

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Романюк Вадим Олександрович

УДК 621.316

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПЕРЕРОБНИХ МАШИН НА
ПРИНЦИПАХ АПАРАТІВ ВИХРОВОГО ШАРУ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Романюк В.О.

Керівник роботи

Дерев'янку Д.А.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Романюк Вадим Олександрович. Удосконалення конструкції переробних машин на принципах апаратів вихрового шару. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В магістерській роботі встановлено, що основним недоліком наявних конструкцій апаратів вихрового шару є низький коефіцієнт потужності, близько 0,2-0,4. Це пов'язано з великою часткою реактивної потужності, яку ці апарати споживають. Цей недолік спільний для всіх апаратів вихрового шару, оскільки магнітне поле, що генерується індуктором, не замикається на магнітопровід, а через феромагнітні елементи розсіюється в просторі.

Визначено напрямок удосконалення апаратів вихрового шару за рахунок розташування всередині робочої камери ротора, виконаного з певним кільцевим зазором для проходження оброблюваного середовища. Розроблено конструкцію апарату вихрового шару з ротором, що обертається всередині робочої камери

Проведені порівняльні випробування розробленого апарату вихрового шару з ротором, що обертається всередині робочої камери і класичного апарату вихрового шару з розмелювання річкового піску показали, що в розробленого апараті вихрового шару час на оброблення продукту зменшився вдвічі, а споживання енергії – в 2,17 разів.

Перспективою подальшого розроблення теми є вдосконалення конструкцій і розвиток апаратів вихрового шару, як технологічних машин переробки різного виду сировини.

Ключові слова: апарат вихрового шару, ротор, індуктор, конструкція, робоча камера.

ANNOTATION

Romaniuk Vadym Oleksandrovysh. Improvement of the design of processing machines on the principles of vortex layer devices. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The master's thesis found that the main disadvantage of the existing designs of vortex bed devices is a low power factor of about 0.2-0.4. This is due to the large share of reactive power that these devices consume. This disadvantage is common to all vortex layer devices, since the magnetic field generated by the inductor is not closed on the magnetic circuit, but is scattered in space through ferromagnetic elements.

The direction of improvement of the vortex layer apparatus is determined by placing a rotor inside the working chamber with a certain annular gap for the passage of the processed medium. The design of the vortex layer apparatus with a rotor rotating inside the working chamber was developed

Comparative tests of the developed vortex layer apparatus with a rotor rotating inside the working chamber and the classical vortex layer apparatus for grinding river sand showed that the time for processing the product in the developed vortex layer apparatus was halved, and energy consumption was reduced by 2.17 times.

The prospect of further development of the topic is to improve the design and development of vortex layer devices as technological machines for processing various types of raw materials.

Keywords: vortex layer apparatus, rotor, inductor, design, working chamber.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ПРОЦЕСИ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ ПІД ЧАС ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ В АПАРАТІ ВИХРОВОГО ШАРУ, НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АПАРАТУ ВИХРОВОГО ШАРУ ТА ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	14
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АПАРАТУ ВИХРОВОГО ШАРУ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	22
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Нині, виходячи з несприятливої екологічної та економічної ситуації, що склалася, є актуальним розроблення та впровадження сучасних машин, спрямованих на комплексну переробку відходів сільськогосподарського виробництва.

Наприклад, екологічно небезпечними є відходи цукрового виробництва. Проблема переробки відходів цукрового виробництва розв'язується шляхом їх глибокого перероблення за допомогою сучасної технології, що ґрунтується на застосуванні апаратів вихрового шару (АВШ). До переваг АВШ можна віднести універсальність і малогабаритність, а до недоліків велику енергоємність, пов'язану з низькою ефективністю передавання енергії від магнітного поля, що обертається, феромагнітним елементам, що потребує їхнього вдосконалення.

У зв'язку з цим, можна вважати актуальною і такою, що має важливе значення для розвитку машинобудування наукову задачу, яка полягає в підвищенні ефективності апаратів вихрового шару шляхом введення до робочої камери електрично активного ротора.

Об'єкти досліджень: апарати вихрового шару нових конструктивних схем.

Предмет досліджень: ефективність запропонованих конструктивних схем апаратів вихрового шару як технологічної машини.

Мета роботи полягає у збільшенні ефективності апарату вихрового шару шляхом введення в робочу камеру машини обертового ротора та вибору його раціональних розмірів.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено такі завдання дослідження:

1) проаналізовано основні недоліки наявних АВШС і визначено напрями їхнього вдосконалення;

2) розроблено нову перспективну конструктивну схему АВШ

3) оцінено ефективність апарата нової конструкції та розроблено методику визначення раціональних значень основних параметрів АВШ нової конструктивної схеми під час проектувальних розрахунків.

Методи наукового дослідження. Під час виконання роботи використовували розрахункові методи оцінки ефективності машин, розрахункові методи електродинаміки, елементи теорії планування експерименту та статистичного опрацювання експериментальних даних.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Романюк В.А.** Науково-методичні основи чисельного моделювання механізованих процесів агропромислового виробництва. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 321-324.

2. Дерев'янюк Д.А., Герасимчук А.А., **Романюк В.А.** здобувач освіти Експериментальна камера динамічного інфрачервоного сушіння рослинної сировини. XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві». (01-18 жовтня 2024 р.). <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 01.12.2024).

3. **Романюк В.О.** Конструктивні особливості апарата вихрового шару. Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 25-26.

Практичне значення одержаних результатів. Практична значущість полягає в розробці АВШ нової конструктивної схеми і визначенні раціональних значень основних параметрів при проектувальних розрахунках.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 24 найменувань.

Загальний обсяг роботи становить 32 сторінки комп'ютерного тексту, містить 12 рисунків та 3 таблиці.

РОЗДІЛ 1

ПРОЦЕСИ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ ПІД ЧАС ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ В АПАРАТІ ВИХРОВОГО ШАРУ, НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ

1.1 Поняття вихрового шару

Методом інтенсифікації технологічних процесів при переробці є комплексна обробка в АВШ за рахунок впливу на них обертового електромагнітного поля [4]. Використання принципу вихрового шару дозволяє інтенсифікувати цілу низку технологічних процесів за рахунок комплексного впливу на оброблювані речовини активного перемішування і диспергування, акустичної та електромагнітної [7] обробки, тертя, високих локальних тисків, електролізу [9, 7]. Складні фізичні, хімічні та механо-хімічні явища, що мають місце у вихровому шарі, недостатньо вивчені, хоча апарати з вихровим шаром уже знайшли застосування в різних галузях промисловості [4, 12, 14]. Що вказує на необхідність розгляду деяких аспектів АВШ, які дають змогу визначити шляхи їх подальшого вдосконалення.

