

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Яскажук Владислав Олександрович

УДК 664.72

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
ПНЕВМОСЕПАРАТОРА ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ**

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

_____ Яскажук В.О.

Керівник роботи

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Яскажук Владислав Олександрович. Підвищення ефективності роботи пневмосепаратора зернового вороху. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В магістерській роботі розроблено спосіб контролю і забезпечення заданої пористості шару зернового вороху на основі УЗ в ПСК дає змогу проводити якісне очищення зернового вороху зі змінними фізико-механічними властивостями зернового потоку. Це забезпечується тим, що швидкість поширення ультразвукових хвиль у зерновому шарі багаторазово вища, ніж швидкість руху окремо взятих компонентів псевдозрідженого шару.

Періодичність опитування ультразвукових далекомірів 150 мс забезпечує своєчасне реагування системи контролю та забезпечення заданої пористості шару зернового вороху на зміну рівня псевдозрідження потоку зернового вороху. Принцип роботи системи дає змогу здійснювати незалежне регулювання витрати повітряного потоку і подавання зернового вороху в пневмосепарувальному каналі.

Система контролю та забезпечення заданої пористості шару зернового вороху за встановлення значень $X_1=0,95$; $X_2=1,05$ забезпечує роботу пневмосепаратора відповідно до вимог до якості роботи машин вторинного очищення зерна. За цих параметрів спостерігається висока продуктивність пневмосепарувального каналу – 2002,5 кг/год., засміченість зерна на виході з пневмосепарувального каналу – 0,29%, кількість основного матеріалу в осадовій камері – 0,32%, повнота виділення засмічених домішок – 91,05%.

Ключові слова: пневмосепаратор, зерновий ворох, очищення, продуктивність, домішки.

ANNOTATION

Vladyslav Oleksandrovykh Yaskazhuk. Improving the efficiency of a pneumatic grain heap separator. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissia National University, Zhytomyr, 2023.

In the master's thesis, a method of controlling and ensuring the specified porosity of the grain heap layer based on ultrasound in the PSC was developed, which allows for high-quality cleaning of grain heaps with variable physical and mechanical properties of the grain flow. This is ensured by the fact that the propagation speed of ultrasonic waves in the grain layer is many times higher than the speed of movement of individual components of the fluidised bed.

The ultrasonic rangefinders ping frequency of 150 ms ensures timely response of the control system and maintenance of the specified porosity of the grain heap layer to changes in the fluidisation level of the grain heap flow. The principle of operation of the system allows for independent control of the air flow rate and grain heap flow in the pneumatic separation channel.

The system of control and maintenance of the specified porosity of the grain heap layer at the values of $X_1=0.95$; $X_2=1.05$ ensures the operation of the pneumatic separator in accordance with the requirements for the quality of operation of secondary grain cleaning machines. With these parameters, the high productivity of the pneumatic separation channel is observed – 2002.5 kg/h, the contamination of grain at the outlet of the pneumatic separation channel is 0.29%, the amount of basic material in the sedimentation chamber is 0.32%, and the completeness of the separation of contaminated impurities is 91.05%.

Keywords: pneumatic separator, grain heap, cleaning, productivity, impurities.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПОДАЧЕЮ МАТЕРІАЛУ І ПОВІТРЯ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У ПНЕВМОСЕПАРУВАЛЬНИХ КАНАЛАХ ТА АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ.....	9
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПУ РОБОТИ ПРИСТРОЮ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ПІДТРИМАННЯ В ЗАДАНОМУ СТАНІ РУХОМОГО ШАРУ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ В ПРОЦЕСІ ОЧИЩЕННЯ.....	26
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	35
ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	43

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Одним із головних завдань для сільського господарства є збільшення виробництва продовольчого та фуражного зерна, щоб мати необхідні обсяги та ресурси для експорту. Для цього необхідно валовий збір зерна довести до 1 тонни на жителя.

Важливим елементом обробітку та виробництва зерна є його післязбиральний обробіток, який становить до 40 % у структурі собівартості. Своєчасна та якісна післязбиральна обробка – важливий резерв збільшення зборів зерна.

Під час післязбиральної обробки зерна застосовують машини для попередньої, первинної, вторинної очистки та сортування, більшість яких забезпечені пневмосепарувальними системами або виконані у вигляді самостійних машин.

Зернова маса, що поступає на стадію післязбиральної обробки, складається з комбінації здорового, легкого та ушкодженого зерна (насіння) головної культури, а також насіння різноманітних культур і бур'янів.

Також зернова ворох містить домішки органічного - частинки рослин, соломи, колосків, полова, і мінерального – пісок, грудочки землі та ін., походження.

У процесі обробки зерновий і насіннєвий матеріал доводять до необхідних норм, які відображені в спеціальних нормативно-технічних державних стандартах.

У процесі розділення зернової маси на фракції широко використовується метод розділення зернових сумішей у вертикальному повітряному потоці, зокрема за допомогою пневматичного сепараційного каналу. (ПСК) через конструкційну простоту та компактність пристрою.

Як правило, ПСК працюють у складі потокових ліній. Матеріал, що надходить на обробку від комбайнів, має неоднорідну структуру, його

характеристики змінюються стохастично. Протягом доби вологість вороху може коливатися від 14 до 35 %, а вміст домішок – від 5 до 30 % [1]. З плином часу, в процесі роботи, неминуче відбувається зміна властивостей оброблюваного матеріалу, що призводить до зміни усіх параметрів стану процесу.

В процесі подачі матеріалу в пневматичну сепараційну камеру (ПСК) відбувається зміна його властивостей, що впливає на аеродинамічний опір системи та швидкість повітря у шарі оброблюваного матеріалу. Швидкість повітря, що значно перевищує оптимальний рівень, може спричинити винос часток основної культури до відходів, в той час як зниження швидкості може вплинути на зменшення якості очищення. Також можливі коливання в подачі оброблюваного матеріалу: при збільшенні кількості матеріалу, що надходить у ПСК, зростає товщина продувального шару, що веде до погіршення якості очищення, тоді як мала подача знижує продуктивність.

