

В І Д Г У К

офіційного опонента про дисертаційну роботу

Беляновської Олени Анатоліївни

за темою «РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ СТВОРЕННЯ

АДСОРБЦІЙНИХ ТЕПЛОТРАНСФОРМАТОРІВ ДЛЯ СИСТЕМ

ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ», що подана на здобуття

наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю

05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Ключевими проблемами енергетичних компаній по всьому світу є енергозбереження та скорочення викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище, що вимагає більш широкого використання відновлюваних та низькопотенційних енергоресурсів. Для вирішення проблеми гармонізації періодів споживання – виробництва теплової енергії актуальним є трансформація теплової енергії. Перспективним варіантом є адсорбційна трансформація теплової енергії, для якої характерним є висока теплота адсорбції, стабільність адсорбційних середовищ при багаторазовому циклюванні, а також можливість використання екологічно безпечних робочих речовин та адсорбентів. Тому тема дисертації Беляновської О.А. є актуальною. Вивчення рукопису та автореферату, а також враховуючи сучасні тенденції методів перетворення теплової енергії, дозволяють дійти висновку, що дисертаційна робота Беляновської О.А. присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми розробки науково-практичних основ адсорбційної трансформації теплової енергії для систем теплопостачання, вентиляції та кондиціонування на базі нових високоефективних адсорбційних матеріалів, підвищенню досконалості промислових технологічних процесів акумулювання та трансформації низькопотенційної теплової енергії

Аналіз науково-технічної, патентної літератури та сучасних уявлень про процеси адсорбційної трансформації, поглинання та акумулювання низькопотенційної теплової енергії дозволили автору фахово визначити мету, основні наукові завдання, об'єкт і предмет дослідження, а також напрями та методи дослідження. Поставлені в роботі наукові завдання доведені до кінцевого логічного розв'язку, а сама дисертація є завершеною науково-дослідною роботою та відповідає встановленим вимогам. Структура дисертації Беляновської О.А. складається зі вступу, 7 основних розділів, висновків, списку використаних джерел (259 найменування на 29 сторінках), а також додатків. Загальний обсяг дисертації становить 409 сторінок

друкованого тексту, містить 6 таблиць та 110 рисунків, 3 додатки на 50 сторінках.

Достовірність наукових положень та висновків дисертаційної роботи підтверджується даними апробації, упровадженнями у навчальний процес (2 акти впровадження) і виробництво (6 актів упровадження). Наукові положення, практичне значення та висновки дисертації логічно побудовані у контексті мети та поставлених завдань, теоретично обґрунтовані й захищені патентами (за результатами проведених досліджень оформлено 13 патентів України на корисну модель).

Про новизну результатів досліджень, їх практичну значимість та особистий внесок здобувача свідчать 83 друкованих праці: 4 монографії, в тому числі 1 видано в Євросоюзі та 1 в США (індексується в базі Scopus), 2 розділи в колективних монографіях, які видано в Євросоюзі, 43 статті в фахових виданнях, з яких 9 індексуються наукометричними базами Scopus та 1 Web of Science, 6 є періодичними виданнями інших країн, 21 тез доповідей в матеріалах міжнародних та українських конференцій, 13 патентів України на корисну модель.

Опубліковані праці повністю відображають основний зміст дисертаційної роботи та переважний вклад дисертанта.

Оцінка обґрунтованості наукових положень в дисертації, їх достовірності і новизни. Наукові положення, висновки, рекомендації, що сформульовані в дисертаційній роботі, теоретично обґрунтованими, а їх достовірність підтверджується результатами експериментальних, порівняльних досліджень, що мають теоретичне підґрунтя.

Тема дисертаційної роботи Беляновської О.А. пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки України згідно з п. 3 «Енергетика та енергоефективність» і п. 4 «Раціональне природокористування» статті 3 Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (зі змінами від 26.11.2015 р. (редакція від 16.01.2016 р.), а також знаходиться у контексті положень Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність».

