

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Гумницького Я.М. на дисертаційну роботу Демірського Олексія В'ячеславовича «Процеси теплопередачі при формуванні відкладень на робочих поверхнях розбірних пластинчастих теплообмінних апаратів», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

1. Актуальність теми

В останні десятиріччя особлива увага у всьому світі зосереджена на енергозбереженні як у промисловому, так і у житлово-комунальному господарстві. Зменшити використання енергії можна різними методами, у тому числі використанням нового прогресивного теплотехнічного обладнання, до якого належать пластинчасті теплообмінні апарати. В Україні спостерігається масове впровадження пластинчастих теплообмінних апаратів (ПТА) в різних галузях промисловості, особливо у комунальному тепlopостачанні, хімічній, харчовій промисловості та інших галузях народного господарства. Виникла тенденція заміни кожухотрубних теплообмінників на пластинчасті. Це вимагає розробки конкретних методик і рекомендацій до встановлення ПТА в технологічну схему виробництва замість кожухотрубних апаратів.

Одночасно ПТА мають достатньо високі показники гідравлічного опору при проходженні теплоносіїв через апарат. Особливо це проявляється з появою відкладень на поверхні передачі, які зменшують загальну площу каналу для проходження рідини і змінюють гідравлічні характеристики каналу. Поява відкладень зменшує коефіцієнт теплопередачі, збільшує втрати на гідравлічний опір і в цілому призводить до невідповідності роботи теплообмінного апарату розрахунковим параметрам. Все це приводить до втрат енергії і поява відкладень приймає більш широке значення з економічної та екологічної точки зору

На теперішній час проблема урахування появи відкладень на поверхні ПТА практично не має свого рішення. Більш того, розширення застосування пластинчастих теплообмінників в різних областях промисловості призвело до необхідності враховувати велику кількість видів забруднень. Кожен вид забруднень має індивідуальний механізм утворення, може проявлятися при певних умовах і залежить від поєднання робочих параметрів функціонування теплообмінного апарату. Потрібно фактично у кожному конкретному випадку створювати методіку розрахунку ПТА з урахуванням появи забруднень в процесі експлуатації, прогнозування їх працездатності, визначенню періодичності їх обслуговування шляхом розбирання і чищення поверхні для забезпечення нормативних умов роботи.

У зв'язку з цим, тематика наукових досліджень Демірського Олексія В'ячеславовича, що представлена у дисертаційній роботі є актуальною і такою, що спрямована на вирішення важливої науково-прикладної задачі

вдосконалення проектування та розрахунку пластинчастих теплообмінних апаратів. Ця тематика відповідає паспорту спеціальності, затвердженого Постановою Президії ВАК України від 13.12.2007 за № 32-08/10. Дисертаційна робота виконувалась згідно тематичних планів кафедри інтегрованих технологій та міжнародних проектів.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій і їхня достовірність

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів підтверджується використанням апробованих в хімічній технології методів моделювання, проектування й оптимізації пластинчастих теплообмінних апаратів. Автором запропонована методика розрахунку ПТА за критерієм наведених витрат, що враховує енергетичні затрати в процесі експлуатації і дозволяє шляхом рішення задачі оптимізації визначити оптимальне проектне значення витрат тиску.

Запропонований підхід було поширено на розрахунок за критерієм наведених витрат системи послідовно встановлених пластинчастих теплообмінників. Розглянута проблема одержала своє рішення аналітичним методом. Достовірність отриманих результатів моделювання роботи системи послідовно встановлених ПТА підтверджується узгодженням з показниками, що одержані при проведенні аналогічних досліджень і відомі з літературних джерел, та публічними експериментальними даними одержаними з натурального експерименту.

Достовірність досліджень, що проведені у розділах 2-5, не викликає сумнівів, тому що вони підтверджуються конкретністю постановки завдань, системному підході, мають велике практичне значення. Наукові положення і висновки, сформульовані в дисертації, обґрунтовані з наукової і технічної точки зору і підтверджуються їх практичною реалізацією.

Аналіз висновків та отриманих в роботі результатів показує, що дисертація Демірського О. В. має внутрішню єдність, містить обґрунтовані і достовірні положення. Висновки по розділах відображають отримані результати та логіку досліджень. Рекомендації, розроблені в дисертації, мають практичну спрямованість.

3. Наукова новизна

В процесі розв'язання науково-технічних задач, які були поставлені в роботі, виходячи з її мети, автором було отримано низку нових науково-технічних та практичних результатів, серед яких, на мій погляд, найважливішими є такі:

1. Вперше розроблено метод оптимального проектування пластинчастого теплообмінного апарату та системи пластинчастих апаратів на основі критерію приведених витрат з урахуванням забруднення теплообмінної поверхні.