Під час роботи пневмосепаратора для зернового вороху ключовим завданням є підтримка оптимальної подачі повітря та матеріалу в зону сепарації.

Під час роботи більшості зерноочисних машин подавання повітря і матеріалу в ПСК здійснюється оператором вручну [7]. Однак за стохастичної зміни властивостей потоку матеріалу оператор не в змозі оперативно реагувати за пульсацією повітря і змінами властивостей матеріалу під час роботи потокової лінії.

Для зниження трудовитрат на управління нині виробники починають застосовувати різні системи підтримки швидкості повітря в ПСК. Головним їхнім недоліком є відсутність можливості коригування подачі повітря в шар у разі зміни структури шару оброблюваного матеріалу, що істотно впливає на якість розділення багатокomпонентної суміші.

Відсутність способу оперативного контролю за станом шару, що сепарується у ПСК і підтримання його стану неминуче призводить до зниження продуктивності очищувача та ефективності очищення зернових сумішей.

Об'єкт наукового дослідження. Технологічний процес роботи пневмосепарувального каналу, оснащеного пристроєм оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку.

Предмет наукового дослідження. Параметри пристрою оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку.

Метою роботи є зниження наведених витрат і забезпечення якісного розділення зернового вороху зі змінними характеристиками в пневмосепараторі з вертикальним пневмосепарувальним каналом зі змінною опорною сіткою.

У зв'язку з поставленою метою в цій роботі вирішувалися такі науково-практичні завдання:

- розробити спосіб управління станом шару зернового вороху та подачами повітря і зернового вороху в пневмосепарувальний канал;
- розробити алгоритм роботи та конструкцію пристрою оперативного контролю й підтримання заданої пористості шару зернового вороху, який рухається на основі нового способу;
- провести експериментальні дослідження й обґрунтувати параметри функціонування розробленого ультразвукового пристрою оперативного контролю й підтримання заданої пористості шару рухомого зернового вороху.

Методи наукового дослідження. У дослідженні використано методи математичної статистики та теорії експерименту. Використання цих методів ґрунтувалося на застосуванні сучасних технічних засобів і вимірювальних приладів. Оброблення дослідних даних велось на ЕОМ у додатках MS Office Word, Excel, КОМПАС-3D, Paint.NET, STATGRAPHICS Plus для MS Windows.

Дослідження проведено на основі системного підходу до комплексу теоретичних і експериментальних результатів, отриманих за допомогою класичних математичних, фізичних, статистичних методів, а також експериментальних досліджень у лабораторно-виробничих умовах.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В.Л., **Яскажук В.О.** Аналіз систем керування подачею матеріалу і повітря, які використовуються у пневмосепарувальних каналах. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 316-319.

2. Куликівський В.Л., **Яскажук В.О.** Обґрунтування принципу роботи пристрою оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернового вороху в процесі очищення. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 79-82.

3. Куликівський В.Л., **Яскажук В.О.** Опис конструкції та принципу роботи блока керування пристроєм оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернового вороху. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для виробництва представляє розроблений пристрій оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого зернового шару за допомогою ультразвуку.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 44 сторінки комп'ютерного тексту, містить 25 рисунків і 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПОДАЧЕЮ МАТЕРІАЛУ І ПОВІТРЯ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У ПНЕВМОСЕПАРУВАЛЬНИХ КАНАЛАХ ТА АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ

Незважаючи на появу останніми роками сепараторів, що працюють на нових принципах, пневмосепаратори залишаються широко затребуваними. Співробітниками Мешхедського університету імені Фірдоусі наведено результати досліджень впливу зміни стадії зрілості насіння на критичну швидкість, коефіцієнт опору і число Рейнольдса під час сепарації насіння граната. У результаті досліджень визначено: теоретично можливе аеродинамічне відокремлення насіння граната від гранатової шкірки з місцевими перегородками, якщо значення швидкості повітря регулюється відповідно до граничної швидкості гранатової шкірки. Дослідження сепарації борошна проводили на пневматичному гвинтовому сепараторі (рис. 1.1) [13].

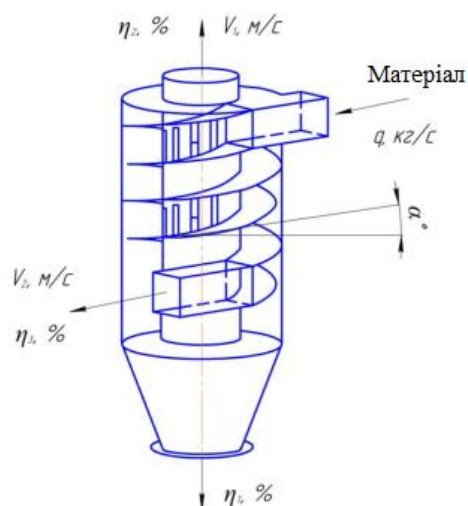


Рис. 1.1. Пневматичний гвинтовий сепаратор [13].

Виробничі випробування та експлуатація прототипу сепаратора показали, що загальний коефіцієнт вилучення необхідних фракцій $\approx 92\%$ [13].

Під час поділу зернового вороху на фракції найбільшого поширення набув спосіб сепарування зернових сумішей у вертикальному повітряному потоці -

пневмосепарувальному каналі через конструкційну простоту і компактність пристрою. Авторами Рензяєвим О. О., Рензяєвим О. П., Сорокопудовим О. Ф. розроблено лабораторну установку (рис. 2), оснащену шнековим дозатором, що дає змогу забезпечувати стабілізацію зернового потоку в сепарувальному каналі та підвищенню ефективності процесу розділення. Пневмосепаратор працює так: зерновий матеріал надходить у завантажувальний бункер, звідки дозатором подається в розділювальний канал. Зерновий матеріал накопичується на підтримувальній сітці. Завдяки перегородці, що перешкоджає подальшому руху зерна по сити, утворюється суміш зернового матеріалу з повітрям. Найважча фракція долає перегородку і зсипається в сепарувальний канал. Більш легку фракцію забирає повітряний потік, і вона розділяється на фракції в сепарувальному та осаджувальному каналах залежно від швидкості витання частинок. Відпрацьоване повітря потрапляє в циклон, де відбувається його очищення від пилової фракції. Запропонований пневмосепаратор дає змогу розділити оброблюваний матеріал на 4 фракції [13].

