

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

д. т. н., с. н. с. Горобця Валерія Григоровича

на дисертаційну роботу Степанової Олесі Євгеніївни

“Інтенсифікація теплообмінних процесів при термоконтактному нагріванні та плавленні вуглеводневих сумішей”,

представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова

теплоенергетика

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Процеси нагрівання і плавлення органічних речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності, насамперед вуглеводнів (вазелін, парафін, церезин, віск, нафтопродукти, тверді жири тощо) широко розповсюджені в хімічній, нафтопереробній, фармацевтичній, харчовій та інших галузях промисловості. Кожен з таких продуктів є складною сумішшю твердих, рідких та напіврідких вуглеводнів із різною молекулярною масою і тому не має визначеної температури переходу з одного агрегатного стану в інший. Усі ці речовини є неньютонівськими рідинами і характеризуються сильною залежністю в'язкості від температури. Вплив температури на реологічні показники та на агрегатний стан таких продуктів відіграє важливу роль при їх транспортуванні та експлуатації, що робить промислові процеси нагрівання та плавлення занадто трудомісткими та енерговитратними.

Продукти перегонки нафти, що складаються в основному із суміші вуглеводнів, широко застосовуються в якості вуглеводневих основ у виробництві м'яких лікарських форм зовнішньої дії – кремів, мазей тощо. На підприємствах фармацевтичної промисловості для нагрівання та плавлення основ для виготовлення косметичних і лікарських препаратів застосовують теплообмінні апарати періодичної дії з мішалками, ванни із змійовиками та оболонками. Передача теплоти в цих апаратах здійснюється в нестационарному режимі з великим перепадом температур, що призводить до небажаних змін властивостей кінцевого продукту і самих речовин. При роботі на такому обладнанні неможливо домогтися рівномірного прогрівання всієї маси речовини, а отже, і якісної теплової обробки.

Дисертаційна робота присвячена проблемам інтенсифікації теплообмінних процесів нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей при використанні термоконтактного методу плавлення для усунення недоліків існуючих методів і створення вітчизняного інноваційного обладнання.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою. Роботу Степанової О.Є. виконано в Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України. Дисертаційна робота викладена на 179 сторінках, складається з анотацій, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний текст роботи викладений на 162 сторінках, включаючи 65 рисунків, 21 таблиць та 4 додатки. Список використаних бібліографічних джерел містить 112 найменувань.

Додатки містять протоколи заводських випробувань установки, акт впровадження на ТОВ “Тернофарм”, м. Тернопіль, опубліковані праці по дисертації із зазначенням особистого внеску здобувачки тощо.

Оформлення дисертації, стиль викладу та мова дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до стандарту ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки й техніки. Структура і правила оформлення». Матеріал дисертації викладено в послідовності, що відповідає поставленим в роботі завданням, текст дисертаційної роботи написано у науковому стилі. Обсяг і структура роботи відповідають вимогам, які встановлено ВАК МОН України.

Стиль висловлювання та подача матеріалу досліджень є логічними, послідовними і зв'язаними єдиною цільовою спрямованістю. Стиль викладу матеріалу дисертації, висновків, наукових положень є притаманним науковим дослідженням. Мова дисертації лаконічна, термінологічно відповідає сучасним нормам, коректна та зрозуміла.

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

Дисертаційна робота виконана в Інституті технічної теплофізики НАН України відповідно до тематик науково-дослідних робіт інституту: “Розробка способів інтенсифікації процесів гідратації, гідролізу і екстракції на основі використання механізмів дискретно-імпульсного вводу енергії” (номер держреєстрації 0112U004699), “Дослідження процесів трансформації енергії в рідких гетерогенних середовищах при використанні метода дискретно-імпульсного введення енергії” (номер держреєстрації 0117U000949), господарським договором № 3259 від 18.10.2013 р. “Установка для нагрівання та плавлення в'язких та низькотеплопровідних субстанцій (Термобат-М)”.

Основний зміст дисертаційної роботи.

У **вступі** обґрунтована актуальність роботи, мета та задачі, визначено зв'язок роботи з науковими програмами, наведені наукова новизна та

практична цінність отриманих результатів, особистий внесок здобувача і відомості про апробацію результатів дисертації.

У першому розділі наведено характеристику існуючих технологій та обладнання для нагрівання та плавлення у різних галузях промисловості, зокрема фармацевтичній, харчовій, нафтопереробній тощо. Виявлено недоліки використання такого обладнання для нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей, основними з яких є: передача тепла в нестационарному режимі з великим перепадом температур; нерівномірне нагрівання всього об'єму речовини; контамінаційна небезпечність; енергоємність; енергозатратність.

Обґрунтовано необхідність розробки й впровадження інноваційного теплообмінного устаткування й технологій, в основі яких лежать процеси нагрівання і плавлення та інтенсифікація фізико-хімічних і теплообмінних процесів.

На підставі аналізу літературних джерел сформульовано мету та завдання дослідження.