Процеси, які відбуваються у вихровому шарі, можуть бути розділені на такі типи:

- подрібнення твердих речовин у рідких дисперсійних середовищах;
- активація поверхні частинок твердих речовин;
- здійснення хімічних реакцій;
- зміна фізичних і хімічних властивостей речовин.

Така класифікація має умовний характер, оскільки здебільшого всі або багато з перерахованих процесів відбуваються одночасно. Безліч чинників, якими у вихровому шарі можна впливати на речовину в потрібному напрямі, вимагає насамперед знання фізичної сутності [1] явищ і закономірностей, що відбуваються у вихровому шарі [2].

Складність явищ, що відбуваються у вихровому шарі, вимагає особливого підходу до створення апаратів різного призначення і систем управління ними [4].

1.2 Фактори, що впливають на процеси у вихровому шарі

Найповніше процеси, що відбуваються в апаратах вихрового шару описано в [5]. У цій роботі розглянуто такі чинники:

1. Сили й моменти, що діють на феромагнітні елементи у вихровому шарі;
2. Рух феромагнітних елементів у вихровому шарі;
3. Критичний коефіцієнт заповнення робочої зони феромагнітними елементами;
4. Магнітні поля вихрового шару [1];
5. Акустичні коливання середовища;
6. Поведінка немагнітних частинок у вихровому шарі;
7. Процес перемішування;
8. Ударні взаємодії частинок у вихровому шарі;
9. Активація речовин у вихровому шарі;
10. Електризація у вихровому шарі;
11. оптимальні режими роботи.

У загальному вигляді більшість процесів, які можна реалізувати з використанням АВШ, умовно розбиваються на три категорії:

- фізичні (перемішування або подрібнення твердих речовин у сухому вигляді або в рідинах);
- хімічні (органічний або неорганічний синтез);
- змішані, в яких мають місце одночасно ті й інші явища.

Відомо, що у вихровому шарі є кілька чинників, які сприяють прискоренню процесів: інтенсивне перемішування і диспергування фаз, високі локальні тиски завдяки зіткненню частинок, акустичні коливання оброблюваного середовища, швидкозмінні за величиною і напрямком електромагнітні поля, різниця

потенціалів на феромагнітних елементах [1,11], що призводить до явищ електролізу. Кожен із цих чинників [11] по-різному впливає на процеси [6], тому завдання вибору оптимальних режимів роботи АВШ є досить складним [5]. Поняття раціонального режиму роботи АВШ містить у собі максимальне використання тих чинників, які притаманні тільки вихровому шару.

Температура процесу [5,8], зовнішній тиск та інші параметри мають бути враховані в кожному конкретному випадку. Змішані процеси являють собою найзагальніший і найскладніший випадок. Очевидно, що найбільша швидкість хімічного процесу за участю твердої фази відповідає випадку максимальної площі зіткнення фаз (за інших рівних умов). У разі переробки ЗШО процес протікає за найбільшої швидкості диспергування твердої фази. Ідеальним випадком для цього була б умова, за якої сила удару і частота докладання сили були б максимальними [6]. Аналогічний висновок справедливий і щодо впливу локальних тисків. Швидкість хімічного процесу є найбільшою за умови максимальних значень величини тиску і частоти його зміни [5]. При цьому, обидві ці величини є наслідком зіткнення феромагнітних елементів. Оскільки акустичні коливання середовища здебільшого спричинені цими самими ударами, а енергія акустичної хвилі також пропорційна амплітуді тиску і частоті, то й тут справедливі попередні висновки.

Величина різниці потенціалів на феромагнітних елементах також є функцією сили та частоти зіткнення феромагнітних елементів [8]. Отже, від цих же чинників залежить і швидкість процесу електролізу [5], якщо він, у даному конкретному випадку, можливий. Вплив електромагнітного поля на кінетику хімічного процесу можна оцінити за величиною роботи, яку здійснює це поле над системою, що розглядається. Відомо, що максимальна сила, яка здійснює цю роботу, відповідає випадку найбільшої величини індукції і швидкості її зміни.

1.3. Конструктивні особливості апарата вихрового шару

Апарат вихрового шару (рис. 1.1) складається зі спеціального індуктора 1, що дає змогу створити обертові магнітні поля необхідної потужності. Як сердечник використовується статор асинхронного електродвигуна [24].

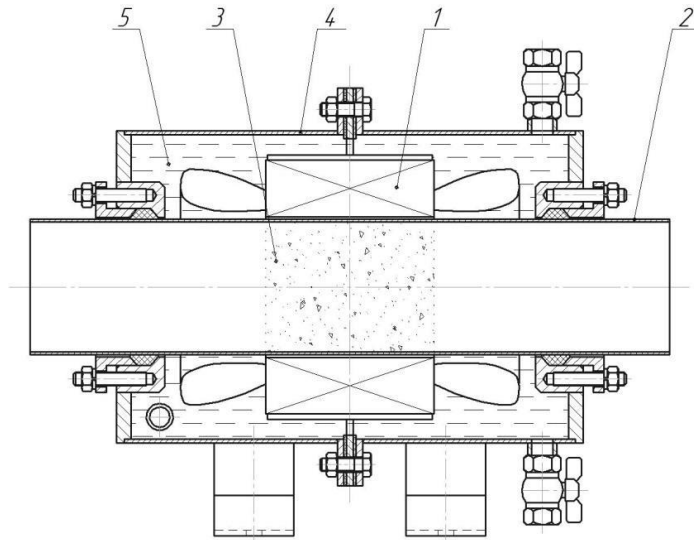


Рис. 1.1. Конструктивна схема АВШ

Усередині статора встановлено трубу 2 з нержавіючої сталі або пластику, в яку завантажуються феромагнітні елементи 3 зі сталі у формі циліндрів діаметром від 1 до 4 мм і довжиною від 8 до 40 мм. Можливе завантаження елементів, вигнутих в одній або двох площинах для більшої активізації взаємодії з полем котушок статора, внаслідок чого феромагнітні елементи з великою швидкістю обертаються в трубі, інтенсивно стикаючись. При цьому вони взаємодіють з оброблюваним середовищем. Труба закріплена в корпусі 4, який заповнений трансформаторною оливою 5 [24].

Початковий вплив на продукт здійснюється механічно при сильному перемішуванні його з феромагнітними елементами, що спричиняє стирання і розмелювання матеріалу до субмікронних розмірів [24].

Подальший вплив на продукт у рідкому середовищі визначається кавітацією, що виникає під час вібрації феромагнітних елементів, спричиненої зіткненням і зміною їхніх розмірів під час впливу змінного магнітного поля

(магнітострикційний ефект). Кавітація можлива і від іскріння при замиканні феромагнітних елементів між собою [24].

