

ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., проф. Атаманюка В.М. на дисертаційну роботу Павленко Івана Володимировича «**Науково-теоретичні основи вібраційних процесів у гетерогенних системах**», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

Актуальність теми. У сучасних умовах зростаючого споживання енергії, дефіциту енергетичних ресурсів, гостро ставляться питання інтенсифікації хіміко-технологічних процесів. Одним із високо інтенсивних методів є застосування вібраційного впливу на процеси грануляції, сепарації тепло- і масообміну, пневмокласифікації механічних сумішей тощо. Разом із цим наявних теоретичних і експериментальних досліджень пов'язаних із впливом накладених вібрацій на процеси сепарації газокраплинних систем, грануляції плавів, пневмокласифікації механічних сумішей, є недостатньо з точки зору механізмів впливу вібрацій, визначення поверхні розділення фаз, а наявні математичні моделі не враховують фазового стану та ймовірного розподілу частинок дисперсної фази за розмірами. Недостатньо є вивчені процеси подрібнення крапель дисперсної фази, хвилеутворення і бризковинесення, осадження, що відбуваються на нерозрахункових режимах роботи обладнання, це ж стосується і стікання плівки вловленої рідини в сепараційному каналі під час її взаємодії з газокраплинним потоком із конвективним теплообміном на охолоджуваних поверхнях. Існуючі математичні моделі руху рідини в елементах сепараційних пристроїв потребують подальшого вдосконалення щодо врахування впливу накладених вібрацій для інтенсифікації процесів фільтрації та відведення вловленої краплинної рідини із сепараційного каналу. Тому тема дисертаційної роботи є актуальною, оскільки спрямована на розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми.

Актуальність теми роботи підтверджується ще й тим, що вона пов'язана з виконанням держбюджетних науково-дослідних робіт, зокрема «Гідродинамічні показники двофазних потоків тепломасообмінного, грануляційного та сепараційного обладнання» (номер держреєстрації 0115U002551), «Розробка та впровадження енергоефективних модульних сепараційних пристроїв для нафтогазового та очисного обладнання» (номер держреєстрації 0117U003931), «Створення нових гранульованих матеріалів для ядерного палива та каталізаторів в активному гідродинамічному середовищі» (номер держреєстрації 0120U102036) згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України.



Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Павленка І.В., є високою й базується на критичному аналізі вітчизняних та іноземних джерел літератури (616 найменування) за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів експериментальних досліджень (експериментальної гідромеханіки, прямого спостереження, оптичного мікрофотографування), критичному аналізі отриманих результатів і порівнянні з результатами інших дослідників, чіткому формулюванню отриманих висновків. Оброблення експериментальних даних здійснено з використанням сучасних програмних комплексів, зокрема MatLab, MathCAD, ANSYS. У висновках немає протиріч з фундаментальними положеннями теорії та результатами досліджень інших авторів. Запропоновані автором математичні моделі на теоретичному рівні досліджено на основі методів розв'язання алгебраїчних і диференціальних рівнянь та їх систем методом послідовних наближень, розділення змінних Фур'є, комплексних амплітуд, гармонічної лінеаризації, перетворення Лапласа, нескінченних степеневих рядів, Рунге – Кутти та Булірша – Штера. Перевірку адекватності цих моделей здійснено за допомогою квазілінійного регресійного аналізу із застосуванням методів Монте Карло, найменших квадратів, простих ітерацій та штучних нейронних мереж.

Достовірність результатів дисертаційної роботи можна позитивно оцінити на підставі представлених даних щодо їх апробації на міжнародних та вітчизняних науково-практичних конференціях, опублікуванні основних результатів дисертаційної роботи у відомих закордонних та українських фахових виданнях.

