

В І Д Г У К

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора,
професора кафедри «Теплогазопостачання і вентиляція»
Національного університету «Львівська політехніка»

Возняка Ореста Тарасовича

на дисертаційну роботу Євдокименка Юрія Миколайовича

на тему: «**Енергоощадна система кондиціонування повітря з напівпроникною мембраною приміщень для зберігання насіння родини гарбузових**»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

В сучасних економічних умовах в Україні, забезпечення ефективного використання енергоресурсів стає основним завданням при проектуванні та розробленні енергоперетворювальних систем.

Системи кондиціонування повітря (СКП) різного призначення споживають енергоресурси в обсязі, який закладено в проектних рішеннях і які в свою чергу відповідають нормативам для створення та підтримки відповідних комфортних або технологічних параметрів повітря. Для забезпечення цих параметрів здійснюються такі основні термодинамічні процеси як охолодження, нагрівання, зволоження та осушення повітря. Вказані процеси постійно удосконалюються з метою підвищення ефективності й одночасного зменшення енергоспоживання.

Для приміщення зберігання насіння гарбуза існують, визначені технологічним регламентом умови, які повинні бути забезпечені впродовж всього періоду зберігання. Як відомо, для підтримання відносної вологості в приміщеннях застосовують методи конденсаційного або адсорбційного осушення повітря. Для конденсаційного способу характерні значні витрати енергії для переохолодження повітря нижче точки роси й наступного нагрівання до параметрів припливу. Крім того при переохолодженні нижче 5 °С відбувається обмерзання теплообмінника і система функціонує в циклічному режимі. Системи адсорбційного осушення, потребують постійної регенерації адсорбенту, що пов'язано з підведенням додаткової енергії, а також енерговитрат при сухому охолодженні повітря до параметрів припливного повітря (54 кДж/кг оброблюваного повітря).

Для підвищення енергоощадності вибір способу обробки повітря для досягнення необхідних умов зберігання продукції необхідно проводити з використанням методів порівняння ексергетичних ККД.

Поряд з цим експлуатаційні витрати, СКП які працюють для підтримання встановлених параметрів повітря для належного перебігання технологічного процесу або підтримання сприятливих умов зберігання продукції певного виду впливають на вартість такої продукції. Отже, при оцінці та порівнянні різних схем систем кондиціонування повітря мають враховуватись не тільки термодинамічні показники, а й витрати від перетворення енергії певного виду.

Таким чином, енергоощадність СКП будівель і споруд є актуальним завданням, вирішення якого дає можливість оптимізації систем за показниками енергоспоживання.

2. Наукова новизна.

Наукова новизна полягає в теоретичному обґрунтуванні процесу ізотермічного, мембранного осушення повітря для СКП приміщень для зберігання насіння родини гарбузових. При цьому:

1. Вперше:

- розроблено фізичну модель процесу осушення повітря при русі його вздовж поверхні мембрани, яку описано запропонованою системою диференціальних рівнянь;
- науково обґрунтовано потокові діаграми складових ексергії вологого повітря при обробленні його в секціях систем кондиціонування повітря приміщень для зберігання насіння родини гарбузових;
- отримано експериментальну залежність зменшення вологовмісту повітряного потоку по довжині мембранного модуля при обробленні повітря в секції мембранного осушення.

2. Набуло подальшого розвитку:

- наукове обґрунтування та поглиблення методики ексергоекономічного аналізу для систем кондиціонування повітря приміщення для зберігання насіння родини гарбузових;

3. Обґрунтованість і достовірність наукових висновків.

Вірогідність отриманих наукових результатів зумовлена використанням фундаментальних законів проникнення парів вологи через ПВХ мембрани і підтверджена порівнянням з відомими теоретичними та експериментальними даними, а також з даними авторських дослідів, які виконані з застосуванням сучасних методів виконання та оброблення гідроаеродинамічного експерименту, теорії ймовірності та математичної статистики.

4. Практична цінність роботи.

В результаті експериментальних та теоретичних досліджень розроблено схему, яка дає змогу підвищити енергоощадність та експлуатаційну надійність системи кондиціонування повітря приміщення для зберігання насіння родини гарбузових, з застосуванням ізотермічного, мембранного способу осушення повітря.