Основну частину впливу здійснюють магнітні поля. Напруга на феромагнітних елементах виникає під час їхнього руху всередині індуктора в магнітному полі котушок, яке випереджає за швидкістю обертання цих елементів. Різниця у швидкостях обертання (ковзання) викликана гідродинамічним і механічним опором оброблюваних середовищ. Відбувається і гальванічний вплив феромагнітних елементів на оброблюваний матеріал. Різниця потенціалів, що виникає між елементами в самому середовищі, що рухається в магнітному полі, викликає струми в ньому. Магнітні поля здійснюють вплив на оброблюваний матеріал, що викликає його структурні зміни [24].

Електророзряди, що виникають під час замикання феромагнітних елементів, опромінюють оброблюваний матеріал у видимій та ультрафіолетовій сферах спектра [24].

Для охолодження індуктор поміщений у корпус 4, наповнений трансформаторною оливою 5, яке прокачується через радіатор, що охолоджується вентилятором. Живлення АВС подається від трифазної мережі 380 В [24].

Температурний захист АВС складається з трьох позисторів, закріплених у фазні обмотки індуктора, і блока керування, що відключає установку в разі перевищення робочої температури [24].

При цьому необхідно зазначити, що за своєї простоти конструкції, АВС має не найвищий ККД за рахунок високого розсіювання магнітного поля всередині робочої камери. Це пов'язано з тим, що на відміну від електродвигунів, де таким магнітопроводом є обертовий ротор, не відбувається замикання магнітного поля. Тому $\cos\phi$ асинхронних короткозамкнених двигунів дорівнює 0,9, а у АВС у середньому 0,3. Ротор в електродвигунах виконано з мінімальними зазорами, щоб розсіювання магнітного поля було мінімальним. Така конструкція не підходить, тому що АВС є машиною, через яку має проходити оброблюване

середовище. Це передбачає наявність прохідного перерізу, тобто між ротором та індуктором має бути присутній зазор [24].

Висновки по розділу

1. Аналіз наявних конструкцій АВШ показав, що їхнім основним недоліком є низький коефіцієнт потужності, порядку 0,2-0,4. Це пов'язано з великою часткою реактивної потужності, яку ці апарати споживають. Реактивна потужність необхідна на утворення магнітного поля. Цей недолік спільний для всіх АВС, оскільки магнітне поле, що генерується індуктором, не замикається на магнітопровід, а через феромагнітні елементи розсіюється в просторі. Оскільки маса феромагнітних елементів невисока, то повноцінним магнітопроводом вони виступити не можуть. Зменшити реактивну потужність можна тільки вдосконаленням АВШ. Для цього необхідно магнітне поле замикати на магнітопровід.

2. Зроблено припущення, що подібним магнітопроводом може бути розташований усередині робочої камери ротор, виконаний з певним зазором для проходження оброблюваного середовища. З погляду концентрації магнітної енергії наявність ротора є позитивним моментом, оскільки дає змогу обробляти продукт не в усьому об'ємі робочої камери, а тільки в строго визначеному зазорі між індуктором і ротором.

3) На підставі вищевикладеного визначено мету роботи: вдосконалення апарату вихрового шару шляхом введення в робочу камеру машини обертового ротора і вибору його раціональних розмірів.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА АПАРАТУ ВИХРОВОГО ШАРУ ТА ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Розробка АВШ нової конструкції

На основі проведеного в розділі 1 аналізу було розроблено конструкцію АВШ, яка на відміну від відомих апаратів має розташований усередині робочої камери обертовий ротор [1, 2, 3, 4]. При цьому між ротором і внутрішнім діаметром індуктора є кільцевий зазор для проходження оброблюваного середовища. Сама обробка середовища здійснюється феромагнітними елементами, розташованими в кільцевому зазорі.

Конструкція пояснюється рис. 2.1, на якому представлено схему пристрою.

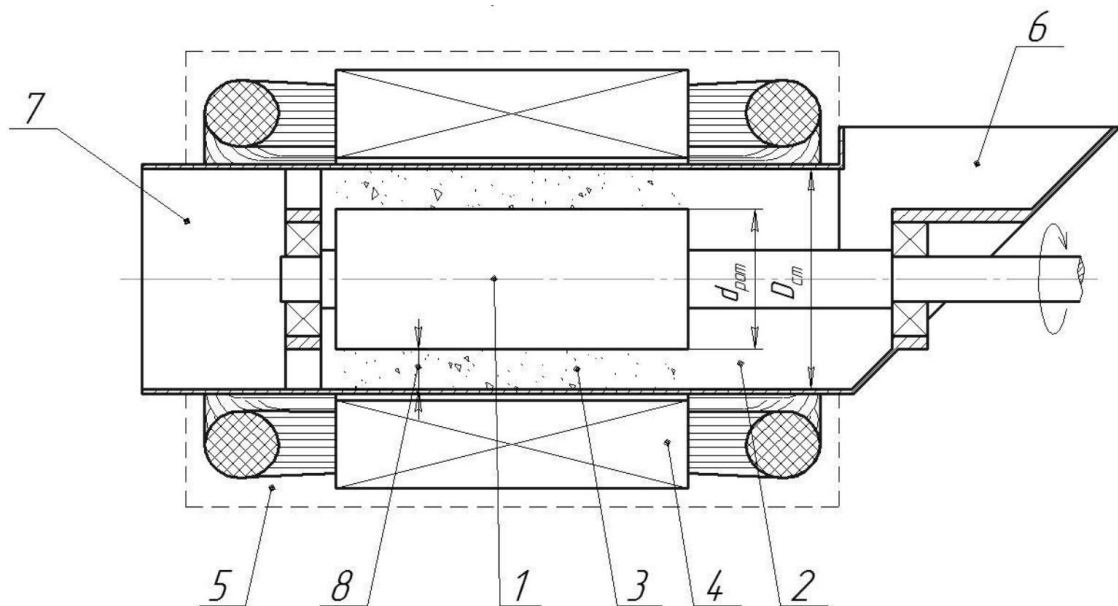


Рис. 2.1. Конструкція приводного АВШ.

Пристрій містить ротор 1, активну зону 2, феромагнітні елементи 3, індуктор 4, систему 5 охолодження індуктора довільного типу, завантаження 6 оброблюваного матеріалу, вивантаження 7 отриманого продукту.

Пристрій працює таким чином.