Наукова новизна одержаних результатів. У своїй роботі здобувач зосередився на дослідженні вібраційних процесів у гетерогенних системах. Хочу відмітити декілька важливих результатів, які безперечно є новими і значущими для подальшого розвитку хімічних технологій:

- розроблення математичної моделі гідроаеропружної взаємодії газодисперсного потоку з динамічними відбійними елементами;
- результати дослідження процесу стікання плівки вловленої рідини в сепараційному каналі під час її взаємодії з газокраплинним потоком зі сполученим конвективним теплообміном на охолоджуваних поверхнях контактних елементів;

- розроблення математичної моделі вторинного подрібнення краплинної рідини та одержання аналітичного виразу для часу подрібнення;
 - розроблення теорії гратчастих структур на основі дискретної та квазіконтинуальної імовірнісних моделей.
- Окрім цього автором удосконалено математичні моделі:
- визначення поверхні контакту фаз у процесах сепарації, грануляції розпилюванням і тепломасообміну, що враховує фазовий стан та імовірнісний розподіл частинок дисперсної фази за розмірами;
 - процесу передавання енергії від механічного збудника коливань (актуатора) до плаву рідини у віброгрануляторі;
 - вібраційного впливу на гідромеханічні процеси сепарації газодисперсних систем в апаратах;
 - процесу подрібнення краплинної рідини;
 - нестационарного руху газодисперсного потоку в пневматичному класифікаторі, а також розподілу концентрації частинок сипкого матеріалу у виділеному об'ємі зваженого шару.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні та вдосконаленні ряду методик, зокрема:

- проектування апаратів хімічної технології, на основі якої запропоновано нові енергоефективні модульні сепараційні пристрої, які захищені патентами України на корисну модель (№ 102445, № 111039, № 130464);
- розрахунку вібраційно-фільтрувальних сепараційних блочно-модульних пристроїв;
- розрахунку ефективності сепараційних пристроїв;
- визначення ефективності фільтрації на основі моделі нестационарного капілярного руху рідини;
- розрахунку апаратів для пневмокласифікації аеродисперсних систем з урахуванням нерівномірного розподілу концентрації частинок сипкого матеріалу у виділеному об'ємі зваженого шару;
- визначення поверхні контакту фаз у процесах сепарації, грануляції розпилюванням і тепломасообміну;
- оцінювання жорсткісних та демпфувальних характеристик взаємодії між елементами віброгранулятора;
- визначення необхідної кількості блоків сепараційного пристрою за ефективністю вловлювання плівкової рідини;
- методику визначення ефективності гідромеханічних і тепломасообмінних процесів.

Окрім цього, одержані автором результати стали науковою основою розроблення нових та удосконалення існуючих технологій промислового видобутку, підготовки до транспортування та переробки нафти і газу, які передані для впровадження ТОВ «ПромЕнерго Продукт», а також впроваджено у навчальний процес Сумського державного університету.

Повнота викладу наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертації в опублікованих працях. Основний зміст дисертації опубліковано у 45 наукових працях, з яких 2 монографії; 24 статті, з них, 7 статей у наукових фахових виданнях із переліку МОН України, 17 статей у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами Scopus і Web of Science; 14 публікацій у матеріалах та працях міжнародних конференцій; 3 патенти України на корисну модель; 2 авторські свідоцтва. Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем.

Оцінка змісту дисертаційної роботи. Дисертаційна робота Павленка І.В. за своїм змістом характеризується логічним та послідовним висвітленням комплексу питань, поставлених у задачах дослідження. Оформлення дисертаційної роботи в цілому відповідає вимогам, які пред'являються до текстової документації.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, необхідність удосконалення існуючих, розробки та застосування нових методів інтенсифікації хіміко-технологічних процесів із застосуванням вібрації щодо гетерогенних систем, сформульовано мету і завдання дослідження, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами й темами, наукову новизну та практичну значущість одержаних результатів. Наведено інформацію про публікації та апробацію викладеного в роботі матеріалу, а також відзначено особистий внесок здобувача.

У першому розділі автором проведено критичний аналіз сучасного стану досліджуваної проблеми, що стосується, встановлено перелік невирішених наукових проблем, пов'язаних із дослідженням вібраційного впливу на гетерогенні системи в процесах гідромеханіки, фільтрування, грануляції, класифікації, сформульовано мету дисертаційної роботи та задачі, які необхідні для вирішення поставленої мети.

