

В І Д Г У К
офіційного опонента
кандидата технічних наук, доцента,
доцента кафедри теплотехніки та енергозбереження
Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
Суходуб Ірини Олегівни
на дисертаційну роботу Свдокименка 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

І. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

З огляду на економічну та екологічну ситуації в світі та Україні зокрема ефективного використання енергоресурсів є першочерговою задачею при проектуванні та розробленні систем забезпечення мікроклімату.

Енергоспоживання та експлуатаційні затрати на функціонування систем кондиціонування повітря (СКП) різного призначення напряму залежить від прийнятих та закладених технічних рішень під час етапу проектування та параметрів мікроклімату в приміщенні, які необхідно підтримувати з точки зору або забезпечення комфортних умов, або технологічних вимог. Обробка повітря в таких системах супроводжується термодинамічними процесами охолодження, нагрівання, зволоження та осушення повітря. Як раз для зменшення енергоспоживання і здійснюють постійне вдосконалення та оптимізацію цих процесів.

З точки зору технологічних вимог у приміщенні, що призначено для зберігання насіння гарбузу, повинні бути забезпечені відповідні умови (температура та відносна вологість) впродовж всього періоду зберігання цих культур. Зазвичай, для забезпечення тепловологісного режиму та підтримання визначеної відносної вологості в приміщеннях застосовують методи конденсаційного або адсорбційного осушення повітря. Кожен з цих методів має певні недоліки з точки розу енергозбереження.

Для конденсаційного способу характерні значні витрати енергії для переохолодження повітря нижче точки роси й наступного нагрівання до параметрів припливного повітря. Крім того при переохолодженні нижче 5 °С відбувається обмерзання теплообмінника і система функціонує в циклічному режимі з відтаюванням. Системи адсорбційного осушення, потребують постійної регенерації адсорбенту, що пов'язано з підведенням додаткової енергії, а також витрат енергії при подальшому охолодженні повітря до параметрів припливного повітря.

При проведенні аналізу систем, що можуть призвести до підвищення енергоефективності, доцільно використовувати методи порівняння ексергетичних ККД, так як такий аналіз дозволяє врахувати «якість» енергетичних ресурсів, що використовуються в системах

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 та вартості.

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

Робота виконана згідно з “Державною програмою підтримки енергоефективних проектів”, безпосередньо пов'язана з планами держбюджетної тематики київського національного університету будівництва і архітектури, які виконувалися на замовлення Міністерства освіти і науки України (№ держреєстрації 0116U000846).

Мета дослідження

Полягає в науковому обґрунтуванні зменшення енергоспоживання систем кондиціонування повітря приміщення для зберігання насіння гарбуза, з застосуванням мембранного способу осушення повітря.

Відповідно до поставленої мети досліджень здобувачем сформульовані наступні основні завдання:

- проведення літературного огляд та аналіз наявних даних щодо способів боротьби з обмерзанням теплообмінника в процесі конденсаційного осушення повітря приміщення для зберігання насіння гарбуза;
- розробка фізичної моделі процесу мембранного осушення повітря;
- проведення поглибленого ексергетичного порівняльного аналізу з використанням потокових діаграм для систем з конденсаційним, адсорбційним та ізотеричним мембранним осушенням повітря з визначенням ексергетичних показників ефективності;
- проведення ексергоекономічного порівняльного аналізу систем кондиціонування повітря з конденсаційним, адсорбційним та ізотеричним мембранним осушенням повітря з визначенням витрат ексергії в процесі обробки повітря;
- проведення експериментальних досліджень процесу мембранного осушення повітря з визначенням потенціалу осушення повітря на ПВХ мембрані, при заданих вхідних та вихідних параметрах процесу осушення повітря;
- проведення економічного порівняння систем кондиціонування повітря приміщення для зберігання насіння родини гарбузових з ізотеричним мембранним осушенням повітря методом поглибленого ексергоекономічного аналізу;
- розробка методики інженерного розрахунку систем кондиціонування повітря з мембранним осушенням приміщень для зберігання насіння гарбузу на основі проведеного аналізу, отриманих теоретичних та експериментальних даних.