Початкова сировина через завантаження 6 подається в активну зону 2, де надходить у кільцевий зазор 8, утворений діаметром ротора 1 і внутрішнім діаметром індуктора 2, з ферромагнітними елементами 3, що знаходяться в ньому і перебувають у русі. Цей рух підтримується електромагнітним полем, воно ж утримує ферромагнітні елементи в кільцевому зазорі

8. Електромагнітне поле генерується обертанням ротора 1 від зовнішнього приводу (генераторний режим) або подачею напруги в індуктор (моторний режим). Під час проходження сировини через кільцевий зазор 8 відбувається інтенсивне зіткнення ферромагнітних елементів 3 із сировиною, і тим самим здійснюється вплив на неї. При проходженні зазору 8, оброблений матеріал надходить до вивантаження 7 для видалення з пристрою. Система охолодження 5 утримує температуру обмоток індуктора в робочому діапазоні. У процесі роботи пристрою в приводному режимі можливе знімання з індуктора 4 електроенергії.

Таким чином, виникає питання про оцінку впливу ротора на характеристики машини.

Для оцінки залежності основних параметрів від зазору між ротором та індуктором необхідно сформулювати концепцію, на підставі якої буде проводитися ця оцінка. Завдання про розімкнутий магнітопровід [2, 11] не є стандартним, класичні електротехнічні пристрої з розімкненими магнітними системами не працюють [4,7]. Тому для попередньої оцінки буде використовуватися геометрична концепція збільшення об'ємної концентрації.

Нехай, як видно з рис 2.2а, D – діаметр індуктора (активної зони), d – діаметр ротора, поміщеного в активну зону, L – довжина активної зони. Тоді ступінь впливу присутності ротора в активній зоні можна оцінити як відношення об'єму індуктора V до об'єму простору $V - v$, утвореного D , d і завдовжки L .

Графічно коефіцієнт залежності основних параметрів представлений на малюнку 2.2б, з якого видно значне зменшення основних параметрів у разі збільшення зазору між ротором та індуктором.

Зазначені в розділі 2.1 режими роботи потребують оцінки їхньої ефективності для вибору з них найбільш придатного для подальшого використання в перспективних конструкціях АВШ.

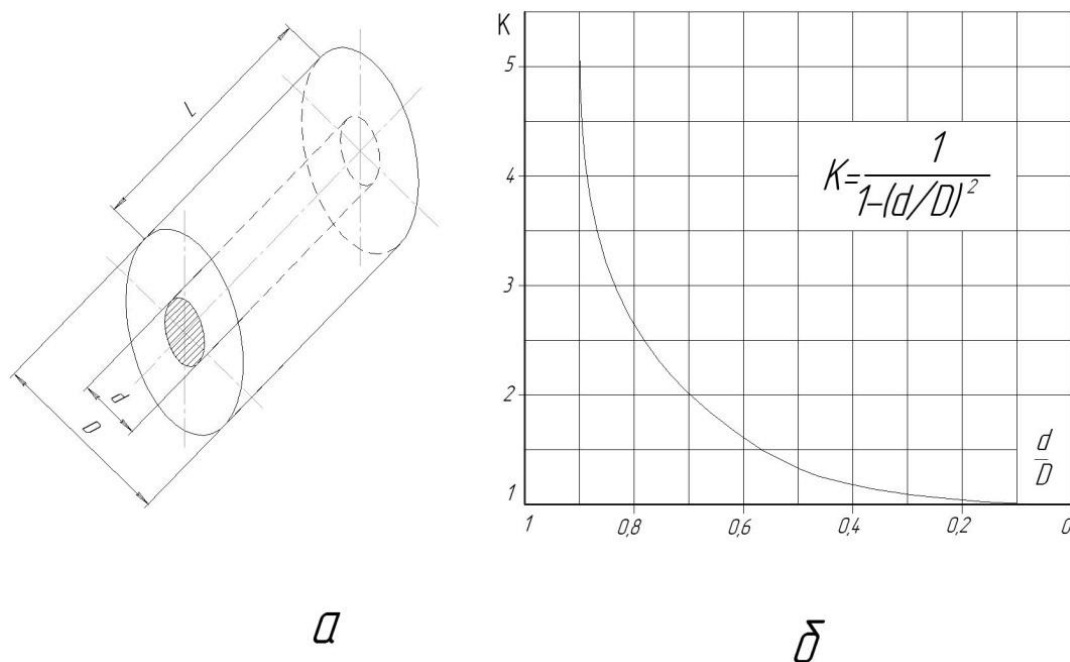


Рис. 2.2. Залежність основних параметрів від співвідношення діаметрів

2.2. Установка для дослідження роботи апарата вихрового шару

Для оцінювання ефективності роботи АВШ у моторному та генераторному режимах було розроблено експериментальну установку, загальний вигляд якої представлено на рисунку 2.3, будову та склад представлено на рисунку 2.4. Установка складається з індуктора 7, розміщеного в корпусі 8, у який герметично закладено трубу 20 із фланцями. Корпус закріплений на радіаторі охолодження 11, який з'єднаний трубопроводами 21 з корпусом. Через трубопроводи 21 циркуляційним насосом 13 здійснюється циркуляція охолоджувального масла.

Охолоджується радіатор встановленим на нього вентилятором 12. Радіатор 11 є основою, на якій змонтовані всі агрегати установки.

У корпус встановлено термометр 17, за яким контролюється температура охолоджувального масла. До фланців труби 20 кріпляться фланці 14 зі встановленими в них підшипниками, на яких обертається вал 15. На останньому закріплюється ротор 9 [3], поміщений в активну зону L індуктора 7. Фланці 14 легко знімаються, що дає змогу робити заміну ротора 9. Між ротором 9 і трубою 20 вводяться феромагнітні елементи 10. Шайби 16 перешкоджають розльоту феромагнітних елементів 10 під час роботи установки.



Рис. 2.3. Установка для дослідження АВШ (загальний вигляд).

Для гальмування ротора установка оснащена пристроєм, що дозволяє вимірювати момент при гальмуванні ротора.

Гальмівний пристрій складається з гальмівного барабана 1, закріпленого на валу 15 ротора 9. Гальмівний барабан охоплюють накладки, закріплені на планках гальмівного важеля 2. Сила натиску накладок на барабан

контролюється завантажувальним пристроєм 3. Створюваний момент на плечі L_5 цей момент. Пристрій 6 дозволяє керувати роботою ваг. Упор 4 дозволяє фіксувати положення важеля 2 тим самим розвантажуються ваги 5.

