р., м. Дніпро. – Дніпро: “Середняк Т.К.”, 2020. – С. 44 – 45;

4. Performance of Adsorptive Chilling Unit of Vapor Compression Refrigerator // The 1st International scientific and practical conference “The world of science and innovation” (August 19-21, 2020) Cognum Publishing House, London, United Kingdom. 2020. – P. 14 -20.;

5. Performance of Adsorptive Solar Chillers Based on Polymer-Inorganic Nanodisperse Composite Adsorbents // The 8 th International scientific and practical conference —Eurasian scientific congress (August 9-11, 2020) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2020. – P. 120 – 124.

6. «Эксплуатация адсорбционного модуля паровой компрессорной холодильной установки» // Збірник Наукових Праць Одеської Національної Академії – 2020. - №3. – С. 105-106.

## ВИСНОВОК

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Пустового Г.М. «Енергоефективний комплекс компресорного чілера з адсорбційним холодильним модулем», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам п.п., 5-8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44, та відповідає напряму наукових досліджень освітньо-наукової програми 161 – Хімічні технології та інженерії.

### РЕКОМЕНДУВАТИ:

Дисертаційну роботу «Енергоефективний комплекс компресорного чілера з адсорбційним холодильним модулем», подану Пустовим Г.М., на здобуття ступеня доктора філософії, до захисту. Результати дисертаційного дослідження обговорено і схвалено на засіданні фахового семінару кафедри теплоенергетики.

Протокол від 25.10.2023 номер протоколу 3.

**Головуючий на засіданні**  
кандидат хімічних наук, доцент

Станіслав КОВАЛЬОВ



Підпис засвідчую:  
Вчений секретар ДВНЗ  
"Український державний  
хіміко-технологічний університет"

Лариса Рудницька