

ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук, доцента
Степанюка Андрія Романовича
на дисертаційну роботу Степанової Олесі Євгеніївни
**“Інтенсифікація теплообмінних процесів при термоконтakтному
нагріванні та плавленні вуглеводневих сумішей”**,
представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова
теплоенергетика

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Структура та обсяг дисертації. Роботу Степанової О.Є. виконано в Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України. Дисертація складається з анотацій, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і 4 додатків. Обсяг основного тексту дисертаційної роботи становить 179 сторінок, 65 рисунків та 21 таблиць. Список використаних джерел містить 112 найменувань. У додатках до дисертації наведено копії патентів України, протоколи заводських випробувань установки для нагрівання та плавлення в'язких і низькотеплопровідних субстанцій “Термобат-М” та акт її впровадження на ТОВ “Тернофарм”, м. Тернопіль, опубліковані праці по дисертації із зазначенням особистого внеску здобувачки, перелік конференцій, де було апробовано результати дисертаційного дослідження тощо.

Оформлення дисертації. Дисертаційна робота оформлена відповідно до стандарту ДСТУ 3008-95 “Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення”.

Матеріал дисертації викладено в послідовності, що відповідає поставленим в роботі задачам, викладений матеріал написаний грамотною науковою мовою.

Обсяг і структура роботи відповідає вимогам, які встановлено МОН України.

Зміст автореферату дисертації ідентичний змістові дисертаційної роботи та відображає її основні положення.

Автореферат дисертації написаний українською мовою і розісланий 10 квітня 2021 року.

Зміст дисертації, об'єкт і предмет дослідження відповідають паспорту спеціальності 05.14.06 “Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика” як за формулою спеціальності, так і за напрямками досліджень.

Зміст роботи.

У **вступі** дисертаційної роботи наведено обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі досліджень, наведено

наукову новизну та практичну цінність одержаних в роботі результатів, визначено зв'язок роботи з науковими програмами, темами, вказано особистий внесок здобувача, надано відомості про апробацію результатів дисертації, вказано структуру й обсяг дисертації.

У першому розділі наведено аналітичний огляд літературних джерел та сучасного стану науки і техніки у сфері досліджень процесів нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей. Необхідність розробки й впровадження інноваційного теплообмінного устаткування й технологій, в основі яких лежать процеси нагрівання і плавлення та інтенсифікація фізико-хімічних і теплообмінних процесів.

Описано обладнання для здійснення процесів нагрівання і плавлення, що використовується у теперішній час та існуючі технології для отримання продукції у різних галузях промисловості (фармацевтична, харчова, нафтопереробна та ін.), виявлено недоліки при використанні таких способів та обладнання для нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей.

На основі літературного огляду сформульовано мета та задачі дослідження при нагріванні та плавленні вуглеводневих сумішей для розробки інноваційної технології та обладнання.

У другому розділі наведено опис експериментальних стендів, приладів і методик проведення досліджень та обробки даних, які були отримані для визначення теплофізичних властивостей вуглеводневих сумішей та параметрів перебігу процесів нагрівання і плавлення.

Наведено конструкцію розробленого та створеного експериментального стенда для проведення досліджень процесів нагрівання і плавлення вуглеводневих сумішей за рахунок контактного та конвективного переносу тепла із примусовим видаленням розплаву.

Для визначення термостійкості застосовано дериватографічний метод, для дослідження питомої теплоємності та питомої теплоти плавлення – метод диференціальної сканувальної калориметрії, для визначення в'язкості – ротаційний віскозиметр DV-E фірми "Brookfield".

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень впливу теплофізичних параметрів на кінетику процесів нагрівання та плавлення і досліджень по визначенню теплоємності, теплоти фазового перетворення та термостійкості вазеліну та парафіну, що були обрані модельними середовищами.

Завданням досліджень на стенді для проведення процесів нагрівання та плавлення було знаходження оптимальних параметрів їх перебігу шляхом зміни температури нагрівача та величини тиску на поверхню речовини, що плавиться.

Для знаходження залежності теплоємності модельних об'єктів від температури було проведено вимірювання їх питомої теплоємності методом диференціальної сканувальної калориметрії (ДСК). На диференціальному сканувальному мікрокалориметрі ДСК-2М було проведено вимірювання питомої теплоємності вазеліну і парафіну та отримано ДСК-криві їх плавлення, які фактично відображують кількість теплоти, що витрачається на нагрівання речовини на величину ΔT з урахуванням витрати захищеної теплоти плавлення.

З отриманих ДСК-кривих плавлення була визначена питома ефективна теплота плавлення в інтервалах плавлення для вазеліну 5,5...75,0 °С та для парафіну 10,6...64,3 °С, яка становить, відповідно, для вазеліну – 68,95 кДж/кг, а для парафіну – 50,73 кДж/кг. Ці дані використані для розрахунків теплообміну та моделювання процесів нагрівання та плавлення.