Поставлені завдання у контексті сформульованої мети досягнуто та доведено до логічного завершення, що дозволило автору одержати дев'ять наукових результатів, які мають новизну. Авторкою задекларовано й трактуються наукові положення у такий спосіб:

1. Вперше системно проаналізовані основні фактори, які впливають на ефективність експлуатації адсорбційних трансформаторів теплової енергії на основі нових композитних сорбентів типу силікагель-кристалогідрат, а саме властивості джерел теплової енергії, характеристики обладнання, цільове призначення технології акумулювання та трансформації – опалення, гарячого водопостачання, вентиляції та кондиціонування повітря. На основі аналізу вхідних даних розроблено технології отримання адсорбентів з густиною запасання енергії на рівні 2,0-4,0 МДж/кг принцип дії яких полягає у виділенні енергії і за рахунок сорбції і за рахунок фазових переходів і за рахунок теплопереносу.

2. Порівняно ефективність експлуатації адсорбційних теплотрансформаторів при паровому та ультразвуковому зволоженні потоку повітря. Показано перспективність ультразвукового зволоження повітря, яке дозволяє знизити витрати на зволоження повітря більш ніж в 2 рази порівняно з паровим.

3. Вперше отримані залежності температурних параметрів термодинамічних циклів трансформації енергії з використанням композитних сорбентів типу силікагель-кристалогідрат, при яких забезпечується мінімізація енерговитрат з використанням розроблених матеріалів і технологій.

4. Встановлені основні вимоги до адсорбентів для трансформаторів теплової енергії в умовах експлуатації типових систем тепlopостачання та вентиляції, а саме температура регенерації в інтервалі 60 – 90°C, що дозволить використовувати для регенерації адсорбентів джерела енергії з низьким потенціалом та гранична адсорбція більше, ніж 0,5 кг/кг, що забезпечує використання модулів компактних розмірів. Вперше розроблено алгоритм підбору адсорбентів для адсорбційних теплотрансформуючих модулів для систем тепlopостачання, вентиляції та кондиціонування.

5. Встановлено основні фактори, які впливають на ефективність експлуатації адсорбційних регенераторів теплоти та вологи, зокрема, тепловий та вологісний коефіцієнти. Визначено основні вимоги до параметрів режиму їх експлуатації.

6. Визначено холодопродуктивність адсорбційного холодильного модуля в умовах експлуатації типової парокомпресійної холодильної установки, та встановлено, що основними факторами, які впливають на його холодопродуктивність та холодильний коефіцієнт адсорбційного є теплове навантаження на конденсатор, а, отже, маса води, яка десорбується та випаровується.

7. Виконано термодинамічний аналіз процесів експлуатації адсорбційного геліокондиціонера та адсорбційної холодильної геліоустановки на основі композитних адсорбентів «силікагель – натрій сульфат» та «силікагель – натрій ацетат». Встановлено основні фактори, які сприяють підвищенню холодильного коефіцієнта циклу за рахунок зменшення витрат на регенерацію адсорбенту, зокрема, підвищенню вмісту солі в композиті, яке підвищує адсорбцію, а отже, і зменшує розмір адсорбційного модуля, та зниження різниці між температурами адсорбенту після адсорбції та температурою регенерації.

8. Встановлено основні фактори, які впливають на ефективність роботи адсорбційного теплового насоса. Виявлено тотожність оптимальних параметрів режимів експлуатації адсорбційного теплового насоса та адсорбційного акумулятора теплової енергії, а також заходів з підвищення ефективності роботи, а саме використання ультразвукового зволоження повітря, яке сприяє підвищенню коефіцієнта перетворювання теплової енергії майже в 2 рази в порівнянні з паровим зволоженням.

9. Отримала подальший розвиток технологія отримання композитних адсорбентів золь – гель методом. Вперше запропоновано методи регулювання розміру частинок композитного адсорбенту в процесі золь-гель синтезу.