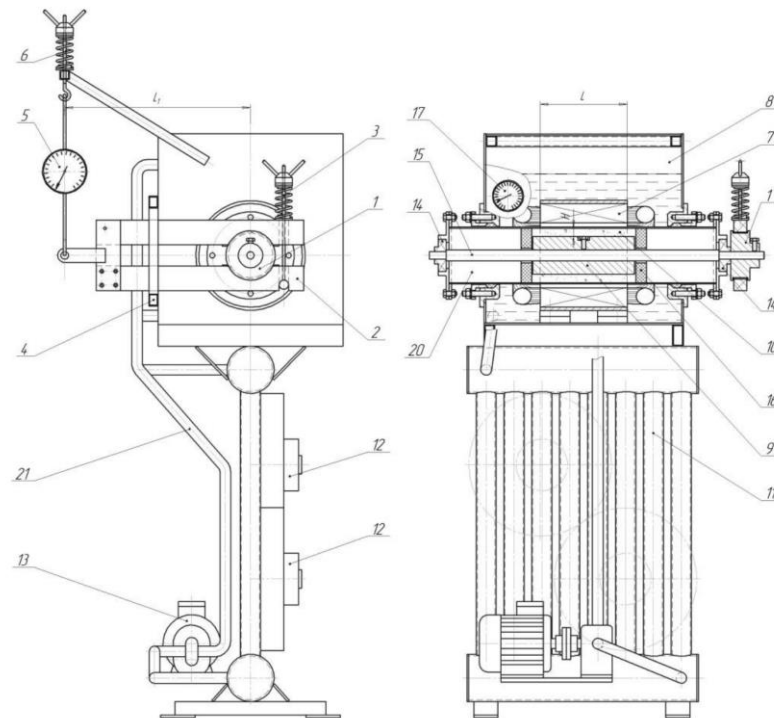


Рис. 2.4. Установка для дослідження АВШ: 1. Гальмівний барабан. 2. Гальмівний важіль. 3. Завантажувальний пристрій. 4. Наголос. 5. Терези. 6. Пристрій керування вагами. 7. Індуктор. 8. Корпус. 9. Ротор. 10. Феромагнітні елементи. 11. Радіатор охолодження. 12. Вентилятор охолодження. 13. Насос охолодження. 14. Фланець із підшипником опори ротора. 15. Вал ротора. 16. Шайби. 17. Термометр контролю температури охолоджувальної оливи. 18. Муфта приєднання приводного електродвигуна. 19. Труба. 20. Трубопроводи.

На основі аналізу отриманих результатів були побудовані залежності ковзання s і коефіцієнта k_p використання енергії ротором, від потужності, що виділяється ротором N . Ці залежності, для частот 25, 50, 75 і 100 Гц, наведені на рис 2.5.

З рис. 2.5 видно, що ковзання за максимального коефіцієнта використання енергії ротором становить близько 40%. Крім того, з малюнку 2.8 видно, що зі збільшенням зазору H коефіцієнт k_p дуже сильно зменшується. Характер цього зменшення відображено на рис. 2.6а у вигляді залежності k_p , його максимального значення від H , так само для частот 25, 50, 75 і 100 Гц.

У дослідженні моторного режиму [2] апарату вихрового шару основним критерієм оцінки є коефіцієнт використання енергії ротором k_p . Цей коефіцієнт є відношення енергії, що знімається з ротора до витраченої електричної енергії, вираженої у відсотках.

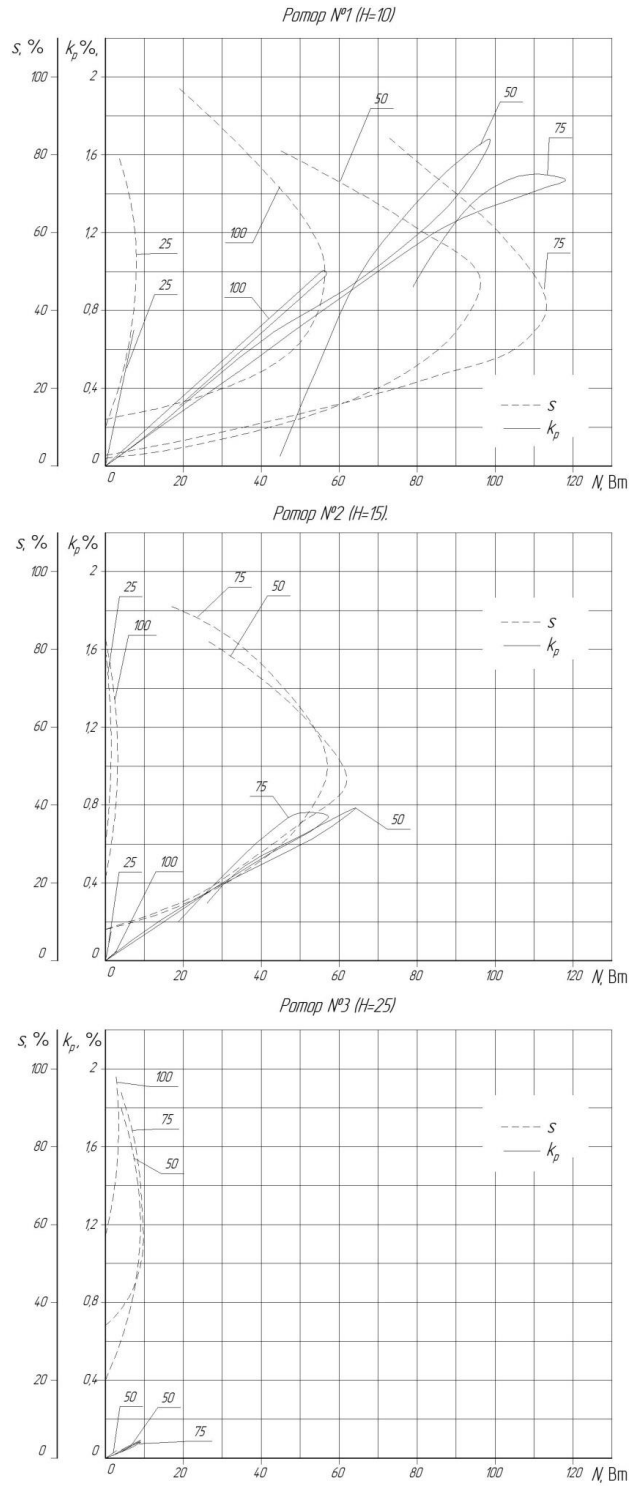


Рис. 2.5 Залежності ковзання s і коефіцієнта k_p використання енергії ротором, від потужності, що виділяється ротором N .