Для того щоб уникнути деструкції при нагріванні та плавленні вазеліну і парафіну проведені дослідження їх термостійкості, що визначає верхню межу робочих температур, до якої їх можна нагрівати без змін структурно-механічних властивостей та перегріву. Дослідження термостійкості вазеліну та парафіну на дериватографі Q-1000 дали можливість за кривою зміни диференціальної температури ДТА (різниця температур між зразком та інертною речовиною) визначити температуру початку термічного розкладання: для вазеліну – 152,5 °С, для парафіну – 172,7 °С, після якої починаються процеси, зв'язані з деструкцією матеріалу.

Четвертий розділ наведено моделювання течії розплаву в кільцевому зазорі, що описує ламінарну течію під дією перепаду тиску і швидкістю руху стінки ємності відносно нагрівача, та течії розплаву під нагрівачем.

Для аналізу результатів експерименту створено математичну модель, яка описує особливості гідродинаміки, тепло- та масообміну в процесі нагрівання та плавлення.

Математична модель базується на таких припущеннях: процеси нагрівання та плавлення – стаціонарні; розплав – в'язка нестислива ньютонівська або неньютонівська рідина; теплофізичні властивості розплаву постійні; рух розплаву в зазорах – ламінарний ($Re < 1$); на стінках відсутнє прослизання.

Із застосуванням базових рівнянь теплопровідності, нерозривності та збереження кількості руху розглядається течія розплаву в кільцевому зазорі під дією перепаду тиску і руху стінки та в дисковому зазорі під нагрівачем. Визначено розподіл напруження зсуву і швидкості потоку по ширині зазору, а також середньої швидкості потоку.

Для знаходження тиску на вході в зазор, відносної швидкості руху стінки і в'язкості розплаву модель кільцевого зазору пов'язано з моделлю течії під нагрівачем, виходячи з умови, що розплав безпосередньо переходить із дискового в кільцевий зазор як одна нерозривна течія, та з моделлю плавлення, які і складають загальну модель апарата.

У п'ятому розділі наведено рекомендації по практичному застосуванню результатів теоретичних та експериментальних досліджень. Розроблено технологію та установку прискореного нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей з низьким коефіцієнтом теплопровідності за рахунок контактного та конвективного переносу тепла, що дозволяє інтенсифікувати процес і призводить до зменшення енерговитрат завдяки поєднанню процесів завантаження, плавлення, дозування, вивантаження та транспортування розплавленої речовини у одному технологічному циклі.

Запропоновано термоконттактний спосіб та установку “Термобат-М” для нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей, яка розроблена та виготовлена

на базі ІТТФ НАН України і успішно пройшла дослідно-промислові випробування. Установку та повний комплект технічної документації передано у промислову експлуатацію на ТОВ “Тернофарм” (м. Тернопіль).

У висновках наведено результати дисертаційної роботи, яка спрямована на вирішення актуальної задачі – інтенсифікації теплообміну при нагріванні та плавленні вуглеводневих сумішей і розробці енергоефективної технології виробництва м’яких лікарських речовин.

У заключній частині дисертаційної роботи наведено список використаної літератури та додатки до роботи.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Теплообмінні процеси мають велике значення для здійснення технологічних операцій у багатьох галузях, зокрема у фармацевтичній, харчовій та нафтопереробній промисловостях. Особливо велике значення проблема інтенсифікації переносу тепла має для створення високоенергоефективного обладнання.

Одними з найбільш трудомістких та енергозатратних є процеси нагрівання та плавлення, в яких речовини або суміші необхідно перевести з твердого стану до достатньо плинного, щоб забезпечити їх подальше транспортування до наступних стадій виробництва.

Традиційно на підприємствах для нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей використовують реактори з різними конструкціями мішалок, ванни із зміювиками, електротканинні нагрівачі, нагрівальні камери, тощо.

Переважно обладнання закуповується за кордоном, на придбання якого витрачаються значні кошти. Використання застарілих технологій та дорогого імпортного обладнання для здійснення процесів нагрівання та плавлення є актуальною проблемою в нашій країні. Отже, розробка та впровадження вітчизняних інноваційних технологій і обладнання для здійснення процесів нагрівання та плавлення на сьогоднішній день є актуальною задачею.

СТУПІНЬ ОБҐРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ ТА ДОСТОВІРНІСТЬ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

Точність та надійність результатів експериментів одержано з використанням сучасних приладів вимірювання із автоматизованими системами збору та обробки інформації. Всі дослідження проведені за стандартними, апробованими раніше методиками, які добре себе зарекомендували. Достовірність результатів підтверджується задовільним узгодженням результатів досліджень представлених в дисертації з результатами, наведеними у літературі для подібних матеріалів.

НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Нові наукові результати, отримані в даній роботі полягають в наступному:

- вперше застосовано метод локального термоконтального нагрівання та плавлення вазеліну та парафіну;

- вперше на основі експериментальних та теоретичних досліджень визначено вплив режимних параметрів (температура нагрівача, тиск на поверхню речовини, початкова температура вуглеводневої суміші) на швидкість перебігу процесів нагрівання і плавлення для визначення оптимальних параметрів;

- вперше проведено дослідження по визначенню в'язкості, теплоємності, теплоти фазового перетворення та термостійкості вазеліну та парафіну;

- вперше запропоновано математичну модель протікання процесів нагрівання та плавлення вазеліну та парафіну з примусовим видаленням розплаву (модель течії розплаву в кільцевому зазорі під дією перепаду тиску і руху стінки та течії розплаву в дисковому зазорі під нагрівачем).

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Практична цінність полягає в наступному:

- у результаті експериментальних досліджень визначено вплив теплофізичних параметрів на перебіг процесів нагрівання та плавлення вазеліну та парафіну;

- запропонований метод визначення теплофізичних властивостей речовин за допомогою розробленої математичної моделі дає можливість проводити розрахунки параметрів процесу нагрівання та плавлення вазеліну та парафіну;

- розроблено комплект технічної документації та комплект документації, необхідної для валідації по GMP на установку "Термобат-М" для її впровадження;

- результати дисертаційної роботи застосовано при розробці установки для нагрівання та плавлення в'язких і низькотеплопровідних субстанцій "Термобат-М".

Практичне значення результатів дисертаційної роботи підтверджується двома патентами ("Установка для розігріву та плавлення в'язких речовин" № 69860 та "Установка для розігріву та плавлення в'язких систем" № 77487).

Результатом роботи є впроваджена установка для нагрівання та плавлення в'язких і низькотеплопровідних субстанцій "Термобат-М" на фармацевтичній фабриці ТОВ "Тернофарм", м. Тернопіль.

ПОВНОТА ВИКЛАДЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ В ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЯХ

Основний зміст роботи викладено в 24 публікаціях, в т.ч. у одній колективній монографії, 12 статтях у фахових виданнях, одна з яких входить до наукометричних баз даних, 9 тезах та матеріалах доповідей на міжнародних наукових конференціях, у двох патентах України на корисну модель.

Вказані роботи опубліковано у відкритому друку, в них повністю розкрито суть дисертаційної роботи та відображені основні наукові результати, отримані в дисертаційній роботі.

ЗАУВАЖЕННЯ ТА ПОБАЖАННЯ ДО ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. У дисертаційній роботі як модельні розчини використовувалися найпоширеніші у виробництві у використанні вазелін та парафін, проте не досліджувався ланолін, який часто використовується як розчинник діючих речовин.

2. У роботі наводяться рекомендації по визначенню середньої швидкості та витрат у кільцевому зазорі, проте не надаються рекомендації по визначенню розмірів кільцевого зазору.

3. При розрахунках теплового балансу доцільно було б врахувати теплові втрати через бокові стінки та у місці контакту розплаву з повітрям.

4. Твердження наведене на стр. 124 “Як видно з формули (4.37), це співвідношення залежить лише від діаметрів нагрівача та ємності і тому залишається незмінним при зміні ваги нагрівача або його температури” не повністю відтворює реальні умови протікання процесу, вираз (4.37) є залежністю напружень зсуву від температури і перепаду тиску, тобто швидкість опускання нагрівача. Залежить окрім діаметрів нагрівача та ємності також і ваги нагрівача та його температури.

5. При наведенні рекомендацій щодо проектування апарату доцільно навести алгоритм проектного розрахунку промислового апарата.

Зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, обґрунтованість основних наукових результатів, висновків та рекомендацій не викликають сумнівів.

ВИСНОВОК

У результаті вивчення представленої дисертаційної роботи, автореферату і наукових праць можна зробити наступні висновки:

1. Робота на тему **“Інтенсифікація теплообмінних процесів при термоконтактному нагріванні та плавленні вуглеводневих сумішей”** є завершеною науковою роботою, в якій на підставі виконаних авторкою на сучасному рівні експериментальних та теоретичних досліджень вирішено актуальні та важливі наукові і практичні задачі й отримано нові науково

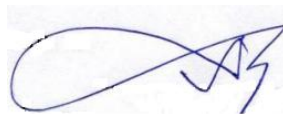
обґрунтовані результати, що у сукупності є суттєвим доробком для подальшого розвитку актуальних напрямків у галузі технічної теплофізики і промислової теплоенергетики, зокрема для розвитку теплотехнологій. Стиль написання дисертації відповідає сучасним вимогам прийнятим у науково-технічній літературі. Загальна оцінка дисертації – позитивна.

2. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.14.06 “Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика”.

3. За актуальністю, новизною, глибиною досліджень, достовірністю та практичною цінністю, об’ємом та змістом дисертаційна робота повністю відповідає вимогам пп. 9, 11, 12, 13 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, а її авторка, Степанова Олеся Євгеніївна, заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент:

доцент кафедри
машин та апаратів
хімічних і нафтопереробних
виробництв КПІ ім. Ігоря
Сікорського, МОН України,
кандидат технічних наук, доцент



А.Р. Степанюк

29 квітня 2021 р.