У другому розділі наведено опис експериментальних стендів та приладів, які використовувались під час проведення експериментальних досліджень. Представлено методики проведення та обробки експериментальних даних. Збір, візуалізація та обробка інформації проводилась з використанням сучасних автоматизованих комп'ютерних програм.

Дослідження швидкості перебігу процесів нагрівання та плавлення проводились на розробленому в ІТТФ НАНУ стенді. 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 описано результати експериментальних досліджень знаходження оптимальних параметрів перебігу процесів нагрівання та плавлення шляхом зміни температури нагрівача та величини тиску на поверхню речовини.

Наведено дериватограми для вазеліну та парафіну з метою визначення температури початку їх термічного розкладання, після якої починаються процеси, зв'язані з деструкцією матеріалу, одержаних на дериватографі Q-1000. За дериватограмами визначено температуру початку термічного розкладання: для вазеліну – 152,5 °С, для парафіну – 172,7 °С.

Для розрахунків теплообміну та моделювання процесів нагрівання та плавлення отримано ДСК-криві плавлення для визначення питомої теплоти плавлення і залежність питомої теплоємності від температури вазеліну та парафіну на диференціальному сканувальному мікрокалориметрі ДСМ-2М. З

отриманих ДСК-кривих плавлення визначена питома 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.

У четвертому розділі для способу плавлення речовини, розміщеної в циліндричній ємності, що ґрунтується на русі дискового нагрівального елемента під дією сили тяжіння в процесі плавлення і перетікання розплавленої речовини через зазори між диском і стінками ємності проведено моделювання. Моделювання течії розплаву в кільцевому зазорі зв'язано з моделлю течії розплаву під нагрівачем, бо розплав безпосередньо переходить із дискового в кільцевий зазор як одна нерозривна течія, і з моделлю плавлення, які і складають загальну модель апарата. Математичну модель, яка описує особливості гідродинаміки, тепло- та масообміну в процесі нагрівання та плавлення створено для оптимізації та розрахунків параметрів процесів нагрівання та плавлення з примусовим видаленням розплаву, що дає можливість провести розрахунки для різноманітних вуглеводневих сумішей.

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

В результаті моделювання визначено розподіл напруження зсуву і швидкості потоку по ширині зазору, середньої швидкості потоку, а також тиск на вході в кільцевий зазор між стінкою ємності і нагрівачем.

У п'ятому розділі наведено існуючу традиційну технологію виготовлення м'яких лікарських форм та описано розроблену та створену енергоефективну технологію та установку для нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей з зазначенням підприємства, де впроваджена розробка, що підтверджується протоколами випробувань та актом впровадження.

Наведено результати досліджень термоконтного нагрівання та плавлення вазеліну на промисловому зразку в Інституті технічної теплофізики НАНУ та заводські випробування установки на території замовника.

Застосування термоконтного способу нагрівання та плавлення за допомогою заглибного нагрівача в установці дозволяє отримати необхідну кількість розплавленого продукту, скоротити час отримання розплаву і зменшити енерговитрати.

У висновках наведено результати дисертаційного дослідження, в результаті якого досягнуто означену мету та вирішено поставлені завдання.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.

Аналіз дисертаційної роботи Степанової О.Є. дає підстави стверджувати, що викладені в дисертації наукові положення та висновки є науково-обґрунтованими, достовірними та мають велике теоретичне і практичне значення. Це підтверджено використанням сучасних методів дослідження, застосуванням математичних методів моделювання.

Наукові результати узгоджуються із відомими теоретичними та експериментальними дослідженнями відомих авторів.

Обґрунтованість наукових положень та їх позитивне використання підтверджується актами впровадження.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше застосовано метод локального термоконтального нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей.

2. Вперше на основі експериментальних та теоретичних випробувань досліджено вплив режимних параметрів (температура нагрівача, тиск на поверхню речовини, початкова температура вуглеводневої суміші) на швидкість перебігу процесів нагрівання і плавлення для визначення оптимальних параметрів.

3. Вперше проведені дослідження по визначенню в'язкості, теплоємності, теплоти фазового перетворення та термостійкості вуглеводневих сумішей.

4. Вперше запропоновано модель описання процесів нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей 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 одержаних результатів полягає в наступному:

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

- визначені теплофізичні властивості речовин в роботі за допомогою розробленої математичної моделі дають можливість проводити розрахунки параметрів процесу нагрівання та плавлення для інших вуглеводневих сумішей;

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

- результати дисертаційної роботи застосовані 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 (акт впровадження від 9 липня 2014 р.).

