

## ВІДГУК

офіційного опонента – кандидата технічних наук, доцента, старшого дослідника Артюхова Артема Євгеновича на дисертаційну роботу Данилюка Олега Михайловича **“Масообмін у процесах розчинення у шарі дисперсного матеріалу”**, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

**Актуальність теми дисертації та її зв'язок із науковими програмами, планами, темами.**

Розчинення твердих дисперсних матеріалів є складним масообмінним процесом, який часто використовується у технологічних процесах багатьох галузей промисловості, як основний етап виробництва або його заключна стадія. В сучасних умовах розвитку промисловості України існує потреба в інтенсифікації процесів розчинення, створенні та розробленні високоефективних та екологічно безпечних технологій та обладнання. Вибір оптимального режиму розчинення, способу і конструкції апаратів, пов'язані із особливостями технологічних процесів, а також із властивостями розчинюваних матеріалів. Актуальність роботи Данилюка О.М. полягає у вирішенні науково-прикладної задачі, яка полягає у теоретичному і експериментальному дослідженні процесів розчинення твердих полідисперсних матеріалів, практичному застосуванні отриманих результатів та дослідженні особливостей роботи обладнання, яке реалізує ці процеси.

Для розчинення твердих дисперсних матеріалів автор рекомендує використання енергії стиснутого повітря, яке є високо інтенсивним і дає змогу виключити використання перемішувачів, що є особливо важливим для забезпечення чистоти отриманої продукції.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується також тим, що вона виконана за планом науково-дослідних робіт, які проводилися згідно з науковим напрямком кафедри хімічної інженерії Національного університету “Львівська політехніка” відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Україні на період до 2020 р. (Закон України “Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки”, ст. 3, п.3), а саме: масообмін у системах з твердим тілом. Дисертаційна робота виконана в межах науково-дослідної роботи кафедри хімічної інженерії згідно зі зареєстрованою тематикою “Гідродинаміка і тепломасообмін в системі тверде тіло – газ, тверде тіло – рідина” (номер державної реєстрації 0117U004122).

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

Основні результати, які наведені у висновках дисертації, відповідають критерію новизни у досліджуваній області хімічної технології чи вирішенню



її окремих завдань. Наукова новизна роботи пов'язана, насамперед, із розробкою нових підходів до вирішення поставлених завдань. До наукової новизни даної дисертаційної роботи можна віднести результати досліджень процесу розчинення полідисперсних сумішей під час пневматичного перемішування. Вперше експериментально визначено інтенсивність розчинення окремих фракцій твердих частинок бензойної кислоти, що дало змогу прогнозувати час повного розчинення дрібних фракцій; запропоновано розрахункову залежність у безрозмірних комплексах, яка дає змогу теоретично визначати коефіцієнт масовіддачі, залежно від необхідної концентрації розчину та інтенсивності його барботування; експериментально визначено коефіцієнт масовіддачі під час пневматичного барботування розчину залежно від концентрації розчину та дисипації енергії. Результати досліджень, проведених автором, та створення математичної моделі процесу є новим етапом розвитку уявлень про дифузійно-контрольовані процеси розчинення із високим тепловим ефектом.

**Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Постановка наукових досліджень логічно обґрунтована, інтерпретація експериментальних даних аргументована. Експериментальна база і методичне забезпечення відповідають належному рівневі. У роботі використані сучасні методи аналітичних досліджень, використані методи математичного планування експерименту, комп'ютерної техніки, сучасних прикладних програм та експериментальних досліджень із використанням сучасної вимірювальної апаратури. Достовірність результатів, отриманих автором, також підтверджується багаточисельними експериментами, їх відтворюваністю та використанням апробованих методик експериментальних досліджень.

**Аналіз та оцінка змісту дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота є завершеною науковою роботою, яка складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків по роботі, списку використаних літературних джерел, що містить 170 найменувань, та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 161 сторінку, містить 40 рисунків, 16 таблиць та додатки на 17 сторінках.