Швидкість повітря в представлених пневмосепарувальних каналах регулюється зміною частоти обертання електродвигуна вентилятора, подавання матеріалу на обробку здійснюється дозаторами, при цьому не враховується характер зміни складу вороху в пневмосепарувальному каналі [3].

Вивченням питань післязбиральної обробки зерна присвячена робота Мякіна В.М., Урюпіна С.Г., Кривошеєва А.В. У роботі представлено багатоярусні пневмосепарувальні канали (рис. 1.2) [13].

Робочий процес сепараторів протікає таким чином. Матеріал, що надходить у машину зверху, спрямовується завантажувальними пристроями 2 в багатоярусні аспіраційні канали 3. "Легка" фракція піднімається потоком повітря в осадову камеру 1 і виводиться з неї через виходи 4, обладнані повітряно-зерновими клапанами. "Важка" фракція опускається і приймачами насіння 5 направляється в бункер насіння. Вертикальний повітряний потік у багатоярусних

аспіраційних каналах створюється електровентилятором 6, швидкість повітря в каналах регулюється заслінкою 7 [13].

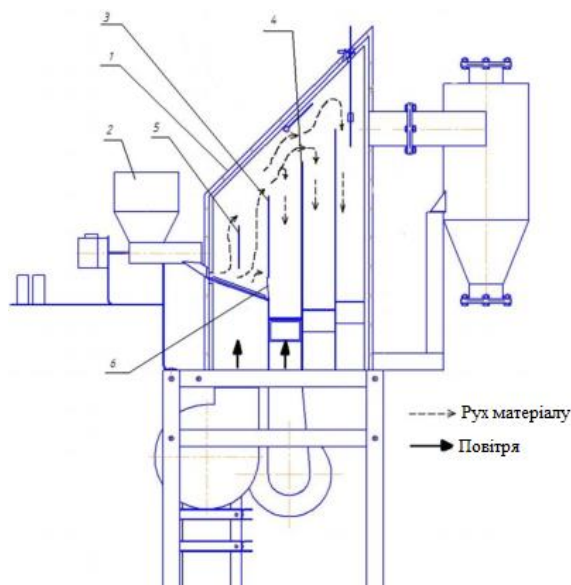


Рис. 1.2. Схема лабораторно-експериментального пневмосепаратора для розділення зернового матеріалу : 1 – корпус; 2 – шнековий дозатор; 3 – задня стінка сепаруючого каналу; 4 – стінка осаджувального каналу; 5 – бар'єр, що вирівнює зерновий потік; 6 – перегородка [13].

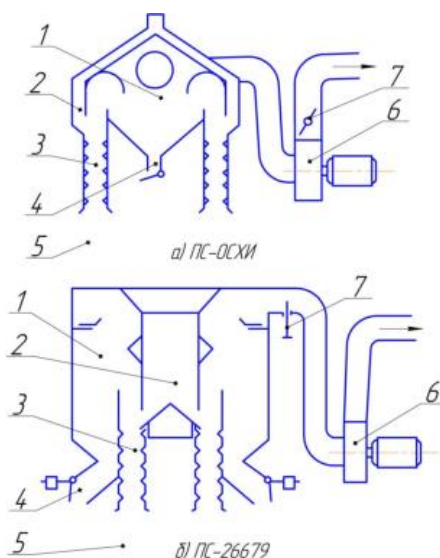


Рис. 1.3. Принципові схеми пневмосепараторів : а) ПС-ОСХІ; б) ПС-26679: 1 – відстійна камера; 2 – завантажувальний пристрій; 3 – багатоярусний аспіраційний канал; 4 – вихід "легкої" фракції; 5 – вихід "важкої" фракції; 6 – електровентилятор; 7 – регульовальна заслінка [13].

Вченими Бурковим А.І., Баталовою Г.А., Глушковим А.Л., Лазикіним В.А. розроблено фракційний пневмосепаратор СП-2Ф (рис. 4) [13].