Практичне значення результатів теоретичних і експериментальних досліджень полягає у задекларованих 8 положеннях:

1. Розроблена технологія золь – гель синтезу композитних адсорбентів «силікагель – кристалогідрат». Синтезовані адсорбенти характеризуються густиною запасання енергії на рівні 2,0-4,0 МДж/кг в залежності до вимог термодинамічного циклу, обраного виходячи з властивостей джерел низькопотенційної енергії, характеристики обладнання, цільового призначення технології акумуляування та трансформації – опалення, гарячого водопостачання, вентиляції та кондиціонування повітря.

2. Запропоновано процедури розрахунків експлуатаційних характеристик адсорбційних теплотрансформаторів, яка включає обчислення коефіцієнта масопередачі, адсорбції, корисного адсорбційного тепла, теплової потужності для нагрівання адсорбенту, корпусу пристрою, води в зволожувачі, випаровування води, нагрівання адсорбованої води, десорбції та коефіцієнтів корисної дії. Результати розрахунків згідно запропонованої процедури добре узгоджуються з експериментальними даними та дозволяють встановлювати оптимальний тепловий режим роботи адсорбційних

трансформаторів теплової енергії в умовах типової системи тепlopостачання, вентиляції та кондиціонування.

3. Запропоновано та впроваджено конструкцію адсорбційного теплового акумулятора відкритого типу, який дозволяє опалювати приміщення площею 100 м². Енергоспоживання при цьому знижується більш, ніж в 2 рази в порівнянні з традиційними агрегатами.

4. Запропоновано та впроваджена конструкцію адсорбційного теплоакумулюючого пристрою, що дозволяє регенерувати адсорбент за допомогою теплоти відхідних газів при експлуатації котельного агрегату або печі.

5. Розроблено нові конструкції адсорбційних регенераторів теплової енергії та вологи, які дозволяють підтримувати температуру в приміщенні на рівні 20 – 22°C, а відносну вологість – 50 – 60 %, які дозволяють регенерувати адсорбент протягом експлуатації пристрою.

6. Запропоновано конструкцію адсорбційного теплового насосу та випробувано лабораторний прототип пристрою. Показано, що впровадження ультразвукового зволоження потоку повітря сприяє підвищенню ефективності теплового насоса вдвічі.

7. Розроблено конструкцію адсорбційного регенератора теплоти та вологи для підігріву припливного повітря. запропоновано математичну модель та процедури розрахунку основних проектних характеристик адсорбційного регенератора в умовах вентиляційних систем житлових приміщень.

8. Підтверджено переваги нових композитних сорбентів «силікагель – кристалогідрат» в порівнянні з традиційними адсорбентами.

Результати досліджень експлуатаційних характеристик адсорбційних теплотрансформаторів, розроблені процедури та алгоритми розрахунків конструктивних та експлуатаційних характеристик адсорбційних акумуляторів теплової енергії, теплових насосів та регенераторів теплоти та вологи впроваджено для використання в навчальному процесі на кафедрі енергетики Українського державного університету науки і технологій під час викладання дисциплін «Теплотехнологічні процеси та установки» та «Методологія і організація наукової діяльності».

Практична значимість роботи підтверджена 13 патентами на корисну модель та 6 актами впровадження.

Перший розділ присвячено аналізу літературних даних щодо процесів адсорбційних трансформації та акумулювання низько-потенційної теплової енергії. В розділі показано переваги адсорбційних теплоакумулюючих

середовищ у порівнянні з ємнісними та фазово-перехідними теплоакумуючими матеріалами, а саме, більш висока густина запасання енергії, і, отже, більш висока кількість теплоти, яку можна передати споживачеві, доступність та екологічна безпека більшості адсорбентів та адсорбатів.