5. Повнота викладення здобувачем основних результатів.

Матеріали дисертаційної роботи повністю викладено у 11 друкованих наукових працях, зокрема у 9 фахових виданнях України, 2 в іноземних виданнях, в т.ч. 1 стаття в іноземних виданнях наукометричних базах даних.

6. Персональний внесок дисертанта в роботі:

У дисертаційній роботі теоретичні результати застосування в СКП ізотермічного мембранного осушення повітря отримано здобувачем самостійно. Автором проведено аналіз стану науково-технічної проблеми, розроблено теоретичні основи мембранного осушення повітря, на її підставі створено фізичну модель, проведені ексергоекономічні порівняльні розрахунки СКП з різними способами осушення повітря, експериментально підтверджено окремі теоретичні результати за нестачі літературних даних, розроблено схему модернізації СКП приміщення для зберігання насіння гарбуза, за адресою с. Голодьки, вінницької обл. з застосуванням мембранного способу осушення повітря.

7. Оцінка мови, стиль та оформлення дисертації й автореферату.

Дисертаційна робота має вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 108 найменувань та додатків. Робота викладена на 181 сторінках, серед яких 150 сторінок основного тексту, містить 54 рисунки і 4 таблиці.

Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і експериментальних досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їхнього сприйняття. Оформлення дисертації відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України.

8. Відповідність тексту автореферату й дисертації.

Текст автореферату відповідає структурі, змісту та основним положенням, наведеним в дисертації.

9. Аналіз основного змісту роботи.

Всі розділи дисертаційної роботи змістовно підпорядковані меті дослідження та логічно взаємопов'язані. Дисертація та автореферат цілком відповідають паспорту спеціальності 05.23.03 - вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету та завдання досліджень, викладено наукову новизну та практичну цінність роботи, особистий внесок автора, відомості про апробацію досліджень та публікації.

У **першому розділі** проаналізовано та узагальнено сучасний стан проблеми застосування систем кондиціонування повітря (далі СКП) з конденсаційним та адсорбційним осушенням повітря для зберігання насіння

родини гарбузових в регламентованих умовах. Зазначено місце систем кондиціонування повітря в вирішенні задачі створення та підтримання належних умов зберігання насіння родини гарбузових. Розглянуті можливі способи осушення повітря в теплий період року при підготовці та підтриманні необхідних параметрів внутрішнього повітря в приміщеннях для зберігання насіння гарбуза. Проаналізовано сучасні роботи, присвячені вирішенню задачі зниження енергоспоживання СКП в процесі осушення повітря. Серед них заслуговує уваги робота вітчизняного автора Алі Ісса - УРСР, в якій запропоновано застосування комбінації непрямого випарного охолодження та адсорбційного осушення повітря для зниження енерговитрат в процесі підготовки повітря, а також роботи Hua Liu, Yi Jiang – Китай, присвячені розробці способу зменшення витрат ексергії в процесі адсорбційного осушення повітря.

У другому розділі розкрито основні теоретичні положення поглибленого ексергетичного та ексергоекономічного порівняльного аналізу, який розроблений на кафедрі теплогазопостачання Київського національного університету будівництва та архітектури к. т. н., доцентом Задоянним О.В. за участі автора дисертації Євдокименко Ю.М., для аналізу ексергетичної ефективності систем кондиціонування повітря, який враховує аналіз окремо кожної із складових ексергії вологого повітря - термічної, вологісної та механічної. Автор виконав аналіз робіт, в яких розкриваються теоретичні основи ексергетичного методу оцінки СКП, зокрема вказано що значний внесок у розвиток теоретичних напрацювань та практичних методів оцінки зробили такі вчені: В.М. Бродянский, А.А. Долинский, Морозюк Т.В., Тсатсароніс Дж., Драганов Б.Х., Лозано М.А., Б.С. Сажин та ін. Наведені основи теорії ексергоекономіки як дієвого інструменту у визначенні та порівнянні ексергетичної вартості та енергоощадності різних схем СКП. Представлені потокові ексергетичні діаграми та результати порівняльного ексергоекономічного аналізу СКП з конденсаційним, адсорбційним та мембранним способами осушення повітря.