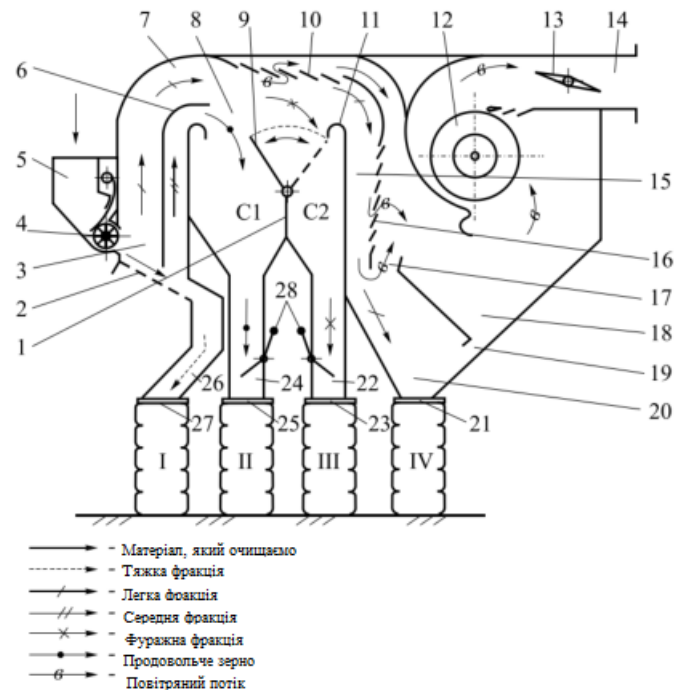


Рис. 1.4. Технологічна схема фракційного пневмосепаратора насіння: 1 – перегородка; 2 – опорна сітка; 3 – пневмосепарувальний канал; 4 - пристрій введення; 5 – приймальний бункер; 6 – суцільна розділювальна сітка; 6 – суцільний пристрій введення; 5 – приймальний бункер; 6 – суцільна розділювальна перегородка; 7 – відведення ПСК; 8 – розділювальна камера; 9 - поворотний клапан; 10 і 16 – горизонтальна і вертикальна ділянки жалюзійного очищувача; 11 – суміжна стінка; 12 – діаметральний вентилятор; 13 - дросельна заслінка; 14 – вихідний патрубок; 15 – інерційний жалюзійно-протиточний пиловловлювач; 17 – протиточний очищувач; 18 – повітровідвідна камера; 19 – перепускне вікно; 20 – осадова камера; 21, 23, 25, 27 – пристрої виведення фракцій матеріалу; 22, 24, 26 – матеріалопроводи; 28 – заслінки; I, II, III, IV – мішки з фракціями насіння I і II сорту, фуражного зерна і відходів [13].

Застосування фракційного пневмосепаратора СП-2Ф на стадії вторинної очистки дає змогу за один пропуск виділити насіння I і II сорту, що відповідає за чистотою категоріям ОС і РСт. Подача матеріалу в пневмосепаратор встановлюється заслінкою-вібратором пристрою введення 4. Швидкість

повітряного потоку в пневмосепарувальному каналі 3 встановлюється за якістю очищення важкої фракції з урахуванням втрат повноцінного насіння у відходи за допомогою дросельної заслінки 13. У представлених зерноочисних машинах застосовується ручне регулювання подачі матеріалу і витрати повітря. Зміна властивостей оброблюваного матеріалу під час роботи неминуче викликає зміну всіх змінних стану процесу. Зміна властивостей оброблюваного матеріалу під час подавання в ПСК спричиняє зміну аеродинамічного опору системи і швидкості повітря всередині шару оброблюваного матеріалу. Значне перевищення швидкості повітря від оптимальної призводить до виносу частинок основної культури у відходи, а зменшення цієї швидкості до зниження якості очищення. Під час роботи потокової лінії також можливі коливання в подачі матеріалу, що очищається, в ПСК, у разі збільшення кількості матеріалу, що надходить у ПСК, збільшується товщина шару, що продувається, що веде до зниження якості очищення. Мала подача призводить до зниження продуктивності. Під час роботи ПСК основним завданням є підтримання оптимальної подачі повітря і матеріалу в зону сепарації. Ручний спосіб зміни параметрів роботи систем очищення не дає змоги оперативно реагувати на зміну засміченості оброблюваного зерна [13].

Один із сучасних способів контролю технологічного процесу очищення зернового вороху представлено на рис. 1.5 [13].

Для визначення абсолютних втрат матеріалу, що очищається, застосовується датчик, що фіксує зіткнення повноцінного зерна з елементами конструкції. Зіткнення зернівок зі сталевими стінками відбувається на високій швидкості, викликаючи характерні звукові імпульси. Значення абсолютних втрат зерна у відходи розраховується на основі аналізу параметрів цього звукового сигналу. Дані з датчика подаються на блок управління, де проводиться їх аналіз і, за необхідності, подається сигнал на виконавчий механізм приводу вентилятора для зміни витрати повітря. Запропонований спосіб дає змогу здійснювати автоматичний контроль за швидкістю повітряного потоку. Але не

досліджено, як працюватиме система, коли в складі зернового вороху буде присутня бур'яниста домішка, що має меншу швидкість витання відносно швидкості витання зерна. Також у представленій установці не представлена система подачі матеріалу [13].

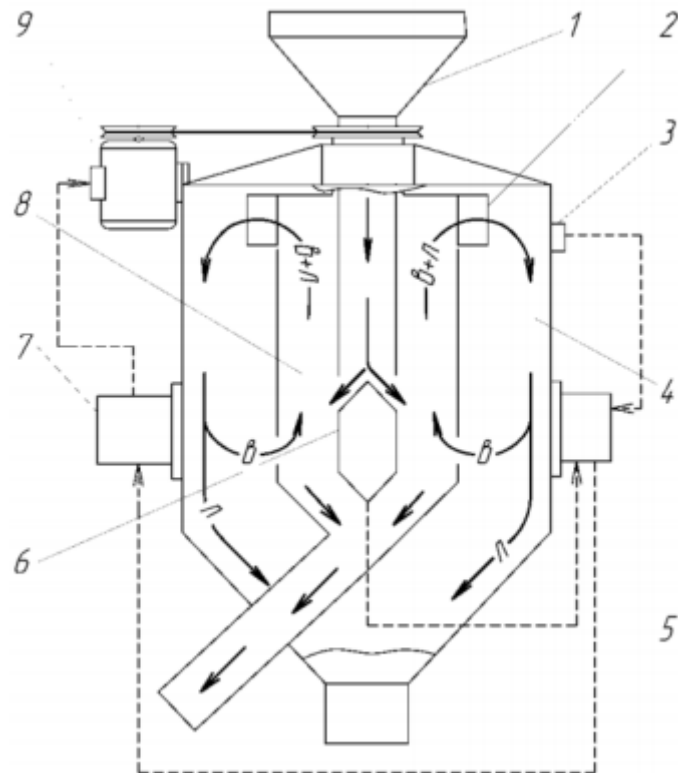


Рис. 1.5. Схема розміщення пристрою контролю й керування технологічним процесом пневмосепаратора: 1 – приймальний пристрій; 2 – колесо вентилятора; 3 – датчик втрат зерна у відходи; 4 – осадова камера; 5 – базовий блок; 6 – подільник потоку матеріалу, що очищується, із вмонтованим датчиком витрати зерна; 7 – перетворювач частоти електричного струму; 8 – пневмосепарувальний канал; 9 – асинхронний електродвигун [13].