Об'єкт дослідження

Система кондиціонування повітря приміщення для зберігання насіння гарбуза.

Предмет дослідження

Енергоощадне ізотермічне осушення повітря за допомогою напівпроникних ПВХ-мембран приміщення для зберігання насіння родини гарбузових.

Методи дослідження.

Порівняння ефективності перетворення енергії в функціональних блоках та перетворення підведеної ззовні енергії в систем кондиціонування повітря з різними способами осушення проводили методами поглибленого ексергетичного та ексергоекономічного аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів.

- 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;
- отримана експериментальна залежність зменшення вологовмісту повітряного потоку по довжині мембранного модуля при обробці повітря в секції мембранного осушення.
- наукове обґрунтування та поглиблення методики ексергоекономічного аналізу для систем кондиціонування повітря приміщення для зберігання насіння родини гарбузових.

Практичне значення одержаних результатів.

В результаті експериментальних та теоретичних досліджень розроблено схему, яка дозволяє підвищити енергоефективність та знизити експлуатаційні витрати системи кондиціонування повітря приміщення для зберігання насіння родини гарбузових, з застосуванням ізотермічного, мембранного способу осушення повітря в комбінації з конденсаційним методом.

Особистий внесок здобувача.

Безпосередньо здобувачем здійснено:

- інформаційний пошук та аналіз літературних даних за темою дисертації;
- розроблено фізичну модель ізотермічного осушення повітря;
- проведений порівняльний аналіз СКП з різними способами осушення повітря для приміщення зберігання насіння гарбуза, методом поглибленого ексергетичного та ексергоекономічного аналізу;
- проведено експериментальні дослідження процесу ізотермічного осушення повітря на напівпроникній синтетичній ПВХ мембрані;
- отримано експериментальну залежність для визначення ступеню осушення повітря від питомого повітряного навантаження;

- розроблено схему модернізації СКП приміщення для зберігання насіння гарбуза, за адресою с. Голодьки, Вінницької обл. з застосуванням мембранного способу осушення повітря.

Апробація результатів дисертації.

Основні результати досліджень та окремі розділи дисертації доповідались на науково-практичних конференціях Київського національного університету будівництва та архітектури різного рівня: на науково-практичній конференції молодих вчених (Україна, м. Київ, 2012-2020 рр.); на міжнародній науково-практичній конференції «Енергоінтеграція» (Україна, м. Київ, 2013 – 2018 рр.), на міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «БУД-МАЙСТЕР-КЛАС» (Україна, м. Київ, 2015-2016 рр.).

Мова та стиль роботи

Дисертаційна робота та автореферат написані грамотно. Стиль і виклад послідовний, логічний та відповідає вимогам до друкованих праць. Текст роботи повністю відтворює результати наукових досліджень. При викладенні тексту застосовується, в основному, сучасна наукова й лексична термінологія.

Публікації та автореферат

За матеріалами дисертації опубліковано 27 друкованих наукових праць, зокрема 6 статей в іноземних фахових виданнях у наукометричних базах даних, 19 – у фахових виданнях України, одержано 2 патенти України на винахід.

Автореферат дисертації за змістом і викладом відповідає дисертаційній роботі.

Структура і обсяг роботи

Дисертаційна робота викладена на 181 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 4 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 150 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 4 таблицями, 54 рисунками. Список використаних джерел містить 108 найменувань.

II. АНАЛІЗ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Загальна характеристика роботи

У вступі дисертаційної роботи приведено обґрунтування актуальності роботи, визначені мета та задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, наведені відомості про публікації автора за темою дисертації. Обсяг та форма вступу відповідають загальноприйнятим вимогам до кандидатських дисертацій та достатні для ознайомлення з вихідними передумовами й змістом положень, що виносяться автором на захист.