У третьому розділі представлено результати експериментальних досліджень процесу осушення повітря на напівпроникній пористій ПВХ мембрані. Зокрема за результатами розрахунків представлено уточнену математичну модель зменшення вологи при русі повітря вздовж мембранного модуля обробки повітря. Представлено критеріальну експериментальну залежність фактичного темпу осушення повітря на напівпроникній мембрані для СКП приміщення зберігання насіння гарбузу.

У четвертому розділі розглянуто прикладні задачі застосування ізотермічного осушення повітря в СКП для приміщення зберігання насіння гарбуза. На основі експериментальної фізичної моделі осушення повітря в мембранній секції, розглянуто методіку інженерного розрахунку СКП з комбінованим конденсаційним та мембранним осушенням повітря. Запропонована методіка дозволяє розрахувати на і-d діаграмі процеси обробки повітря в СКП з ізотермічним мембранним осушенням повітря. Розглянуто впровадження схеми СКП з комбінованим конденсаційним та мембранним осушенням повітря, для модернізації існуючої СКП на прикладі приміщення зберігання насіння гарбуза в с. Голодьки Вінницької обл. Наведено результати техніко-економічного порівняння накопичення ексергетичної вартості в

процесі оброблення повітря існуючої СКП з конденсаційним осушенням повітря та запропонованої схеми з комбінованим мембранним осушенням повітря. Отримано суттєве заощадження холоду, теплоти, а також електроенергії на оброблення повітря.

10. В роботі заслуговує уваги:

1. Зв'язок з науковими програмами, планами, темами.
2. Зв'язок з роботами попередніх дослідників.
3. Використання припущень та спрощень.
4. Деякі результати досліджень отримано вперше.
5. Опубліковано 11 наукових праць.
6. Апробація результатів дисертації на науково-технічних конференціях.

11. Зауваження до дисертації

1. Відсутність певних речей для підсилення роботи: це стосується патентів, статей у НМБД Scopus та Web of Science. Крім того, бажаним було б планування багатофакторного експерименту та регресійний аналіз. На с.13 та с.16 авто-реферату стверджується: «Отримано рівняння регресії», слід було його навести.

2. Певні твердження потребують додаткових пояснень, зокрема:

- фізичний зміст величини $C_{i.e.w.q}$ – ексергетична вартість УАН/с, с.85;
- на с.86 стверджується: «баланс вартості k-го компонента показує, що сума вартостей всіх вхідних потоків ексергії (УАН/с), капітальних затрат (УАН) та витрат на обслуговування та ремонт (УАН/рік) дорівнюють сумі вартостей всіх перетворень ексергії в системі за виключенням витрат, пов'язаних з транспортом ексергії в системі», але доданки мають різні розмірності (вказано в дужках);
- на с.116 стверджується: «до вхідних параметрів досліджуваної системи відносяться... (перелік 5 величин)...» «до вихідних параметрів відносяться... (перелік 3 величин)...»: слід пояснити різницю в поняттях вхідні та вихідні параметри, а також причину відсутності загальноприйнятого терміну «визначальні фактори»;
- на с.129 стверджується: «за рівнянням (3.12) побудована графічна залежність»: слід пояснити таку необхідність, оскільки зазвичай апроксимаційну формулу отримують на підставі побудованого графіка;
- на с.182 наведено назву «Акти впровадження», а є лише 1 Акт.