Ультразвук – це пружні коливання в середовищі з частотою за межею чутності людини. Зазвичай під ультразвуком розуміють частоти вище 20 000 Герц. У природі ультразвук трапляється як компонент багатьох природних шумів – у шумі вітру, водоспаду, дощу, у звуках, що супроводжують грозові розряди, тощо, так і серед звуків тваринного світу. Деякі тварини користуються

ультразвуковими хвилями для виявлення перешкод, орієнтування в просторі та спілкування.

Під час поширення ультразвукових хвиль можливі явища дифракції, інтерференції, поглинання, відбиття тощо [1]. Якщо керуватися відповідними нормативами, ультразвук являє собою досить безпечне і зручне середовище для наукової та практичної діяльності.

Особливий інтерес становлять перспективні розробки вітчизняних і зарубіжних дослідників і виробників у розглянутих напрямках. Хороші результати показано під час використання ультразвуку в підприємствах, що виробляють тваринні та рослинні жири.

При обробці ультразвуком хлібопекарських дріжджів протягом години бродильна енергія їх підвищується і збільшується вміст компонентів, значущих для харчування [2]. Економічно вигідне й ефективне застосування ультразвуку в кондитерській промисловості. Ультразвукові коливання дають змогу прискорити кристалізацію сахарози та отримати однорідну масу при виготовленні помадки [3]. Під дією ультразвуку поліпшуються специфічні та смакові якості шоколаду і значно скорочується тривалість його обробки в оздоблювальних машинах [4].

У консервній промисловості ультразвук застосовується для отримання тонкодисперсних паст і пюре, які добре засвоюються організмом [5].

Існує високоефективна технологія для виділення з виноградного соку солей винної кислоти у вигляді кристалів за допомогою ультразвукових хвиль, що дає змогу суттєвою мірою стабілізувати напій і попутно отримати сировину для виробництва винної кислоти, яка є досить затребуваною.

Є дані про ефективність використання ультразвуку для потреб солодовенної промисловості. Обробка зерна в кавітаційному полі істотно покращує характеристики солоду і дає змогу вести процес більш енергоефективно [6]. У пивоварній і виноробній галузі ультразвук також знаходить своє застосування, однак, часто ці роботи не виходять за рамки академічних досліджень.

Для контролю та автоматизації різних технологічних процесів використовують ультразвукові датчики та прилади. Ультразвукові датчики працюють із п'єзоелектричним перетворювачем, який є як звуковим випромінювачем, так і приймачем.

Для безконтактного вимірювання рівня різних рідин, у тому числі агресивних, використовують радарний датчик визначення рівня рідини (рис. 1.6) [6]. Головним елементом цього датчика є радіолокатор, частота випромінювання якого змінюється за лінійним законом. Передбачається, що рідина відбиває випромінювання локатора, тому якщо розташувати випромінювач-приймач усередині резервуара і фіксувати затримку відбитого сигналу щодо сигналу джерела, то можна визначити рівень рідини за величиною затримки. Для визначення затримки використовується лінійна модуляція частоти джерела. Якщо частота вихідного сигналу змінюється за лінійним законом, то відбитий сигнал, що має часовий зсув відносно вихідного, матиме також і меншу частоту. За величиною частотного зсуву можна однозначно судити про величину часової затримки між двома сигналами, що вказує і про відстань до поверхні рідини.

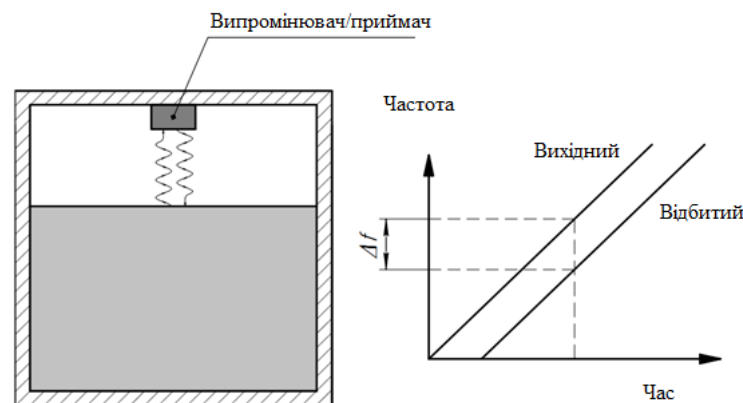


Рис. 1.6. Загальний принцип функціонування датчика рівня радарного типу

Основні переваги приладу: відсутність рухомих частин, контакту із середовищем; універсальність – може працювати практично з будь-яким середовищем за різних умов; висока точність. Основним недоліком радарних датчиків є їхня висока вартість.

Також для безконтактного вимірювання рівня різних рідин використовуються ультразвукові датчики визначення рівня рідини [5].

У датчиках цього типу використовується схема, багато в чому схожа зі схемою датчика радарного типу. У резервуарі встановлюють блок, що складається з генератора і приймача ультразвукових хвиль, так само як, наприклад, в ультразвукових витратомірах і ультразвукових дефектоскопах. Випромінювання генератора ультразвукових хвиль проходить газове середовище, відбивається від поверхні рідини і потрапляє на приймач. Визначивши часову затримку між випромінюванням і прийомом і знаючи швидкість поширення ультразвуку в даному газовому середовищі, можна обчислити відстань до поверхні рідини, тобто визначити її рівень. Ультразвукові датчики мають майже всі позитивні якості датчиків радарного типу, але водночас вони мають точність трохи нижчу, ніж у радарних датчиків, хоча й простіші за внутрішнім устроєм.