У першому розділі проаналізовано та узагальнено сучасний стан проблеми застосування систем кондиціонування повітря з конденсаційним та адсорбційним осушенням повітря для зберігання насіння родини гарбузових. Зазначено місце СКП 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 гарбузу. Також проаналізовані сучасні роботи присвячені вирішенню задачі зниження енергоспоживання СКП в процесі осушення повітря. Серед них відзначена робота вітчизняного автора Алі Ісса - УССР, 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. Основну увагу в даних роботах приділяють зниженню температури регенерації адсорбенту шляхом оптимізації процесів оброблення повітря в роторі адсорбційного осушення повітря.

Представлено теоретичний аналіз застосування мембранного методу осушення повітря в СКП. Представлена та проаналізована фізична модель руху водяних парів крізь напівпроникні, синтетичні ПВХ мембрани, а також модель осушення повітря в СКП при русі його вздовж мембранного модулю осушення повітря.

На основі теоретичного вивчення літературних джерел сформульовано завдання і напрямки досліджень та намічено шляхи вирішення поставлених задач.

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 (хімічної) та механічної.

Автором проаналізовано вклад визначних вчених в розвиток теорії ексергетичного та ексергоекономічного аналізу СКП, зокрема відзначено роботи: В.М. Бродянский; А.А. Долинский; Морозюк Т.В.; Театсароніс Дж.; Драганов Б.Х.; Лозано М.А.; Б.С. Сажин та ін. В роботах вказується на те, що для кожної досліджуваної окремої термодинамічної системи в багатьох випадках, при оцінці та оптимізації енергоощадності систем, необхідно враховувати не тільки коефіцієнти корисної дії, а і вартість спожитої чи виробленої енергії.

Автором в даному розділі дисертації наведені основні результати надрукованих наукових праць в яких розкриваються переваги застосування потокових ексергетичних діаграм для представлення та аналізу складових ексергії вологого

повітря в СКП при проходженні потоку повітря крізь функціональні секції СКП від повітрязабірної решітки до видалення повітря назовні.

Представлено залежності для визначення ексергетичної ефективності систем кондиціонування повітря на основі ексергетичних коефіцієнтів корисної дії (ЕККД).

На основі методу поглибленого ексергетичного аналізу та з застосуванням потокових ексергетичних діаграм проведені дослідження ексергетичної ефективності СКП з різними способами осушення повітря, а саме: механічне осушення (конденсаційний спосіб), адсорбційне осушення та комбіноване з використанням ізотермічного мембранного осушення повітря. Представлені діаграми складових ексергетичних потоків для теплого періоду року при обробці повітря в СКП з конденсаційним, адсорбційним та ізотермічним мембранним осушенням повітря. Наведені результати порівняльного, ексергоекономічного аналізу СКП з різними способами осушення для приміщення зберігання насіння гарбузу. Подані порівняльна графічна залежність накопичення ексергетичної вартості на 1000 кг повітря в процесі його обробки в СКП.

У третьому розділі проведені експериментальні дослідження процесу осушення повітря на напівпроникній пористій ПВХ мембрані. За результатами проведених досліджень представлена отримана апроксимована експериментальна залежність зміни вологовмісту повітря від питомого значення повітряного потоку на поверхню мембрани при сталому перепаді тиску на мембрані $\Delta P = 250$ Па. Отримано рівняння регресії для визначення питомої проникності мембрани Q_{pF} , $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Па})$ як функції від кількості вологи, що проходить через мембрану..

За результатами розрахунків представлена уточнена фізична модель зменшення кількості вологи при русі повітря вздовж мембранного модуля обробки повітря. Побудована порівняльна графічна залежність теоретичного та фактичного осушення повітря в секції мембранного модулю. Для врахування розбіжності теоретичних та експериментальних даних темпу осушення повітря в модулі мембранного осушення введено емпіричний коефіцієнт кореляції фізичної моделі осушення повітря на напівпроникній мембрані. Представлена критеріальна експериментальна залежність фактичного темпу осушення повітря на напівпроникній мембрані для СКП приміщення зберігання насіння гарбузу.