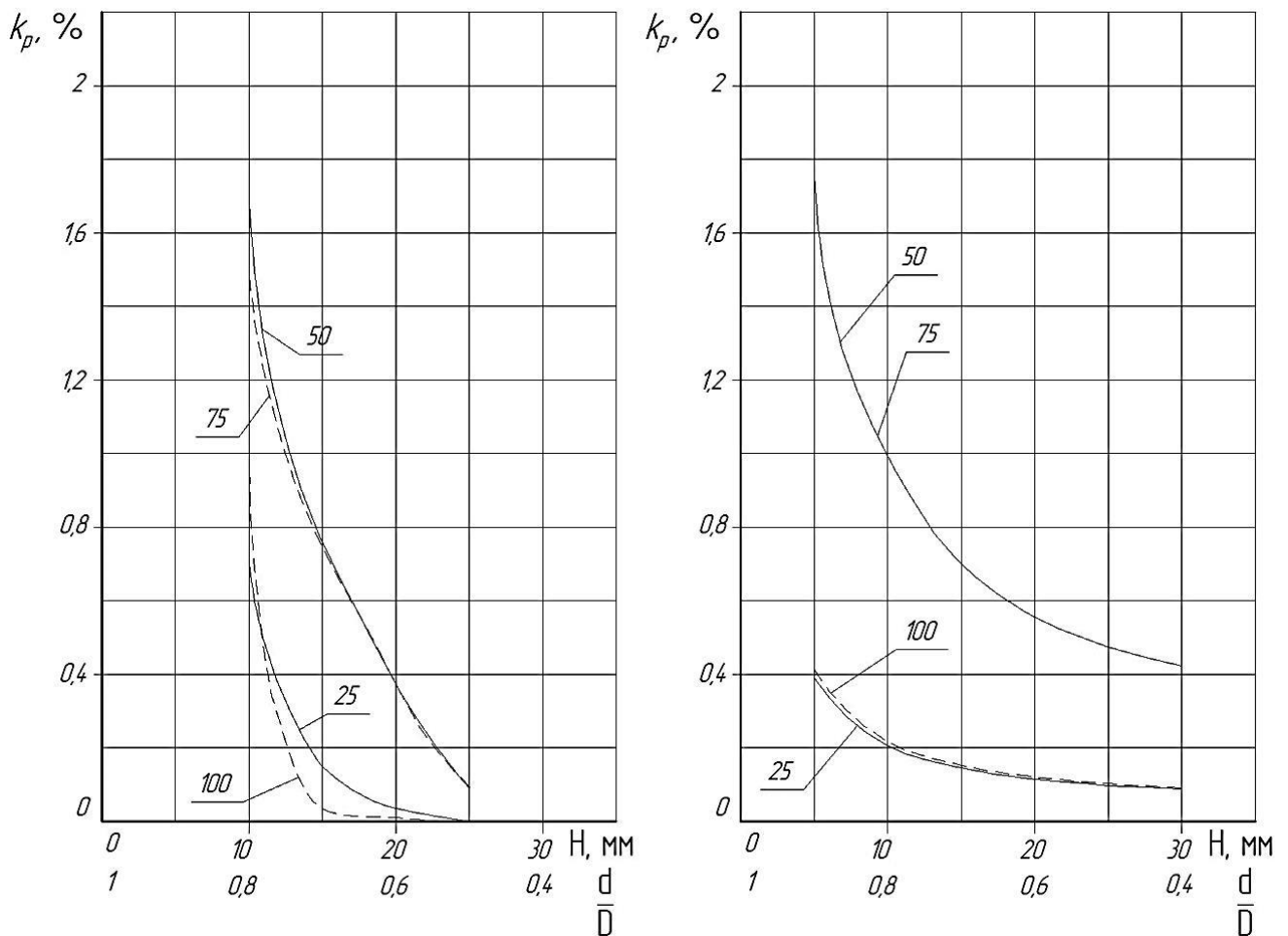


Рис. 2.6. Залежність k_p , його максимального значення від H (а – дослідна, б – розрахункова)

Отримані математичні залежності, зображені на рис. 2.6б показують достатню точність сходження з дослідними даними рисунку 2.6а, що дозволяє використовувати їх у подальших розрахунках.

Висновки по розділу

Досліджено моментні характеристики роторів з різними розмірами як окремо, так і з відміряними масами наважок феромагнітних елементів. Це дозволило побудувати залежності ковзання s і коефіцієнта використання енергії ротором k_p від потужності ротором, що розвивається, за якими визначився вплив зазору між індуктором і поверхнею ротора, на коефіцієнт k_p .

Проведені виміри дозволили побудувати залежність ковзання s коефіцієнта використання енергії ротором k_p від розвиваємої тужності N ротором, для різної кількості феромагнітних елементів. При введенні феромагнітних елементів значення $M_{\text{фе}}=340$ кг/м³ здійснюється різке підвищення коефіцієнта використання енергії ротором, з наступним його різким падінням. Це дозволяє визначити раціональне значення кількості феромагнітних елементів активної зони АВШ.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АПАРАТУ ВИХРОВОГО ШАРУ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ

3.1 Методика дослідження ефективності

Дослідження ефективності АВШ нової конструкції проводилося в порівняльних випробуваннях з розмелювання річкового піску [4, 7]. На одній установці проводиться розмелювання однієї і тієї ж кількості піску, при цьому використовуються однакові феромагнітні елементи. Різниця полягає в способі утворення вихрового шару. У класичному варіанті вихровий шар створюється обертовим магнітним полем, що генерується індуктором. У новому способі вихровий шар утворюється завдяки обертовому магнітному полю, що індукується ротором. Порівняння ефективності роботи здійснюється шляхом оцінки якості розмелювання, швидкості розмелювання та енергетичних витрат на цей процес.

3.2 Порядок проведення та обладнання, яке задіяне в експериментах

Як матеріал, який обробляли в апараті вихрового шару, було взято наважку річкового піску. Однакова наважка змішується один до одного з феромагнітними елементами. Далі проводиться обробка в одному випадку в лабораторній склянці (рис. 3.1) шляхом введення її в активну зону апарату вихрового шару.

В іншому випадку суміш піску з феромагнітними елементами поміщається в зазор між ротором і індуктором Н в активну зону L (рис. 2.1) і так само проводиться обробка. Час обробки в обох випадках фіксований і становить 1, 4 і 7 хвилин. Після цього досліджується гранулометричний склад піску, як

вихідного, так і після обробки. Кожна наважка зразка розділяється на ситах. Використовується чотири стандартних сита 1 мм; 0,4 мм; 0,25 мм і 0,1 мм. Відповідно виходять фракції 1; 0,4; 0,25; 0,1 і <0,1. Шляхом оцінки відсоткової частки кожної фракції ми визначаємо ефективність роботи апарату як подрібнювача. Ваги і сита, на яких проводять аналіз наважок, наведені на рис. 3.2.



Рис. 3.1. Лабораторний стакан і феромагнітні елементи.