У другому розділі наведено структуро-логічну схему комплексного застосування засобів математичного й чисельного моделювань, методики проведення чисельних та експериментальних досліджень, схему

експериментального стенда, методику дослідження процесів хімічної технології із застосуванням аналітичних і чисельних методів та засобів штучного інтелекту.

Третій розділ присвячено дослідженню гідродинаміки газорідинного потоку у плоскому каналі з вібруючою стінкою, зокрема визначено поля швидкостей та отримано аналітичні залежності для визначення критичних частот флатера і дивергенції, запропоновано безрозмірний критерій для визначення форми траєкторій частинок суцільної фази, обґрунтовано застосування явища вібраційної коагуляції для інтенсифікації процесу газодинамічної сепарації двофазних систем, наведена модель руху краплинної рідини у газовому потоці за умов накладання вібраційного впливу, отримано геометричні характеристики зливних жолобів, розміщених на стаціонарній стінці сепараційного каналу, наведено результати досліджень дії турбулентних пульсацій і вібруючої стінки на двофазний потік, запропоновано уточнену математичну модель нестационарного процесу капілярного підйому рідини, теорію гратчастих структур, яка дозволяє досліджувати процес відведення краплинної рідини з фільтруючих елементів багатофазних сепараторів.

У **четвертому розділі** наведено результати теоретичних досліджень гідромеханічних процесів віброгрануляції, одержано аналітичний вираз для визначення границі переходу режимів коливань краплі залежно від частотних характеристик вібраційного впливу, уточнено математичну модель процесу віброгрануляції, яка описує процес передачі енергії від актуатора до корзини віброгранулятора, наведені амплітудно-частотні характеристики гідромеханічної системи, вплив динамічних характеристик приводу на надійність грануляційного обладнання, теоретичні основи моделювання динамічного стану ротора обертового віброгранулятора.

П'ятий розділ присвячено дослідженню вторинних процесів сепарації багатокомпонентних гетерогенних систем. Наведені розроблені автором математичні моделі гідродинаміки вловленої рідини зі сполученим конвективним теплообміном, потоку плівки рідини у тривимірній постановці, конвективного теплообміну під час конденсації на охолоджуваних контактних елементах, визначення поверхні розділення фаз під час сепарації багатокомпонентних гетерогенних систем, результати дослідження вторинного подрібнення крапель дисперсної фази та залежності для граничних значень розмірів крапель, резонансну частоту вібраційного впливу та граничне значення діаметра нестабільних крапель.

У шостому розділі наведено результати щодо застосування отриманих закономірностей теоретичних і експериментальних досліджень у попередніх розділах у галузі хімічної технології та інженерії. Зокрема, запропоновано уточнену математичну модель гідродинаміки двофазного потоку у пневмокласифікаторі змінного перерізу, на підставі розгляду гідродинаміки висхідного руху одиночної частинки та наведено аналітичні вирази для компонентів швидкості газового потоку і частинок. Результати математичного моделювання двофазного газодисперсного потоку у вертикальному пневмокласифікаторі та результати розв'язку нестационарної задачі щодо визначення концентрації дисперсної фази в процесі пневмокласифікації механічних сумішей і вимивання поживних речовин з капсульованих мінеральних добрив.

Сьомий розділ присвячений практичній реалізації основних результатів дисертаційної роботи, зокрема, нових енергоефективних пристроїв та способів сепарації краплинної рідини з газорідного потоку, які захищені патентами України на корисну модель, обґрунтована доцільність використання багатофункціонального сепараційного обладнання з динамічно-регульованими визначення ефективності гідромеханічних і тепломасообмінних процесів, яка ґрунтується на комплексному застосуванні засобів штучного інтелекту.

У висновках викладено основні результати дисертаційної роботи.

Зв'язок докторської дисертації з кандидатською. Положення та висновки, захищені здобувачем у кандидатській дисертації, в тексті докторської дисертації не виявлені.