Показано можливість використання адсорбційних теплотрансформаторів для добового та сезонного акумулювання теплової енергії, для підігріву припливного повітря, для охолодження середовищ тощо, в традиційних і в індивідуальних системах опалення, вентиляції та кондиціонування. Показано, що основними перепонами на шляху впровадження адсорбційних теплотрансформаторів в системи теплопостачання є, з одного боку, відсутність алгоритму, що дозволяє оцінити ефективність роботи пристрою, з іншого, відсутність технології отримання матеріалів «пориста матриця – сіль».

В другому розділі запропоновані загальні принципи підбору робочих пар в системах теплопостачання, вентиляції та кондиціонування. Розроблено алгоритми підбору робочих пар «адсорбент – адсорбат» для адсорбційних трансформаторів теплової енергії. Визначено, що основними критеріями підбору робочих пар є призначення теплотрансформатора (теплопостачання, підігрів або охолодження припливного повітря, відведення теплоти від охолоджуваного середовища), вид та потенціал джерела теплоти для регенерації адсорбента, наявність контакту людини, адсорбента та адсорбата при експлуатації теплотрансформатора, яка обумовлює необхідність використання нетоксичних та неагресивних речовин та обмежує температуру регенерації адсорбента до 90°C.

Третій розділ присвячено конструктивним та експлуатаційним характеристикам адсорбційних теплотрансформаторів. Розглянуто експлуатаційні характеристики теплоакумуючого пристрою закритого та відкритого типів та запропоновано алгоритми їх дослідження.

В четвертому розділі проаналізовано процеси адсорбційної регенерації теплоти та вологи в системах вентиляції та кондиціонування. Ефективність експлуатації адсорбційного регенератора теплоти та вологи оцінена за допомогою температурного та вологісного коефіцієнтів корисної дії, потужності, яку споживає вентилятор, а також часу досягнення максимальної адсорбції, тобто часу насичення адсорбенту. Для оптимізації експлуатації регенератора використані температурний та вологісний коефіцієнти корисної дії, тобто коефіцієнти регенерації теплоти та вологи. Встановлено, що максимальні значення температурного коефіцієнта корисної дії можна

досягти, коли швидкість повітряного потоку та час перемикання не перевищують 0,22 м/с і 5 хв. відповідно. Цим же швидкостям відповідають і час насичення адсорбента, тобто час досягнення максимальної адсорбції. Порівняно ефективність експлуатації адсорбційних регенераторів на основі композитів «силікагель – натрій сульфат» та «силікагель – натрій ацетат». Встановлено, що коефіцієнти регенерації тепла адсорбційних регенераторів на основі композитів «силікагель – Na_2SO_4 » перевищують ці значення для регенераторів з «силікагель - CH_3COONa » як мінімум на 9 - 10%. Вологісний коефіцієнт корисної дії близькі та оцінюються як 59% і 58% при використанні «силікагелю - Na_2SO_4 » і «силікагелю - CH_3COONa ».

В п'ятому розділі проведено аналіз процесів експлуатації адсорбційних кондиціонерів та холодильних установок.

Показано, що на холодильний коефіцієнт сильно впливає кількість тепла для регенерації композиту і, як наслідок, різниця в температурі адсорбенту та температурі регенерації ΔT_1 , яка визначається температурою регенерації. По мірі зменшення різниці температур адсорбента після адсорбції та температури регенерації ΔT_1 спостерігається монотонне зростання холодильного коефіцієнту циклу. Максимальні значення COP встановлюються при $\Delta T_1 = 50^\circ\text{C}$ або $20 - 30^\circ\text{C}$ при використанні композиту «силікагель - натрію сульфат» або «силікагель - натрію ацетат».

Шостому розділі проаналізовані конструктивні та експлуатаційні характеристики адсорбційного теплового насоса.