Рис. 3.2. Ваги та набір сит для визначення фракційного складу

Поділ на фракції здійснювався при їх послідовному застосуванні, результати наведено в розділі 3.3.

3.3 Результати експериментів

Фракційний склад вихідного піску (рис. 3.3) представлено в таблиці 3.1.



Рис. 3.3. Вихідний пісок.

Таблиця 3.1 – Фракційний склад вихідного піску

Всього	Фракції, мм				
	1	0,4	0,25	0,1	<0,1
100 грам	3 грам	29 грам	45 грам	24 грам	0 грам
100%	4%	28%	46%	25%	0%

У класичному варіанті здійснюється розмелювання 150 грам піску 150 грамами феромагнітних елементів. Задавальна частота частотного перетворювача - 50 Гц, що відповідає оптимальному режиму (найвищій інтенсивності вихрового шару, яка вимірюється в акустичному діапазоні). Струм, споживаний апаратом вихрового шару, становить $I=34,1$ А, напруга $U=290$ В.

Відпускна потужність, що фіксується частотним перетворювачем, становить 13 кВт. Фракційні склади наважок обробленого піску в класичному апараті наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Фракційний склад піску, обробленого в класичному АВШ

Всього	Фракції, мм				
	1	0,4	0,25	0,1	<0,1
1 хвилини					
100 грам	2 грам	21 грам	41 грам	29 грам	10 грам
100%	3%	22%	42%	28%	10%
4 хвилини					
100 грам	2 грам	24 грам	28 грам	26 грам	19 грам
100%	3%	23%	27%	27%	19%
7 хвилин					
100 грам	2 грам	18 грам	12 грам	38 грам	29 грам
100%	3%	17%	13%	37%	29%

Під час проведення експериментів у класичному варіанті спостерігалось швидке зростання температури охолоджувального масла. За 7 хвилин температура зросла на 24°C. Нагрівання $t_1=22^\circ\text{C}$, $t_2=46^\circ\text{C}$ за $t_{\text{нагріву}}=7$ хвилин, що відповідає: $Nt = 2,17$ кВт.

В експериментах з ротором здійснювався розмелювання 150 грам піску 150 грамами феромагнітних елементів. Задавальна частота перетворювача 90 Гц, що відповідає найвищій напрузі, яку генерує установка, $U=290$ В. Струм, споживаний установкою (за частотним перетворювачем), відповідав $I=11,8$ А, напруга $U=380$ В. Відпускна потужність, що фіксується частотним перетворювачем, становить 6 кВт. Фракційні склади навісок обробленого піску в приводному апараті наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 3.3 – Фракційний склад піску, обробленого в приводному апараті

Всього	Фракції, мм				
	1	0,4	0,25	0,1	<0,1
1 хв					
77 грам	1 грам	13 грам	31 грам	23 грам	9 грам
100%	1,4%	16,8%	40,4%	29,8%	11,7%
4 хв					

64 грам	1 грам	8 грам	9 грам	23 грам	22 грам
100%	1,7%	12,4%	14,2%	35,8%	34,4%
7 хв					
44 грам	0грам	4 грам	7 грам	16 грам	16 грам
100%	0%	9,2%	15,8%	36,5%	36,3%

3.4 Обробка та аналіз результатів експериментів

У результаті досліджень було побудовано графіки розподілу частки фракційного складу від розміру частинок, як для необробленого, так і для різного часу впливу для обох варіантів установки (рисунок 3.4).

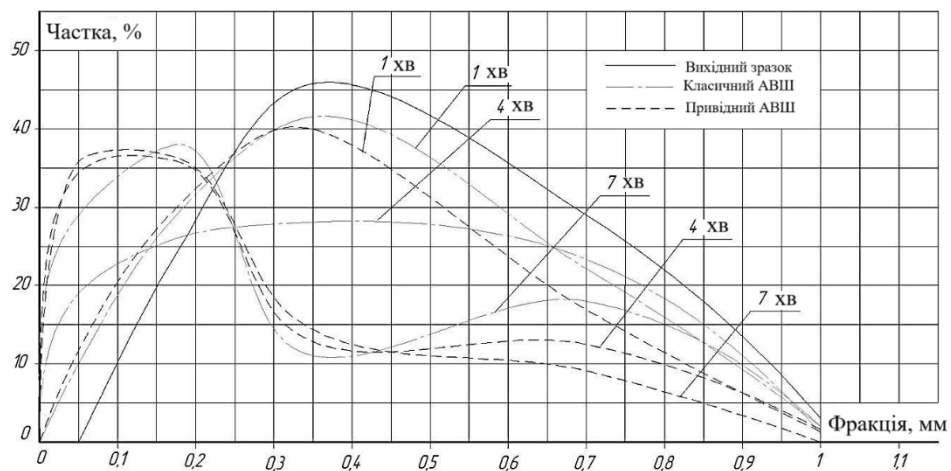


Рис. 3.4. Фракційний склад зразків.

З цієї залежності видно, що зі збільшенням часу обробки частка дрібних фракцій збільшується, при роботі установки в обох варіантах.

Для виявлення швидкості зміни фракційного складу була побудована залежність відсоткового вмісту (частки) від часу обробки для різних фракцій в обох варіантах установки (рис. 3.5).

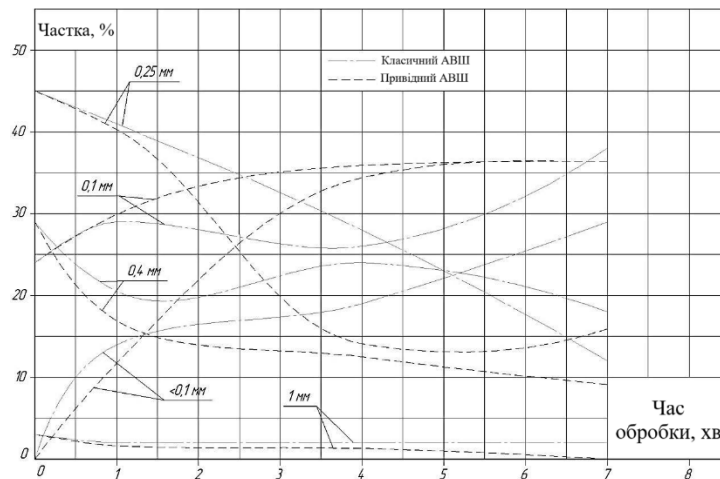


Рис. 3.5. Швидкість утворення фракцій.