Щодо автореферату та дисертаційної роботи є наступні зауваження:

1. У п. 3.1.1 дисертації, присвяченому дослідженню характеристик газодисперсного потоку в каналі зі стінкою, що здійснює механічні коливання, наведено систему диференціальних рівнянь гідродинаміки (3.1)-(3.2). При цьому на стор. 150 доцільно було б більш детально описати застосовані припущення та спрощення.
2. Для визначення ефективності процесу сепарації газодисперсних систем застосовується коефіцієнт сепарації та фракційна ефективність. Проте в п. 3.1.5 для оцінювання ефективності впливу накладених вібрацій на двофазний потік ці характеристики не застосовувались.
3. Під час дослідження ефектів, пов'язаних із накладанням вібраційного впливу на процес капілярного підйому вловленої рідини (розділ 3) варто було б, з одного боку, навести порівняльну характеристику запропонованого підходу порівняно з емпіричними залежностями

Бореллі-Жюрена, а з іншого – пояснити доцільність переходу від запропонованого диференціального рівняння (3.1.151) до спрощеного (3.1.154).

4. У розділі 4 дисертації у результаті дослідження динаміки краплинної рідини у процесі вібраційної грануляції одержано вирази для безрозмірних компонент швидкості краплі. Водночас, на стор. 235 не зазначається, які саме числові значення безрозмірного радіуса (r^*) та показника степені (n_i) застосовувались у регресійній моделі (4.28) для одержання безрозмірного показника степені (α), що визначає граничний радіус краплі (r^{**}).
5. Для дослідження процесу передачі енергії від механічного збудника коливань до корзини віброгранулятора з урахуванням пружно-демпфуючих характеристик рідинного шару здобувачем застосовано дискретні математичні моделі. На мою думку, потрібно було зазначити переваги такого підходу для дослідження механізму вібраційного впливу на плав рідини в процесі віброгрануляції порівняно з іншими методами, що застосовуються під час досліджень процесу розповсюдження віброакустичних коливань у суцільному середовищі.
6. Також не конкретизовано, у чому саме полягають переваги запропонованого підходу щодо визначення критичних частот коливань, а також дослідження вимушених коливань із застосуванням матричних співвідношень (4.78) та (4.83).
7. У п'ятому розділі дисертації здобувачем досліджується поверхня контакту фаз із застосуванням ймовірнісного підходу. Водночас, необхідно було б пояснити доцільність застосування законів рівномірного та нормального розподілів густини для врахування розподілу частинок дисперсної фази за розмірами.
8. Для дослідження поверхні контакту фаз у розпилювальній вежі варто було б зазначити переваги застосування ймовірнісного підходу до визначення поверхні контакту фаз порівняно з традиційним, пов'язаним із використанням об'ємно-поверхневого діаметра Саутера.
9. Не зрозумілим є обґрунтування вибору програмного забезпечення для здійснення чисельного розрахунку контактної взаємодії зубчастої пари привода під час дослідження надійності обертового віброгранулятора.

Вказані зауваження не мають принципового характеру та не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Висновок. Аналізуючи позитивний науковий доробок автора і вище відзначені зауваження вважаю за необхідне зробити наступний висновок: дисертаційна робота Павленко Івана Володимировича «**Науково-теоретичні основи вібраційних процесів у гетерогенних системах**», є завершеною науковою працею, в якій одержано результати, які в сукупності вирішують важливу науково-практичну проблему та містять нові вагомі наукові результати в області розвитку теоретичних уявлень і експериментальних досліджень пов'язаних із впливом накладених вібрацій на процеси сепарації газокраплинних систем, грануляції плавів, пневмокласифікації механічних сумішей. Створені математичні моделі і методи розрахунку дають змогу вирішувати актуальні науково-практичні задачі щодо інтенсифікації хіміко-технологічних процесів. За актуальністю, науковою новизною, глибиною наукових досліджень, достовірністю та практичною цінністю, об'ємом та змістом дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, а її автор, Павленко Іван Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

Офіційний опонент

завідувач кафедри хімічної інженерії
Національного університету
“Львівська політехніка”
д.т.н., професор

В.М. Атаманюк

Підпис професора Атаманюка В.М.
ЗАСВІДЧУЮ:
Вчений секретар Національного університету
“Львівська політехніка”



Р.Б. Брилинський