

ВІДГУК

офіційного опонента **Гавви Олександра Миколайовича** на дисертаційну роботу Магерус Надії Іванівни «Обґрунтування параметрів та режимів роботи вібраційних об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних сипких матеріалів», поданої до захисту у спеціалізовану вчену раду Д 35.052.06 Національного університету «Львівська політехніка» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.02 – машинознавство

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Ринок пакованої продукції на сьогодні багатий на дрібнодисперсні сипкі матеріали (СМ). До них можна віднести продукцію із умовним діаметром частинок менше 50 мкм, а саме: борошно, цукор-пудра, крохмаль, цемент, сухі будівельні суміші та ін. Дозування цих матеріалів створює чимало труднощів, пов'язаних із нестабільною насипною щільністю, налипанням на робочі поверхні, зависанням, нерівномірністю витікання продукту, утворенням грудок тощо. Оскільки проблеми, пов'язані з непрогнозованою поведінкою об'єкту дозування, обмежують використання об'ємних дозаторів, що можна характеризувати як високопродуктивні та мають простоту конструкцію, тому основним напрямком вдосконалення дозаторів такого типу є підвищення показників ефективності процесу дозування шляхом забезпечення неперервного та рівномірного витікання продукції із бункера. Ефективним способом досягнення цієї мети є використання впливу динамічної дії вібрації на дрібнодисперсний СМ. Однак відсутність на сьогодні чітких рекомендацій щодо вибору параметрів та режимів роботи дозаторів із дрібнодисперсними СМ обмежують їх використання. Тому обґрунтування геометричних, кінетичних і динамічних параметрів об'ємних дозаторів із вібраційними живильниками для дрібнодисперсних СМ та встановлення оптимальних режимів їх роботи є актуальним завданням, вирішення якого дасть можливість підвищити точність та продуктивність дозування.

Актуальність роботи підтверджена ще і тим, що вона відповідає одному із напрямків четвертої промислової революції та пріоритетному напрямку наукових досліджень кафедри механіки та автоматизації машинобудування Національного університету «Львівська політехніка».

2. Аналіз структури та змісту дисертаційної роботи

Основний зміст дисертаційної роботи викладений на 148 сторінках і складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 125 найменувань, 64 рисунків, 10 таблиць та 7 додатків на 34 сторінках. Загальний обсяг відповідає загальноприйнятим вимогам до кандидатських робіт.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовано мету та завдання досліджень, наукову новизну та практичну цінність результатів роботи, наведено результати впровадження у виробництво та навчальний процес, вказано особистий внесок автора, подано інформацію про апробацію роботи.

У *першому розділі* (с. 10...35) проведено аналіз літературних джерел, присвячених особливостям конструкцій вібраційних живильників об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних СМ та впливу режимів коливань робочих органів живильника на його ефективність роботи. Також проаналізовано розроблені науковцями математичні моделі поведінки сипкої продукції у процесі її переміщення та дозування. Встановлено, що сьогодні відсутній системний підхід до проектування вібраційних живильників об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних СМ, оскільки наявні дослідження носять вибіркового характеру і стосуються дозаторів для грубодисперсних СМ.

Результати аналізу засвідчили потребу в обґрунтуванні раціональних режимів роботи та геометричних параметрів вібраційних живильників об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних СМ на основі комплексного підходу до визначення впливу фізико-механічних властивостей продукції на процес переміщення і дозування на процес дозування, і, тим самим, точність та продуктивність роботи дозатора. На основі узагальнень дослідження, наведених у першому розділі визначено напрямки подальших досліджень у роботі.

Другий розділ дисертації (с. 36...81) присвячений розробленню математичних моделей руху дрібнодисперсних СМ із розвантажувальної лунки живильника при гравітаційному переміщенні та під дією вібрації.

Використавши методи дослідження напруженого стану продукції під час дозування досліджено умови формування склепіння над випускним отвором розвантажувальної лунки; встановлені залежності для визначення основних параметрів розвантажувальної лунки живильника дозатора та досліджено вплив на них фізико-механічних властивостей СМ. Використавши закони механіки суцільного середовища промодельовано поведінку дрібнодисперсного СМ під дією вібрації, що безпосередньо впливає на продуктивність та точність об'ємного дозатора. Досліджено три можливі стани продукції дозування під дією вібрації: ущільнення, циркуляційні та хаотичні рухи. При аналізі варіантів підвищення ефективності роботи складових вібраційних об'ємних дозаторів здійснено оцінку впливу фізико-механічних властивостей продукту дозування та геометричних параметрів розвантажувальної лунки живильника дозатора на вибір режимів його роботи. Досліджено вплив амплітуди та частоти коливань робочих органів живильника дозатора та параметрів розвантажувальної лунки на продуктивність його роботи.