У четвертому розділі наведені результати прикладного застосування ізотермічного мембранного осушення повітря в СКП для приміщення зберігання насіння гарбузу. На основі експериментальної фізичної моделі осушення повітря в мембранній секції, представлено методику інженерного розрахунку СКП з комбінованим конденсаційним та мембранним осушенням повітря. Запропонована методика дозволяє розрахувати на i - d діаграмі процеси обробки повітря в СКП з ізотермічним мембранним осушенням повітря. Розглянуто принципи розрахунку та побудови модулів багатостадійного мембранного осушення повітря.

Представлено впровадження схеми СКП з комбінованим конденсаційним та мембранним осушенням повітря, для модернізації існуючої СКП на прикладі приміщення зберігання насіння гарбузу в с. Голодьки Вінницької обл. для забезпечення регламентованих умов зберігання насіння, а саме температури в межах $+10 \dots +12$ °C та відносної вологості не вище 60%.

На основі проведених розрахунків, автором запропонована та представлена конструкція мембранного модулю осушення повітря. Представлені результати проведеного техніко-економічного порівняння ексергетичної вартості в процесі

оброблення повітря існуючої СКП з конденсаційним осушенням повітря та запропонованої схеми з комбінованим мембранним осушенням повітря.

У висновках до роботи викладено отримані автором наукові й прикладні результати та перспективи їхнього використання.

III. ЗАГАЛЬНІ ЗАУВАЖЕННЯ І ПОБАЖАННЯ

1. У дисертації виявлено окремі друкарські помилки та неточності з вказанням розмірностей величин. Зокрема, слід звернути увагу на формули 2.15 (в знаменнику приведені позначення для втрат/деструкції ексергії, а в описі – витрат ексергії у вузлах 1 та 3), 2.19, 2.20, 2.22 (величини мають бути безрозмірні), 2.23-2.26 (у формулі та в описі під формулою вказані різні розмірності).
2. В дисертації доцільно було б обґрунтувати вибір параметрів зовнішнього повітря (температура та відносна вологість), для яких виконувався ексергетичний та ексергоекономічний аналіз. Висновки щодо ефективності систем можна було б також привести для показників осереднених за перехідний та теплий періоди року.
3. При проведенні поглибленого ексергетичного порівняльного аналізу варто було розписати ексергетичні баланси кожного з компонентів трьох систем обробки повітря і потім укрупнити до вузлів, до вказані на рис. 2.2. Це б дало краще розуміння, які саме потоки ексергії та втрати були враховані в аналізі.
4. З огляду на те, що на рис. 2.4 наведена можливість рециркуляції «відпрацьованого» повітря та такий режим роботи описаний в розділі 4 для реальної установки обробки повітря, доцільно було б також розглянути такий варіант при проведенні поглибленого ексергетичного порівняльного аналізу.
5. Виходячи з даних на діаграмах складових ексергетичних потоків для теплого періоду року при обробці повітря в СКП різного типу на рис. 2.6-2.8, не було враховано зміну термічної складової ексергії повітря в вентиляторах та хімічної (вологісної) складової на ділянці wz (приміщення, що обслуговується).

Зроблені зауваження не зменшують цінності основних наукових положень, висновків і рекомендацій, що захищаються дисертантом, і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

IV. ВИСНОВКИ ОПОНЕНТА

Дисертаційна робота Євдокименка Юрія Миколайовича є завершеним науковим дослідженням.

Сформульовані в роботі наукові положення, висновки і рекомендації достатньо обґрунтовані, в їхня достовірність і новизна не викликають сумніву.

Оформлення, стиль викладення матеріалу дисертаційної роботи доступний для сприйняття і відповідає сучасним вимогам до наукових праць.

Зміст автореферату повністю відповідає тексту дисертації, а основні наукові положення, що містяться в них, ідентичні.

Основні наукові положення, висновки та рекомендації роботи адекватно відображені в публікаціях автора у науково-технічних виданнях визначених Міністерством освіти і науки України. Матеріали дисертації були у достатній мірі представлені на конференціях державного та міжнародного рівня.