Ультразвукові витратоміри (рис. 1.7) [2] використовуються для оперативного вимірювання об'ємної витрати і швидкості рідини в технологічних лініях. В таких пристроях використовується властивість ультразвукових хвиль змінювати свою швидкість розповсюдження в середовищі, що перебуває в русі.

За допомогою розміщення джерела (А) та приймача (В) ультразвуку з певним зсувом (див. рис. 1.7), можна визначати швидкість потоку, спираючись на зміну швидкості розповсюдження ультразвукової хвилі уздовж відрізка АВ..

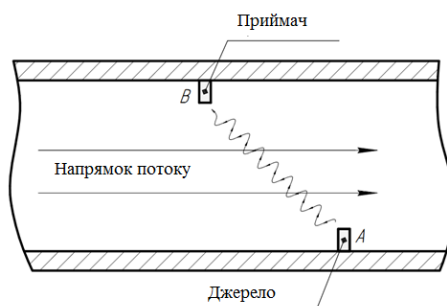


Рис. 1.7. Загальна схема розташування ключових елементів ультразвукового витратоміра

Ультразвукові дефектоскопи (рис.1.8) [3, 4] використовують для контролю якості виробів із твердих матеріалів із використанням методів неруйнівного контролю. В основу функціонування дефектоскопа цього типу покладено властивість проникнення ультразвукових хвиль у тверді тіла. Швидкість поширення ультразвукової хвилі здебільшого залежить від таких параметрів: щільність середовища, пружність середовища, наявність дефектів у вигляді тріщин, порожнеч. Датчик має джерело і приймач ультразвукових хвиль. Якщо між джерелом (А) і приймачем (В) помістити досліджуваний об'єкт і вимірювати час проходження хвиль від А до В, то можна, знаючи відстань АВ, визначити швидкість поширення ультразвукової хвилі через конкретну ділянку твердого тіла. Це дає можливість дослідити внутрішню структуру твердого тіла на наявність дефектів, коливань густини та модуля пружності.

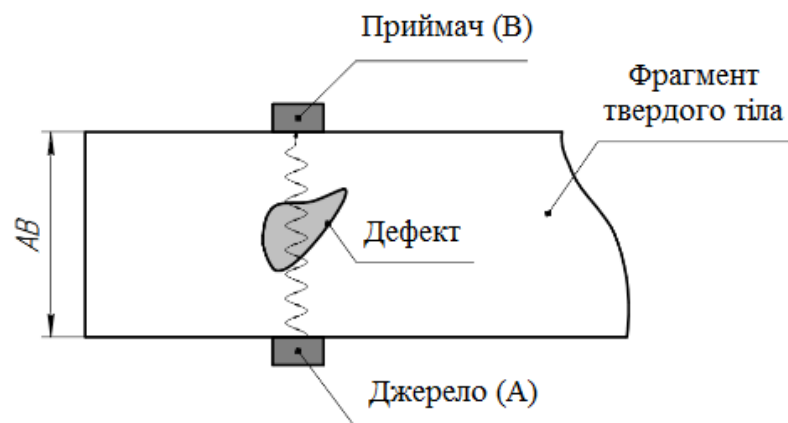


Рис. 1.8. Виявлення прихованого дефекту за допомогою ультразвукового дефектоскопа

Нині ультразвук широко застосовують для вирішення складних технологічних завдань. У роботі [5] представлено метод визначення та контролю пасажиропотоку в умовах щільного потоку людей у контрольованому перерізі дверного отвору громадського транспорту.

Метод ґрунтується на використанні ультразвукових датчиків вимірювання відстані HCSR04, розташованих над людиною, яка проходить повз [6].

Застосування запропонованого методу актуальне для підприємств, що здійснюють пасажироперевезення [6]. Недоліком цього методу є неможливість

визначення кількості пасажирів та їхнього напрямку при збільшенні щільності пасажиропотоку.

Співробітниками НУБІП України запропоновано лабораторну установку з модернізованим дозатором харчових сипких продуктів із застосуванням як стабілізатора потоку частинок механічної енергії ультразвуку (рис.1.9).

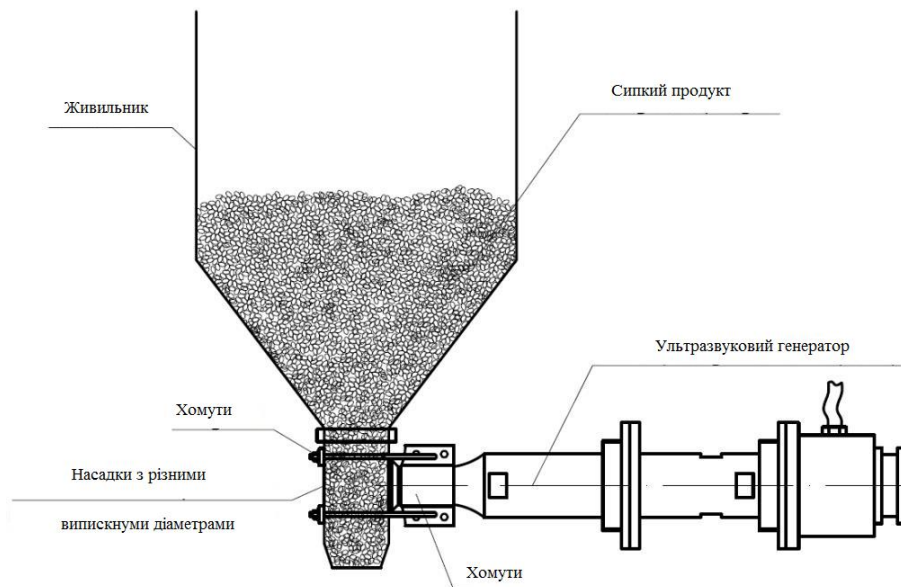


Рис. 1.9. Лабораторна установка ультразвукового живильника Сипкі продукти під впливом ультразвуку є свого роду псевдорідиною, тому що частинки від впливу звукових хвиль рухливі відносно одна одної (коливаються близько 20 000 разів/секунду).