3. Наявність некоректностей, зокрема:

- рівняння (2.36) (с.88) являє собою суму величин з різними розмірностями, а саме вартості капітальних затрат УАН та вартості експлуатації і обслуговування УАН/рік;
- на с.39, с.41 наведено некоректні розмірності величин: $\text{кДж/кг}^\circ\text{C}$ та кДж/кг K , слід було в обох випадках вказати кДж/(кг K) та обов'язково у дужках; крім цього $\text{Вт/м}^2\text{K}$ необхідно взяти в дужки $\text{Вт/(м}^2\text{K)}$ (с.39);

- на с.56 та с.57 наведено проміжки відповідно 100...200 Па та 10...12 °С, слід було вказати відповідно 100 – 200 Па та 10 – 12 °С з дотриманням належних розділових знаків;
- розмірність величин вказано не в системі СІ: G_n – витрата повітря, кг/год (с.53), кількість обертів 8-20 об/год. (с.57), паропропускна спроможність Q мг/(м²·24год·Па) (с.63), 1300 г / м.кв / 24 годину (с.64) прописом;
- на с.7 автореферату стверджується: «в підрозділі 2.3 представлені основні положення запропонованої нами методики», слід було вилучити слово «нами».

4. Наявність протиріччя: на с.76 наведено баланс матеріальних потоків та баланс енергетичних потоків у вигляді рівності 0 (рівняння (2.1) та (2.2)) проте баланс ексергетичних потоків у іншому вигляді (рівняння (2.3)).

5. В економічній частині необхідно було навести річний економічний ефект та термін окупності.

6. Наявність нераціональних вирішень, зокрема: на с.76 ексергетичний потік вказано у кДж/с замість Вт; на с.77 механічну складову ексергії потоку вологого повітря вказано у Дж/с замість Вт; на с.106, у табл.2.1 вказано питому вартість $5,05 \times 10^{-3}$ грн/кг замість 1,56 грн/1000кг як на с.109.

7. Редакційно-стилістичні зауваження щодо помилкових виразів, слів, букв, розділових знаків, дужок, індексів, тощо, зокрема:

- помилкові індекси: «складає 89 м3/(год·м²)» (с.5), « t_2 – температура повітря» (с.53), «ємкість одного силосу 360 м3» (с.32), 3-6 кг м2/с (с.46);
- стилістика виразів: «схема системи кондиціонування такого типу наведена на» (с.48), слід було «**схему** системи кондиціонування такого типу **наведено на**»; «в 2 рази менше» (с.104) – **удвічі**; «полінома другої степені» (с.128) – **другого степеня**;
- помилкова буква: «насіння гарбузу» (с.73) – **гарбуза**, «сумарній» (с.101, с.103) – **сумарний**, «вінницької обл» (с.162) – «**Вінницької обл**», «розрахункові данні» (с.176) – **розрахункові дані**, «півня фактора» (с.178) – **рівня фактора**; «представленні основні положення» (с.7 автореферату) – **представлені основні положення**;
- пропущене слово: «in-depth exergy analysis» (с.20 автореферату) – «in-depth exergy **economic** analysis».

ВИСНОВОК

Зроблені зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Євдокименка Юрія Миколайовича «Енергоощадна система кондиціонування повітря з напівпроникною мембраною приміщень для зберігання насіння родини гарбузових» є завершеною науковою роботою, що містить нові наукові положення, які вирішують важливу задачу зменшення енергоспоживання та підвищення експлуатаційної надійності системи

кондиціонування повітря приміщення для зберігання насіння гарбуза, із застосуванням мембранного способу осушення повітря.

Дисертація Євдокименка Ю. М. відповідає паспорту спеціальності 05.23.03 "Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання" і профілю Спеціалізованої вченої ради Д.26.056.07. Вона відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 року (зі змінами та доповненнями), які висуваються до кандидатських дисертацій, і може бути рекомендована до розгляду на засіданні спеціалізованої вченої ради щодо присудження наукового ступеня кандидата економічних наук за спеціальністю 05.23.03 - вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

З урахуванням обґрунтованості наукових положень та висновків, наведених у дисертації, наукової та практичної цінності отриманих автором наукових результатів, вважаю, що її автор, Євдокименко Юрій Миколайович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.03 "Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання".

Офіційний опонент,
Доктор технічних наук, професор,
Професор кафедри «Теплогазопостачання і вентиляції»
Національного університету «Львівська політехніка»

О.Т.Возняк

Підпис доктора технічних наук, професора,
професора кафедри «Теплогазопостачання і вентиляції»
Національного університету «Львівська політехніка»

О.Т.Возняка засвідчую:

Вчений секретар



Р.Б.Брилинський