2. Набув подальшого розвитку метод модернізації теплотехнічних схем підприємств на основі аналізу енергоефективності з використанням методів пінч-аналізу.

3. Запропонована і апробована математична модель розрахунку поверхні тепловіддачі пластинчастого теплообмінника з урахуванням забруднення в процесі експлуатації.

4. Використовуючи отримані експериментальні дані, отримала подальший розвиток модель прогнозування появи і зростання забруднень пластинчастих теплообмінників для різного виду кристалічних відкладень.

5. Запропоновано нове співвідношення для передбачення величини відкладень у підігрівниках цукрового соку.

4. Значення одержаних результатів для науки і практики

Наукове значення результатів роботи полягає в наступному:

1. Розвинуті науково-прикладні основи проектування пластинчастих теплообмінних апаратів з урахуванням появи забруднень на поверхні теплообміну та за критерієм наведених витрат.

2. Розвинуто теорію і одержані експериментальні дані появи і зростання кристалічних забруднень та теорія асимптотичного закону зростання відкладень поширена на пластинчасті теплообмінні апарати.

3. Проведені дослідження впливу проектних значень втрат тиску на розрахунок поверхні теплообміну системи послідовно встановлених пластинчастих теплообмінників.

4. Із застосуванням методу пінч-аналізу удосконалена методика комплексного підходу до реконструкції відділення підігріву цукрового соку перед випаровуванням.

5. Розвинуто модель появи відкладень на поверхні ПТА та одержано нове співвідношення для передбачення величини відкладень у підігрівниках цукрового соку.

Практичне значення одержаних результатів:

На основі отриманих теоретичних результатів та розроблених числових методів створено алгоритми та програмне забезпечення для розв'язання низки прикладних задач:

1. Розроблено математичне забезпечення що до проектування та розрахунку пластинчастих теплообмінних апаратів за критерієм наданих витрат з урахуванням появи забруднень на поверхні теплообміну апаратів.

2. Проведено оцінку енергоефективності роботи системи підігрівачів цукрового соку перед випаровуванням. Створено проект реконструкції системи теплообмінних підігрівачів у хіміко-технологічному та харчовому процесі виробництва. Розраховані і встановлені пластинчасті теплообмінники для підігріву цукрового соку і проведено моніторинг їх експлуатації.

3. Одержані експериментальні дані по розвитку кристалічних забруднень та дані по натурному спостереженні роботи пластинчастих підігрівачів цукрового соку перед випаровуванням.

4. Результати досліджень впроваджені на Валуйському цукровому заводі (м. Валуйки); Немирівському спиртовому заводі (м. Немирів) та у АО

«Співдружність-Т». Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес на кафедрі інтегрованих технологій, процесів та апаратів Національного технічного університету «ХПІ» .

5. Повнота викладення основних результатів роботи

Основні результати дисертаційної роботи в достатній мірі опубліковано в 21 науковій праці: із яких 14 статей у наукових фахових виданнях України (5 – у наукометричних базах), 5 в зарубіжних фахових виданнях, 2 – у матеріалах конференцій. Основні наукові положення і висновки, які представлені в дисертації та авторефераті ідентичні між собою. Автореферат відображає актуальність роботи, зміст і суть одержаних наукових результатів, їх практичне значення, детально відокремлює особистий внесок здобувача та демонструє апробацію результатів досліджень.

Теоретичні положення і практичні результати оригінальні, взаємопов'язані та отримані на основі системного аналізу. Результати роботи свідчать про особливий вклад здобувача в науку. Висунуті в роботі задачі послідовно вирішені автором. Таким чином, досягнуто поставлену мету дослідження: створення методу проектування, моделювання роботи і прогнозування працездатності пластинчастих теплообмінників та систем пластинчастих теплообмінників з урахуванням появи забруднення теплообмінної поверхні на основі експериментальних даних і натурних випробувань.

6. Оцінка змісту дисертації і її завершеність в цілому

Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури з 129 найменувань та додатків, в яких наведено результати моделювання та акти використання результатів роботи. Загальний обсяг дисертації становить 228 сторінок, з них: 55 рисунків за текстом, 3 рисунки на 3 окремих сторінках, 24 таблиці за текстом. Обсяг дисертаційної роботи не перевищує встановлені норми.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання дослідження, висвітлено наукову новизну та практичну значимість одержаних результатів. Наведено відомості про апробацію роботи та публікації.