Застосування ультразвукового випромінювача дає змогу знизити енергетичні витрати через зменшення маси коливних елементів живильника, які практично всю енергію віддають зернистому продукту, що поглинає. Це істотно знижує шум роботи такого вібраційного пристрою.

Особливістю ультразвукового живильника є деяка електризація крупи, що практично не впливає на сипучість зернистого матеріалу, але майже на 100% виключає запилення в процесі пакування [1]. Однак не наводяться дані роботи установки під час дозування зернового вороху.

Також варто враховувати, що вплив ультразвукових коливань високої інтенсивності на зернову масу може спричинити пошкодження твердої оболонки

зерна, а коливальні рухи зернових мас можуть змінювати температурний режим зернового шару. Перегрів і пошкодження зерна суттєво впливає на його збереження.

Руйнівні властивості ультразвукових хвиль високої потужності можливо застосовувати для інтенсифікації процесу проростання зерна. Під час обробітку польових культур витрати праці значно знижуються в разі використання насіння, схожість якого не нижча за 95 %. Такого насіння вкрай недостатньо, оскільки багато хто з них перебуває в стані органічного спокою. Тому його рекомендується скарифікувати, тобто "порушити" цілісність оболонки [2, 3].

У роботах [4, 5, 6] пропонується використання енергії ультразвукових хвиль для скарифікації насіння, що має тверду оболонку.

Під час застосування ультразвукової кавітації для порушення оболонки насіння відбуваються складні фізичні процеси, які супроводжуються високим тиском, температурою та швидкістю руху стінок каверн.

Основним діючим фактором у процесі руйнування є мікроударна хвиля, що виникає в момент захоплення кавітаційних каверн. Запропоновані способи обробки зерна дають змогу скоротити час, що витрачається на процес пророщування зерна, і використовувати їх як спосіб знезараження зерна. Представлені способи застосування ультразвуку технологічно неможливо застосувати в пневмосепарувальних каналах.

Вченими ЖАТФК розроблено установку, оснащену ультразвуковим випромінювачем для підвищення якості сепарування круп (рис. 1.10) [7].

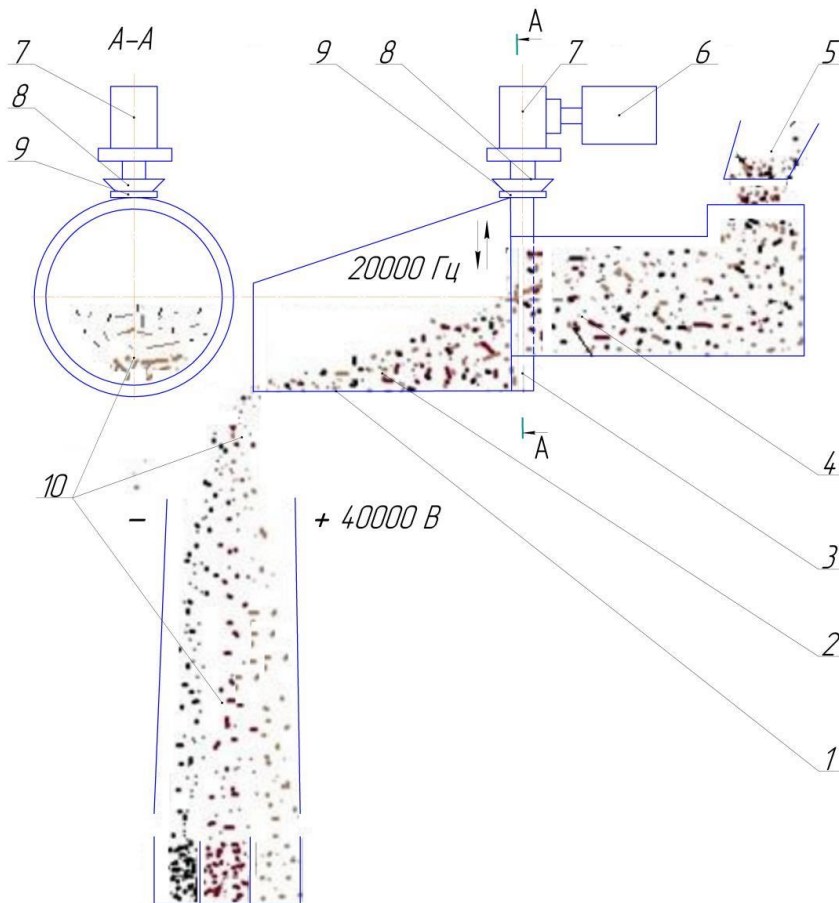


Рис. 1.10. Схема електростатичного сепаратора з трибозарядкою продуктів луцнення в полі ультразвуку: 1 – вібруючий лоток (пластик); 2 – продукти обрушення (оболонка, ядро, незрушене зерно); 3 – металеве затискне кільце з хомутом для передавання вібрацій корпусу тички-спуску; 4 – живильник-бункер; 5 – подавання продуктів обрушення на трибозаряджання; 6 – ультразвуковий генератор; 7 – магніострикційний перетворювач; 8 – ультразвуковий концентратор; 9 – фланець; (-/+)- прикладена напруга до пластин електростатичного сепаратора. Внизу – багатопористий збірник продуктів сепарування. 10 – трибоелектростатично заряджені продукти луцнення

Працює електростатичний сепаратор таким чином. Вібруючий лоток із пластику, закріплений у сталевому затискному кільці, жорстко пов'язаному з ультразвуковим концентратором, механічно впливає на продукти луцнення до подачі їх в електростатичне поле і заряджає їх різним електричним потенціалом, пропорційним до фізичних властивостей частинок. У зв'язку з цим у сепараторі відбувається інтенсивний поділ продуктів луцнення на фракції кулонівськими

силами. По завершенні процесу заряджання, роздільний матеріал переміщується з дозатора до області, де знаходиться електростатичне поле. Це поле формується завдяки вертикально встановленим некоронуючим електродам. Падаючи вниз під дією сил тяжіння, заряджені частинки лушпиння, подрібненого і цілого зерна відхиляються в бік пластин, що перебувають під напругою під дією кулонівських сил [8].