У першому розділі дисертант приводить критичний огляд джерел літератури, в якому висвітлює теоретичні аспекти розчинення твердих дисперсних матеріалів, на основі яких робить висновки, що існуючі методи розчинення потребують альтернатив, а розчинення полідисперсної бензойної кислоти під час пневматичного перемішування раніше не використовувалося. Дисертант аналізує результати, які отримані багатьма авторами в галузі



розчинення твердих дисперсних матеріалів та робить висновок, що наявних теоретичних та експериментальних досліджень гідродинаміки, зовнішнього і внутрішнього масообміну є недостатньо для широкого використання у промисловості для розчинення бензойної кислоти та апаратів для його здійснення. На основі аналізу джерел літератури сформульовані мета і задачі досліджень.

**У другому розділі** дисертантом обґрунтовано вибір об'єктів досліджень та наведені їх основні фізико-механічні характеристики. Для проведення експериментальних досліджень автором використані апробовані методики та проаналізовані граничні значення похибок вимірювальної апаратури.

**У третьому розділі** автор наводить результати експериментальних досліджень розчинення досліджуваних матеріалів у рідині, яка перемішується газом.

Автором проведено ряд експериментів щодо експериментального дослідження руху бульбашки стисненого повітря у водному розчині, в апараті для розчинення під час пневматичного перемішування. На основі отриманих результатів здобувачем встановлено оптимальну витрату стиснутого повітря для процесу розчинення бензойної кислоти під час пневматичного перемішування. Автором експериментально визначено відривний розмір бульбашок повітря за умов квазістаціонарного витікання з отворів барботеру:  $\delta = 3,4 \cdot 10^{-3}$  м та розраховано їх швидкість руху в апараті:  $\omega_c = 0,23$  м/с. На основі результатів досліджень сформовано вихідні параметри для чисельного моделювання процесу, які підтверджують справедливність прийнятих припущень щодо теоретичних розрахунків пневматичного перемішування розчину та наочно показують рух взаємодіючих фаз у апараті.

**У четвертому розділі** встановлено залежність зміни концентрації бензойної кислоти від тривалості процесу розчинення під час пневматичного перемішування та запропоновано розрахункову залежність  $C = 0,12 \cdot \tau^{0,33}$  для прогнозування зміни концентрації в часі. Автор досліджує вплив хімічно інертних перемішувачів додатків (кульок поліметилметакрилату діаметром  $7 \cdot 10^{-3}$  м) на кінетику розчинення. Ним встановлено, що додавання додатків у кількості 2 – 2,5% від об'єму розчину позитивно впливає на кінетику процесу розчинення, знижуючи його тривалість, внаслідок запобігання винесенню твердої фази у шар піни і їх прилипанню до стінок експериментальної ємності. В розділі також наведені результати експериментальних досліджень розчинення калій хлориду в апараті з механічним перемішуванням, залежно від часу проведення процесу та підтверджено доцільність врахування зміни



густини зі зміною концентрації розчину. Автором розроблено математичну модель нестационарного процесу теплообміну із поверхневим джерелом теплоти, що дало змогу встановити взаємозв'язок між кінетичними коефіцієнтами масовіддачі  $\beta$  та тепловіддачі  $\alpha$  у вигляді розрахункової залежності  $\alpha = 750 + 1,7 \cdot 10^7 \cdot \beta$ . Узагальнення отриманих автором експериментальних даних дало змогу отримати розрахункову залежність числа Шервуда від числа Шмідта та Рейнольдса, що дає змогу з достатньою для практичних розрахунків точністю коефіцієнт масовіддачі в межах зміни числа Рейнольдса  $100 \leq Re \leq 300$ .

**У п'ятому розділі** представлено принципову технологічну схему процесу і схеми реакторів для періодичного і безперервного розчинення твердих полідисперсних матеріалів. Автором розроблено методику розрахунку процесу розчинення твердих полідисперсних матеріалів під час пневматичного перемішування розчину. Проведено порівняння енергетичних затрат у пілотному реакторі під час розчинення бензойної кислоти у випадку пневматичного і механічного перемішування розчину та показано перевагу запропонованого методу.