У **першому розділі** на основі аналізу існуючих наукових публікацій, розгляду формування відкладень на поверхні теплообміну і їх впливу на працездатність теплообмінників надано аналіз сучасного стану проблемі прогнозування впливу забруднень на працездатність пластинчастих теплообмінників. Розглянуто механізм осадження продуктів забруднення, видалення і винесення частинок відкладень, наведено оцінку вартості забруднення поверхні. Проведено аналіз сучасного стану теоретичних та експериментальних досліджень прогнозування і розрахунку величини забруднення теплообмінної поверхні. Наведені і розглянуті основні узагальнені дані у формі основних емпіричних залежностей що до розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі та гідравлічного опору.

Другий розділ присвячений аналізу теоретичних основ оптимального проектування ПТА з урахуванням забруднень поверхні теплообміну. У цьому розділі наведено аналітичне рішення задачі оптимального розрахунку ПТА за критерієм наданих витрат, вибір оптимальних параметрів двоступеневих підігрівачів, а також наведено рішення задачі оптимального розрахунку системи послідовно встановлених ПТА. Як узагальнення рішення цих задач надано загальне математичне формулювання задачі оптимального проектування системи пластинчатих теплообмінників.

Крім того у цьому розділі розглянуто математичну модель процесу утворення і зростання забруднень на поверхні теплообміну ПТА. Надані відомі літератури теоретичні моделі, приведені їх недоліки і переваги. Розглянуто принципове питання, що виникає при проектуванні ПТА – як враховувати виникаючі забруднення та яким чином визначати коефіцієнт термічного забруднення.

Показано, що значення фактора забруднення, рекомендованого для кожухотрубних теплообмінників, непридатне для пластинчастих теплообмінників. Коефіцієнт теплопередачі у пластинчастих вище, що призводить до значного збільшення запасу поверхні.

Збільшення площі теплообміну за рахунок збільшення кількості каналів (пластин) в апараті призводить до зменшення швидкості теплоносіїв в каналах, зниження загальної втрати тиску, і, як наслідок, падіння величини дотичного напруження на стінці. Остання обставина може дати протилежний ефект і викликати різке зростання забруднень і відкладень.

У розділі 2 представлена математична модель, що дозволяє визначити вплив геометричних параметрів пластини на робочі характеристики пластинчастого теплообмінника.

У **третьому розділі** розглянуті експериментальні та натурні дослідження процесів формування відкладень на поверхні пластин теплообмінників. Наведені дані по експериментальному дослідженню кристалічного забруднення при швидкісному нагріві води, які були проведені в університеті міста Bath (Великобританія) в рамках європейського проекту INTHEAT FP7-SME-2010-1 «Intensified Heat Transfer Technologies for Enhanced Heat Recovery» на обладнанні, наданому англійськими вченими.

Було зроблено висновок, що рівні відкладень на спіральних поверхнях, як з заглибленнями, так і з виступаючою дротом, виявилися нижче, ніж на патрубках з гладкою поверхнею. На поверхні з виступаючою дротяної спіраллю рівні забруднень виявилися мінімальними. Це зниження відкладень на вдосконалених поверхнях обумовлено більш високою турбулентністю.

У цьому ж розділі представлені результати натурних спостережень роботи чотирьох пластинчастих підігрівачів цукрового соку перед випаровуванням, які були запроектовані і встановлені на Валуйському цукровому заводі. Аналіз одержаних результатів дозволив автору зробити висновок, що формування шару відкладень в пластинчастих підігрівачах відбувається в умовах інтенсивного гідродинамічного впливу потоку. Основу

відкладень на поверхні нагрівання складають кристалічні осади карбонату кальцію, гіпс, кремнезем і органічні речовини.

Специфіка утворення кристалічних відкладень на поверхні пластинчастих теплообмінників полягає в тому, що складний характер потоку, що забезпечує високу ступінь турбулізації, призводить до існування зон з високою і низькою швидкістю. Зони зниженої швидкості мають місце у точок контакту суміжних пластин або у країв пластини, і є центрами кристалізації.

У **четвертому розділі дисертації** розглянуто задачу реконструкції, що передбачає заміну кожухотрубних апаратів на пластинчасті. Автором запропонована загальна методика проведення реконструкції при встановленні ПТА. Подано основні етапи проектування та реконструкції систем пластинчастих теплообмінних апаратів.

Оцінка енергоефективності виробничого об'єкта в цілому рекомендується проводити з використанням методу пінч-аналізу, після чого здійснюється оптимальне проектування системи пластинчастих теплообмінних апаратів за критерієм приведених витрат.

Перевірка проектних розрахунків теплообмінників проводиться з урахуванням забруднення теплообмінних поверхонь в часі, прогнозування працездатності по заданому критерію оптимальності, визначення термінів планових зупинок на чистку апаратів.