Із залежностей рис. 3.5 чітко видно, що у приводного варіанту апарату вихрового шару, як порівняти з класичним апаратом, частка великих фракцій знижується швидше (фракція 0,25 і 0,4), і так само швидко спостерігається зростання дрібних фракцій (фракція 0,1 і <0,1). Тому на стабільний фракційний склад 35% - 0,1 і 35% - <0,1, приводний апарат вихрового шару виходить уже через 3,5 хвилини роботи, в той час як класичному апарату не вистачило 7 хвилин для досягнення цього результату. Тобто за результатами цього експерименту приводний апарат вихрового шару в 2 рази ефективніший за класичний апарат за швидкістю оброблення сипучих матеріалів (річкового піску).

З огляду на характер кривих швидкості фракційного складу можна дійти висновку, що 35% - 0,1 і 35% - <0,1 (70% сумарної фракції 0,1) є граничною для цього класу пристроїв під час роботи з сипучими матеріалами.

3.5 Визначення підсумкової ефективності апаратів вихрового шару нової конструкції

З розділу 3.4 видно, що ефективність АВШ нової конструкції під час розмелювання піску в 2 рази вища, ніж у класичної конструкції. Своєю чергою

енергоспоживання, заміряне частотним перетворювачем, як зазначено в розділі 4.3, для АВШ нової конструкції становить 6 кВт, а для АВС класичного варіанту 13 кВт, тобто за енерговитратами новий АВШ у 2,17 раза ефективніший.

У підсумку можна зазначити, що новий АВШ вимагає для однакового з класичним АВС впливом у 2 рази менше часу і в 2,17 разів менше енергії.

Таким чином, виникає необхідність розглянути методика визначення раціональних параметрів для АВШ нової конструкції під час проєктних розрахунків.

Висновки по розділу

Проведені порівняльні випробування нового АВШ і класичного АВШ з розмелювання річкового піску показали, що в АВШ нової конструкції час на обробку продукту зменшився у 2 рази, а споживання енергії у 2,17 разів.

До параметрів, що варіюються під час проєктування АВШ нової конструкції, слід віднести електричну напругу U , що розвивається на індукторі установки, приводну потужність P_{xx} , зазор між ротором та індуктором H і щільність заповнення робочої камери феромагнітними елементами $M_{\text{фe}}$.

Раціональні значення зазору склали $H=20\%$, а щільність феромагнітних елементів $M_{\text{фe}}=2800 \text{ кг/м}^3$. При цьому ємність конденсаторів має бути в діапазоні 50-150 мкФ для забезпечення найкращих значень U і P_{xx} .

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Встановлено, що основним недоліком наявних конструкцій АВШ є низький коефіцієнт потужності, близько 0,2-0,4. Це пов'язано з великою часткою реактивної потужності, яку ці апарати споживають. Цей недолік спільний для всіх АВС, оскільки магнітне поле, що генерується індуктором, не замикається на магнітопровід, а через феромагнітні елементи розсіюється в просторі.

Визначено напрямок удосконалення АВШ за рахунок розташування всередині робочої камери ротора, виконаного з певним кільцевим зазором для проходження оброблюваного середовища. Розроблено конструкцію АВШ з ротором, що обертається всередині робочої камери

Проведені порівняльні випробування розробленого АВШ з ротором, що обертається всередині робочої камери, і класичного АВШ з розмелювання річкового піску показали, що в розробленого АВШ час на оброблення продукту зменшився вдвічі, а споживання енергії – в 2,17 разів.

Перспективою подальшого розроблення теми є вдосконалення конструкцій і розвиток апаратів вихрового шару, як технологічних машин переробки різного виду сировини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антонов В. І., Сидоренко О. М. Процеси та апарати переробної техніки. Київ: Основа, 2020. 312 с.
2. Бойко П. І., Грицак М. О. Удосконалення конструкцій вихрових апаратів у промисловості. Львів: Світ, 2019. 298 с.
3. Василенко А. П. Вихрові апарати: принципи роботи і застосування у переробних машинах. Харків: Техносфера, 2021. 280 с.
4. Гладкий Ю. М. Вихрові та псевдозріджені шари у переробці. Київ: Агроосвіта, 2020. 265 с.
5. Дяченко І. М., Коваленко Р. О. Техніка і технології вихрових апаратів у сільському господарстві. Вінниця: Універсум, 2018. 256 с.
6. Захарчук П. В., Нечай О. С. Оптимізація конструкцій переробних машин. Тернопіль: Економічна думка, 2019. 308 с.

7. Костенко Г. І., Савчук Л. П. Процеси вихрового руху в технологічних апаратах. Одеса: Наука і техніка, 2018. 242 с.
8. Мельник В. В., Шевчук І. Л. Механізація та автоматизація переробки сільськогосподарської продукції. Житомир: Полісся, 2021. 312 с.
9. Паламарчук В. О., Руденко М. П. Технічні засоби для обробки продуктів вихровим методом. Київ: Аграрна освіта, 2020. 278 с.
10. Ткаченко П. С. Аеродинаміка вихрових шарів у технологічних апаратах. Харків: ІНЖЕК, 2019. 254 с.
11. Brown J. V., Smith R. A. Principles of Vortex Layer Machines for Industrial Processing. New York: Springer, 2020. 315 p.
12. Chen T., Li X. Advances in Fluidized and Vortex Layer Technology. Amsterdam: Elsevier, 2019. 289 p.
13. Davis M., Johnson K. Optimization of Vortex Apparatus in Agricultural Processing. Boston: Academic Press, 2021. 302 p.
14. Evans C., Peterson L. Vortex Layer Dynamics in Processing Machines. Cambridge: Woodhead Publishing, 2020. 278 p.
15. Gupta R., Singh K. Applications of Vortex Technology in Food and Industrial Engineering. London: Wiley, 2019. 266 p.
16. Hansen R. E. Fluid Dynamics and Vortex Layers for Agricultural Machines. Berlin: Springer, 2021. 310 p.
17. Kim Y., Park J. Advances in Processing Equipment with Vortex Principles. Tokyo: Springer Japan, 2020. 248 p.
18. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
19. Martinez R. Vortex Layer Technology and Its Applications. London: Elsevier, 2019. 270 p.

20. Richardson A. Vortex Flow in Processing Equipment: Design and Application. Oxford: Wiley-Blackwell, 2021. 295 p.
21. Wilson T., Green S. Fluidized Beds and Vortex Layers in Material Processing. New York: Routledge, 2020. 285 p.
22. Романюк В.А. Науково-методичні основи чисельного моделювання механізованих процесів агропромислового виробництва. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 321-324.
23. дДерев'янюк Д.А., Герасимчук А.А., Романюк В.А. здобувач освітиЕкспериментальна камера динамічного інфрачервоного сушіння рослинної сировини. XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві». (01-18 жовтня 2024 р.). <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 01.12.2024).
24. Романюк В.О. Конструктивні особливості апарата вихрового шару. Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 25-26.