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на наукових конференціях різного рівня, в яких здобувачка брала участь: на Міжнародних конференціях “Проблеми промислової теплотехники”, м. Київ (2011, 2013, 2015 рр.); Міжнародних конференціях “Проблеми теплофізики та теплоенергетики”, м. Київ (2017, 2019 рр.); Міжнародних наукових конференціях “Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв”, м. Одеса (2012, 2014, 2018 рр.); III Міжнародному медичному конгресі “Впровадження сучасних досягнень медичної науки в практику охорони здоров’я України” на круглому столі “Актуальні питання впровадження і зас-тосування наукових розробок установ НАН України в сфері медицини”, м. Київ (2014 р.); Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених “Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання”, м. Київ (2016, 2018 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції “Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості”, НУХТ, м. Київ (2016 рік); International Scientific Conference “Chemical Technology and Engineering”, м. Львів (2017, 2019 рр.); Регіональній науково-практичній конференції “Енергія. Бізнес. Комфорт.”, ОНАХТ, м. Одеса (2018 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції “Інноваційні енерготехнології”, ОНАХТ, м. Одеса (2019 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції “Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції”, НУХТ, м. Київ (2020 р.); Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми сучасної теплоенергетики”, присвяченої 100-річчю професора Драганова Б.Х., м. Київ (2020 р.).

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертаційної роботи.

Зміст автореферату є ідентичним до змісту дисертації і достатньо повно відображає основні положення дослідження.

Автореферат розкриває основні положення дисертації, у достатній мірі відтворює структуру і обсяг роботи. Дисертація та автореферат оформлені у

відповідності до вимог оформлення кандидатських дисертацій.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи та автореферату.

При загальній позитивній оцінці одержаних в роботі результатів і зроблених дисертантом висновків вважаю за необхідне зробити наступні зауваження:

1. В першому розділі представлено недостатньо літературних джерел, які стосуються математичному моделюванню процесів нагрівання та фазових перетворень класу речовин, які є предметом дослідження дисертаційної роботи.

2. В розділі 3 проведено детальне дослідження та наведені дані теплофізичних властивостей різних речовин, проте відсутні залежність в'язкості вазеліну, парафіну від температури, що є важливим при моделювання процесів тепло- і масопереносу процесів нагрівання і плавлення цих речовин.

3. При розробці математичної моделі (розділ 4), яка описує процес плавлення досліджуваних речовин робиться припущення про стаціонарність процесу. Насправді процес являється квазістаціонарним. При цьому відсутні початкові стадії прогріву матеріалу, що впливає на оцінку часу, необхідного для повного протікання процесу нагріву і плавлення досліджуваних матеріалів.

4. Неясно, з яких міркувань наведено два рівняння теплопереносу (4.1), (4.2) для кожної з двох координат. Як правило, розв'язується лише одне рівняння теплопереносу в двох- або трьохвимірній постановці. Крім того, не наведені граничні умови для цих рівнянь.

5. В розділі 4 наведені аналітичні розв'язки рівнянь переносу лише для ньютонівських рідин. Не наведені розв'язки для неньютоновських рідин. Відсутні графічні або табличні залежності представлення результатів розрахунку від параметрів досліджуваного процесу, а також порівняння отриманих результатів з експериментальними даними.

6. В тексті дисертації і автореферату допущені деякі неточності; рівняння (4.3) є рівнянням незмінності витрат, а не рівнянням нерозривності; величина L_{melt} питомою теплотою фазового перетворення, а не тепловим потоком.

7. В дисертації і авторефераті вживаються терміни, які неприйнятні для наукової лексики, наприклад, замість терміну «плинний» доцільно вживати «текучий», замість «перебіг» слід використовувати «протікання», тощо.

В цілому, зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Степанової О.Є., яка є актуальною та має практичну цінність. Обґрунтованість основних наукових результатів, висновків та рекомендацій не викликають сумнівів.

Загальний висновок та відповідність дисертації вимогам.

Дисертаційна робота Степанової О.Є. на тему “Інтенсифікація теплообмінних процесів при термоконтатному нагріванні та плавленні вуглеводневих сумішей” є самостійним і завершеним науковим дослідженням, в якому на підставі виконаних експериментальних та теоретичних досліджень отримано науково обґрунтовані результати. Зазначена в роботі мета досягнута, а сформульовані і поставлені задачі – вирішені. Авторкою дотримано правила організації досліджень, використано автоматизовані засоби збору, візуалізації та обробки експериментальних даних.

Дисертаційна робота Степанової О.Є. є завершеним науковим дослідженням, в якій на підставі виконаних авторкою на сучасному рівні експериментальних і теоретичних досліджень вирішено важливі наукові і практичні задачі створення енергоефективної промислової технології термоконтатного нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей.

За напрямком обраних та вирішених питань дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.14.06 – “Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика” та профілю спеціалізованої вченої ради Д26.224.01.

На підставі вищевикладеного вважаю, що дисертаційна робота Степанової Олесі Євгеніївни “Інтенсифікація теплообмінних процесів при термоконтатному нагріванні та плавленні вуглеводневих сумішей” відповідає вимогам пп. 9, 11, 12, 13 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, що їх пред’являють до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її авторка заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри теплоенергетики
Національного університету
біоресурсів і природокористування
України, д.т.н., с.н.с.



В.Г. Горобець

« 30 » квітня 2021 р.