П'ятий розділ дисертації присвячений результатам моделювання практичної реконструкції і проектуванню нових систем ПТА на виробництві. Надані техніко-економічні вимоги і постановка задачі модернізації системи підігрівачів. Для випарної станції цукрового виробництва наведено рішення задачі проектування, як задачі мінімізації приведених витрат. Всі розрахунки було проведено за допомогою створеного математичного забезпечення проектування пластинчастих теплообмінників.

Проведені розрахунки показали працездатність встановленого пластинчастого обладнання протягом декількох сезонів експлуатації, що підтверджено актами впровадження (додаток Е). Результатами натурних спостережень і розрахунків показано, що забруднення в каналах пластинчастих теплообмінників мають асимптотичний характер накопичення в часі. При незмінних умовах протікання процесу утворення забруднень, асимптотичні значення термічного опору забруднень обернено пропорційні дотичному напруженню на стінці. Представлено математичну модель, що дає можливість прогнозувати термічний опір забруднень для механізмів формування накипу і осадження зважених часток при різних швидкостях потоку і температурах поверхні стінки.

У **висновках** сформульовано основні наукові результати дисертаційної роботи.

Таким чином, дисертація Демірського О.В. за змістом представляє собою завершену наукову роботу, яка має внутрішню єдність, сукупність наукових теоретичних положень і практичних результатів, що свідчить про індивідуальний внесок здобувача в науку і практику. Дисертація написана і

оформлена згідно з вимогами. Автореферат у повній мірі відображає зміст дисертації.

6. Зауваження по змісту і оформленню дисертації та автореферату

Під час аналізу дисертаційної роботи виникли деякі запитання.

1. У другому розділі роботи стверджується, що інтенсивність відкладень визначається дотичним напруженням на стінці. Ми вважаємо, що відкладення викликаються хімічними перетвореннями під час підвищення температури та процесом кристалізації, що відбувається на твердій поверхні, тому що робота на утворення нової фази там є мінімальною. Дотичні напруження впливають на зрив відкладень.

2. У цьому розділі констатується, що величина допустимих втрат тиску визначає поверхню теплообміну. У дійсності поверхня теплообміну визначається термічними опорами з двох сторін теплопередаючої поверхні та термічним опором матеріалу стінки і забруднень.

3. З (2.8) одержуємо (2.9), згідно якого визначається швидкість. У цьому рівнянні появляються невідомі постійні B і m . Автор констатує, що це зроблено «на задоволення». Немає підтвердження цього задоволення ні теоретичного, ні експериментального. Можливо автор розглядає рух реологічної рідини.

4. На стор.83 у не пронумеровану залежність для визначення Φ_f , введено параметр x_f , який не розшифровано у позначеннях, та ψ , що має різні значення.

5. На стор. 84 U_f - коефіцієнт теплопередачі забрудненої поверхні і тут же K_f - коефіцієнт теплопередачі забрудненої поверхні.

6. На технологічних схемах (рис.3.11, 3.12) відвід конденсату відбувається з між трубного простору, а не з трубного і об'єднаний з упареним розчином.

7. Зустрічаються у роботі деякі граматичні неточності. Наприклад, показник степені, а не ступеня, як написано у роботі. В авторефераті не усі фізичні величини розшифровано.

Вищенаведені зауваження та недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаного на високому науковому рівні дисертаційного дослідження, не зменшують її наукову новизну та практичну значимість і не знижують загального позитивного сприйняття проведеного обсягу досліджень.

8. Висновок про відповідність встановленим вимогам

Оцінюю дисертаційну роботу в цілому позитивно. Дисертація Демірського Олексія В'ячеславовича на тему «Процеси теплопередачі при формуванні відкладень на робочих поверхнях розбірних пластинчастих теплообмінних апаратів», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології, є завершеною науково-дослідною роботою і містить нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну наукову задачу розвитку науково-прикладних основ проектування пластинчастих

теплообмінних апаратів, що має суттєве значення для хімічного машинобудування України.

Робота відповідає формулі та напрямам досліджень паспорту наукової спеціальності 05.17.08 а саме за напрямком: теоретичні й експериментальні дослідження теплових і масообмінних процесів в газових і рідких системах; встановлення основних параметрів, необхідних для створення нового обладнання (теплообмінних апаратів, зокрема конденсаторів, випарників, холодильного обладнання та інших апаратів), та повністю відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор заслуговує присудження наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

Офіційний опонент
професор кафедри екології та
збалансованого природокористування
Національного університету
«Львівська політехніка»,
доктор технічних наук, професор



ГУМНИЦЬКИЙ Я.М.

Підпис проф.. Гумницького Я.М.
засвідчую:
Учений секретар Національного
університету «Львівська політехніка»



Брилинський Р.Б.