У *третьому розділі* (с. 82...115) наведено результати експериментальних досліджень впливу режимів роботи дозатора на умовну кінематичну в'язкість дрібнодисперсних матеріалів. Одержано математичні залежності, що дають можливість встановити вплив амплітуди та частоти коливань робочого органу живильника дозатора, а також висоти шару пшеничного борошна та цементу на його умовну в'язкість. Результати проведених досліджень дають можливість залежно від фізико-механічних властивостей дрібнодисперсного СМ та геометричних параметрів розвантажувальної лунки підібрати потрібні режими роботи живильника, що забезпечують його високу точність та продуктивність. Також експериментально досліджено зміну продуктивності та точності вібраційного живильника об'ємного дозатора для пшеничного борошна та цементу. Встановлено, що при певних значеннях амплітуди та частоти коливань робочих органів живильника дозатора, які можна визначити із розробленої математичної моделі та проведених експериментальних досліджень, забезпечується висока ефективність роботи вібраційного об'ємного дозатора. Досліджено режими роботи живильника, що характеризуються

нерівномірністю переміщення та непрогнозованою поведінкою дрібнодисперсного СМ, а, відповідно, і низькою точністю дозування. Результати експериментальних досліджень доповнюють та підтверджують розроблені математичні моделі.

В *четвертому розділі* дисертаційної роботи (с. 116...147) запропоновано конструкцію об'ємного дозатора з вібраційним живильником та методику його проектування. Встановлено залежності для визначення амплітуди та частоти коливань завантажувального бункера та геометричних розмірів фрикційного механізму повороту відсікаючих дисків мірника. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень визначено шляхи підвищення ефективності роботи об'ємних дозаторів із вібраційним живильником для дрібнодисперсних СМ. Також експериментально досліджено вібротранспортування дрібнодисперсного СМ із насадки живильника до мірника дозатора: встановлено залежність швидкості вібраційного транспортування дрібнодисперсного СМ від товщини шару продукції, що переміщається, режиму перевантаження, кута зсуву фаз та кута нахилу робочої поверхні; проаналізовано вплив кута нахилу робочої поверхні на товщину шару СМ, який раціонально переміщувати по ній. Промодельовано та теоретично досліджено параметри вібрації, що необхідні для забезпечення відриву налиплого шару СМ від поверхні робочих органів дозатора. Встановлено оптимальні режими коливань робочих органів живильника об'ємного дозатора з конічним днищем, що забезпечують його ефективну роботу.

Дисертаційна робота завершується загальними висновками та списком використаних джерел інформації.

У *додатках* (с. 165...199) представлені матеріали, що розкривають суть дисертаційного дослідження, а саме: розгорнутий математичний опис зведення рівнянь Нав'є-Стокса, якими описано рух СМ під дією вібрації, до моделі Лоренца, що дає можливість прогнозувати рівномірність переміщення продукції дозування; матриці планування та результатів повнофакторного експерименту при дослідженні умовної ефективної в'язкості пшеничного борошна та цементу та таблиці їх регресійного аналізу; критичні значення

коефіцієнтів відтворюваності та адекватності експериментальних досліджень; табличні значення показників Ляпунова, що дають можливість визначити ступінь хаотичності руху СМ під дією вібрації; таблиці з результатами експериментальних досліджень із визначення продуктивності дозатора для пшеничного борошна та цементу; програма для визначення амплітуди та частоти коливань робочих органів дозатора для дрібнодисперсних СМ, що забезпечуватимуть його ефективну роботу; акти впровадження результатів дисертаційних досліджень.

3. Наукова новизна результатів дисертаційних досліджень.

На основі аналізу матеріалів дисертаційної роботи можна відмітити таку її наукову новизну – науково обґрунтовано параметри та режими роботи вібраційних живильників об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних сипких матеріалів, у тому числі:

- розроблено математичні моделі руху дрібнодисперсних СМ із конічної розвантажувальної лунки живильника дозатора при гравітаційному переміщенні та під дією вібрації;

- отримано аналітичні залежності для визначення геометричних параметрів розвантажувальної лунки та режимів роботи вібраційного живильника об'ємного дозатора для дрібнодисперсних СМ;

- обґрунтовано параметри та встановлено оптимальні режими роботи із вібраційним живильником об'ємного дозатора для дрібнодисперсних СМ.

4. Практичне значення результатів роботи.

Практична цінність дисертаційних досліджень полягає в тому, що: обґрунтовано параметри та режими роботи вібраційних живильників об'ємних дозаторів, які дають можливість під час проектування спрогнозувати поведінку продукції дозування і тим самим задану точність та продуктивність дозатора; розроблена методика проектування вібраційних живильників об'ємних дозаторів дає можливість, враховуючи властивості дрібнодисперсного сипкого матеріалу, встановити оптимальні параметри та режими роботи вібраційних живильників; результати дисертаційних досліджень впроваджені на ТЗОВ

«ІнтерПЕТ», м. Львів у вигляді конструкції об'ємного дозатора із вібраційним живильником для дрібнодисперсних СМ та методики розрахунку технологічних і кінематичних параметрів. Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес Національного університету «Львівська політехніка» під час підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційних рівнів бакалавр напрямку 6.050502 «Інженерна механіка», спеціаліст та магістр за спеціальністю 7(8).05050206 «Машини та технологія пакування».