Порівняно вплив експлуатаційних характеристик на ефективність теплового насосу та теплового акумулятора. Показано, що вплив витрати та абсолютної вологості повітря на коефіцієнт перетворення теплової енергії адсорбційного теплового насосу практично ідентичні коефіцієнту корисної дії адсорбційного теплового акумулятора. При скиданні теплоти конденсації до навколишнього середовища коефіцієнт перетворення теплової енергії практично співпадає з аналогічними величинами для адсорбційних теплових акумуляторів і більше, ніж в два рази менше в порівнянні з величиною коефіцієнта перетворення теплової енергії при використанні теплоти конденсації.

Зростання температури потоку вологого повітря майже не впливає на величину коефіцієнта перетворення теплової енергії, оскільки ключовим фактором в даному випадку є саме кількість випаровуваної води для зволоження повітря, зростання якої сприяє підвищенню адсорбції, а отже, теплоти адсорбції та теплоти конденсації.

В цьому розділі запропоновано метод темплатного синтезу композитних матеріалів шляхом гідролізу силікатного прекурсору – тетраетоксисилану, який проводиться згідно модифікованого методу Штобера в спиртово-аміачному середовищі з наступним мольним співвідношенням компонентів: $1\text{TEOS}:0,3\text{X}:11\text{NH}_3:144\text{H}_2\text{O}:58\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, де X – темплатний агент (як темплатний агент використовували (a) – цетилтриметиламонійбромід ($\text{C}_{16}\text{TMABr}$), (b) – суміш $\text{C}_{16}\text{TMABr}$ та полііонену, (c) – полііонен I-4Me-Ph.

Відзначаючи хороший рівень роботи, наукове та прикладне значення результатів доцільно зробити деякі дискусійні зауваження та рекомендації:

- В розділі 1 розглянуто типи акумулювання – теплосмісне, фазовоперехідне, термохімічне та адсорбційне, тоді як науковий простір – це адсорбційні акумулювання. Але, чомусь, в підрозділі 1.4. наводиться схема термохімічного реактора і його докладний опис, математична модель. Для чого?;
- Значна частина розділу 2 викладена не системно, не зрозуміло, що це планування наступного етапу досліджень чи літературний огляд;
- Відсутній системний аналіз ефективності адсорбційних пристроїв протягом періоду експлуатації, а саме, не проаналізовано, як змінюється ефективність системи теплопостачання при впровадженні в неї адсорбційного модуля;
- При розробці критеріїв підбору робочих пар та обґрунтуванні процесів експлуатації адсорбційних пристроїв відкритого типу не приділено уваги аерозольній стабільності адсорбента при тривалій експлуатації;
- Вимагає додаткового обґрунтування використана величина порозності шару адсорбенту (0,259), рекомендується приймати порозність, як змінну величину в залежності від умов роботи апарату;
- В тексті дисертації надані висновки по сьоми розділам, в той же час висновки до розділу 7 надані в надто стислій формі, що не дає можливості оцінити отримані результати.

Однак, виявлені невідповідності не знижують науково-практичної цінності дисертаційної роботи. Наукова новизна, практичне значення результатів та їх апробація є аргументованими, кількість публікацій цілком достатня.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Беляновської Олени Анатоліївни за темою «Розвиток наукових основ створення адсорбційних теплотрансформаторів для систем теплопостачання та кондиціонування» є цілісною завершеною працею, яка вирішує важливу науково-прикладну проблему – розвитку науково-практичних основ адсорбційної трансформації теплової енергії для систем теплопостачання, вентиляції та кондиціонування на базі нових вискоефективних адсорбційних матеріалів, підвищенню досконалості промислових технологічних процесів акумулювання та трансформації низькопотенційної теплової енергії.

Дисертаційна робота має наукове та практичне значення і за ступенем обґрунтування викладених науково-теоретичних і науково-практичних положень, достовірністю та новизною наукових результатів, обробки та аналізу їх результатів повністю відповідає вимогам до докторських дисертацій згідно п. 7 та 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук».

Офіційний опонент
професор кафедри комп'ютерних
технологій Дніпровського
державного університету
імені Олеся Гончара, д-р техн. наук,
проф.



Людмила КНИШ