**Практичне значення** дисертаційної роботи полягає у розробленні принципової схеми розчинення під час пневматичного розчинення, та алгоритму для розрахунку енергетичних затрат на пневматичне премішування. Результати наукових досліджень передано на ПАТ "Галичфарм", Підприємство "Аргентум" ГО "НДО" та впроваджено у навчальний процес кафедри хімічної інженерії у Національному університеті "Львівська політехніка", що дає змогу зробити висновок про високу практичну цінність виконаної роботи.

**Повнота викладу основних результатів у наукових фахових виданнях.**

Основні результати дисертаційної роботи Данилюка О.М. досить повно викладені у 13 наукових працях, з яких 7 є публікаціями у фахових виданнях України, зокрема 2 статті у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних, а також 6 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях.

**Відповідність змісту автореферату положенням дисертації.**

Автореферат оформлено відповідно до вимог ДАК України. Зміст автореферату відповідає змісту дисертаційної роботи та висвітлює її основні положення. Автореферат не містить інформації, яка є відсутньою в дисертації.



**Зауваження до тексту дисертаційної роботи:**

1. У першому розділі відсутні розрахункові формули, які описують цільовий процес, а також експериментальні дані інших авторів з тематики, яка досліджується. З цього можна зробити висновок, що процес розчинення до цього часу досліджувався лише експериментально. Відсутні графічні залежності, схеми установок та ескізи обладнання, що використовувалися іншими дослідниками, а лише наводиться їх опис.
2. У підрозділі 1.5 не наведено результатів моделювання, які проводилися іншими авторами за тематикою роботи здобувача.
3. У другому розділі опис модельних матеріалів, які використовувались для проведення експериментальних досліджень, занадто деталізований. Представлені властивості модельних матеріалів можна знайти у довідковій літературі.
4. Запропоновані дисертантом спрощення, які використовувались під час комп'ютерного моделювання (зокрема, перехід від 3D до 2D моделі), зважаючи на отримані результати моделювання, подані на рис. 3.5 і 3.6, а саме, наявність вихрових зон, не дають можливість створити об'ємну картину цих ділянок апарату. Така неточність може внести похибку в результати розрахунків обладнання та призвести до нераціонального проектування окремих його вузлів. Також аналіз рис. 3.5 і 3.6 не має пояснень щодо природи виникнення вихрових зон.
5. У рівнянні кінетики (3.13) рушійна сила процесу визначається як різниця концентрації насичення  $C_n$  і середньої концентрації  $\bar{C}_c$ . Більш доцільним було б записати не середню концентрацію  $\bar{C}_c$ , а біжучу  $C$ .
6. У роботі не наведено рівняння Хармонті (стор. 66), з якого визначається швидкість відриву бульбашок.
7. Потребує додаткового пояснення рішення дисертанта дублювати дані таблиці 4.1 із рисунком 4.2.
8. З тексту дисертації незрозуміло, чи рис. 4.10 є авторським або він запозичений з літературних джерел.
9. Пояснення до рис. 5.2 та 5.3 не дають можливість чітко оцінити сутність модернізації існуючих реакторів.
10. В роботі не наведено методики інженерного розрахунку реактора, приведено лише розрахунок енергетичних витрат на проведення цільового процесу.

Слід зазначити, що вказані зауваження не змінюють вищевикладених положень рецензії та не зменшують позитивної якості дисертаційної роботи, а є лише дискусійними.



**Висновок.**

На основі розглянутих матеріалів вважаю, що дисертаційна робота Данилюка О.М. за об'ємом, рівнем виконання та науковою новизною є закінченим науковим дослідженням, в якому отримано нові науково обґрунтовані результати, що мають важливе теоретичне і практичне значення для процесів розчинення твердих полідисперсних матеріалів, вона вирішує науково-прикладну задачу в галузі процесів розчинення і відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів Міністерства освіти і науки України, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, зокрема, п.п. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор – **Данилюк Олег Михайлович** – заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

Офіційний опонент,  
доцент кафедри процесів та обладнання  
хімічних та нафтопереробних виробництв  
Сумського державного університету  
МОН України,  
кандидат технічних наук, доцент,  
старший дослідник



Артюхов А.Є.