5. Оцінка достовірності та обґрунтованість основних положень дисертації.

Достовірність отриманих наукових результатів базується на використанні класичних методів дослідження напруженого стану сипкого матеріалу; математичного моделювання процесу переміщення продукції під дією вібрації з використанням методів гідродинаміки (закону Бернуллі, рівнянь Нав'є-Стокса), термодинаміки (наближення Буссінеска), чисельного розв'язку систем диференціальних рівнянь (методу Рунге-Кутта) та методів дослідження стійкості динамічних систем (критеріїв Ляпунова). Експериментальні дослідження проводились на основі класичних методів планування багатофакторного експерименту. Результати аналітичних та експериментальних досліджень оброблено за допомогою пакетів програм MathCAD, Derek, Excel. Достовірність наукових результатів забезпечується високою збіжністю експериментальних і аналітичних досліджень.

Виходячи з вище наведеного, ступінь обґрунтованості, достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, запропонованих автором, не викликає сумнівів.

6. Аналіз публікацій дисертаційного дослідження.

Основні наукові положення дисертаційної роботи представлені у 17 наукових публікаціях, з яких: 6 статей у фахових виданнях України, 2 статті в виданнях, що входять у наукометричну базу РІНЦ, з яких одна стаття є також фаховим виданням України, 8 публікацій у матеріалах конференцій, 1 деклараційний патент України на корисну модель. Внесок автора у підготовку публікацій, відображених у авторефераті, є визначальним.

7. Зауваження та побажання до дисертації та автореферату.

7.1. У дисертаційній роботі автор досліджує не дозатор, а живильник дозатора, який є складовою бункера і загалом дозувально-фасувального модуля.

7.2. У роботі не уточнено режими роботи випускного каналу бункера-періодичний чи безперервний? Якщо періодичний, то як впливають перехідні режими на точність дозування або стабільність потоку продукції?

7.3. Формування миттєвого склепоутворення обмежує пропускну здатність випускного каналу бункера, тому що $R_e < R_{кр}$.

7.4. Автор у роботі розглядає тільки конічні частини бункера та днища. Як відомо конусний канал не забезпечує стале значення коефіцієнта звуження, тобто і сталість швидкості переміщення частинок сипкої продукції. Чи не є доцільним розглянути й інші форми випускного каналу бункера?

7.5. Незважаючи на прийняті припущення, бажано для оцінювання опору переміщення сипкої продукції в каналі бункера ввести інший термін, а не кінематична в'язкість, як для в'язкої продукції.

7.6 Доречно кожний розділ завершувати висновками. Так, на основі висновків першого розділу бажано сформулювати завдання подальших досліджень.

7.7 На с. 45 дисертаційної роботи автор декларує пошук оптимальних параметрів розвантажувальної лунки бункера, але не зрозуміло які методи і критерії оптимізації використано?

7.8 У рівнянні регресії 3.4 не враховано добуток трьох факторів.

7.9 У розділі 3.3 не уточнено, яким чином забезпечується стале значення висоти продукції у бункері.

7.10 Графіки, наведені на рис. 3.8, 3.9, 3.10, бажано навести в обробленому вигляді.

7.11 Експериментальні дослідження проведені для обмежених геометричних параметрів бункера, а як бути із виробничими зразками?

7.12 У загальних висновках до дисертаційної роботи не відображено економічний ефект від впровадження результатів дослідження у виробництво.

Зауваження, зроблені до дисертації та автореферату, не мають

вирішального значення і мають, здебільшого, рекомендаційний характер. Вказані зауваження не знижують наукового рівня одержаних результатів, які виносяться дисертантом на захист.

8. Загальний висновок по дисертаційній роботі.

8.1. Дисертаційна робота за змістом і обсягом проведених досліджень є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати в пакувальному машинобудуванні.

Дисертантом розв'язане актуальне науково-технічне завдання – обґрунтування параметрів та режимів роботи вібраційних живильників об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних сипких матеріалів, яке дає можливість підвищити ефективність їх проектування та експлуатації. Одержані автором результати є новими та впроваджені у виробництво і навчальний процес.

8.2. Автореферат достатньо точно і повно відображає основні положення дисертаційної роботи, а його зміст є ідентичним зі змістом дисертації.

8.3. На основі наведеного вище вважаю, що дисертаційна робота Магерус Н. І. «Обґрунтування параметрів та режимів роботи вібраційних об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних сипких матеріалів» є завершеною самостійною науковою працею, яка відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів вищої кваліфікації Міністерства освіти і науки України до кандидатських дисертацій, а її автор Магерус Надія Іванівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.02 – машинознавство.

Завідувач кафедри
машин і апаратів харчових та фармацевтичних
виробництв Національного університету харчових
технологій, доктор технічних наук, професор



Підпис(и) *О.М. Гавва*
затверджую
зач. відділу кадрів НУХТ *Беседа С.Д.*
08. 12. 2016р.

О.М. Гавва