Недоліком цього методу є використання високої напруги.

Оператору необхідно мати відповідну групу допуску з електробезпеки для роботи на установці. Ще одним недоліком є ускладнення процесу сепарації за підвищеної вологості матеріалу, поступове накопичення шару дрібних частинок у результаті осадження їх на електроди. Також не проведено випробування установки під час сепарації зернового вороху.

Існує спосіб визначення профілометрії твердих тіл у реальному масштабі часу за допомогою лазерної ультразвукової томографії [8]. Основний принцип методу полягає в опроміненні об'єкта термоакустично згенерованим ультразвуковим пучком, реєстрації розсіяного і відбитого пучка антеною детекторів і комп'ютерної реконструкції зображення об'єкта - томограми - з використанням спеціалізованих алгоритмів. Схему експериментальної установки, використовуваної як прототип лазерного ультразвукового профілометра, зображено на рис. 1.11.

Система дає змогу змінювати відносне положення об'єкта в тримачі з точністю 0,01 мм. Оптичні профілометри дають змогу виділити роздільну здатність до часток нанометрів у поєднанні з відносно високою швидкістю сканування [5]. Застосування методу контролю профілю поверхонь актуальне під час виробництва об'єктів складних форм.

Застосовувати запропоновану установку для контролю параметрів стану зернового шару нерационально. В однорідному прозорому середовищі світло поширюється прямолінійно. Однак під час переходу з одного середовища в інше воно заломлюється, змінюючи напрямок залежно від різниці в їхній оптичній

густині. У процесі обробки зерна виділяється зерновий пил [1], який перешкоджає проникненню променя світла і заломлює його, створюючи похибку в роботі установки. Визначення параметрів зернового шару в потоці спричинить збільшення періоду обробки даних, знизивши продуктивність потокової лінії.

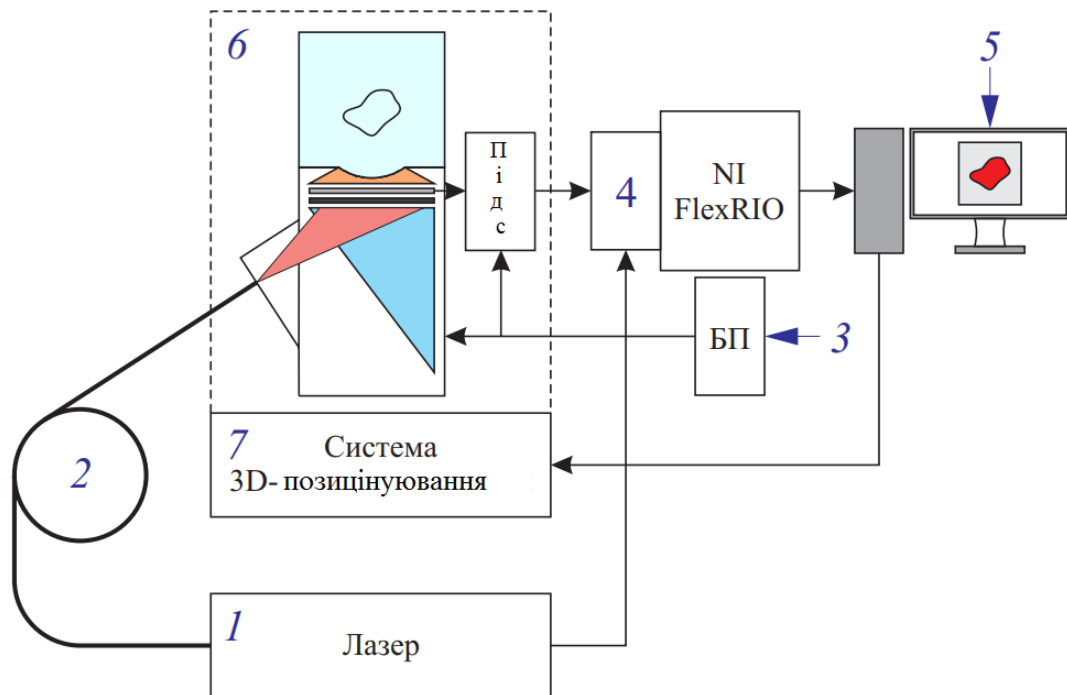


Рис. 1.11. Схема багатоканальної системи для лазерної ультразвукової та оптико-акустичної томографії : 1 – лазер, 2 – система доставки лазерного випромінювання, 3 – блок живлення, 4 – система збирання й оброблення експериментальних даних, 5 – персональний комп'ютер, 6 – приймальна антена, 7 – система тривимірного позиціонування

Висновки по розділу

У процесі розподілу зернової маси на фракції, метод сепарації зернових сумішей у вертикальному повітряному потоці, зокрема за допомогою пневматичного сепараційного каналу, став особливо популярним через свою конструктивну простоту та компактність.

Одним із способів управління станом шару в аерожолобній сушарці є використання УЗ-дальномірів, оскільки вони видають інформацію про продукт у

режимі реального часу, і точність визначення меншою мірою залежить від наявності пилу, вологості матеріалу і повітря. До недоліків даного способу необхідно віднести те, що УЗ хвиля пронизує шар у напрямку його руху. З цієї причини якісна оцінка внутрішньої структури зернового шару в ПСК зі значно змінюваними фізико-механічними властивостями в процесі його очищення неможлива.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПУ РОБОТИ ПРИСТРОЮ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ПІДТРИМАННЯ В ЗАДАНОМУ СТАНІ РУХОМОГО ШАРУ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ В ПРОЦЕСІ ОЧИЩЕННЯ

Для розв'язання задачі застосування ультразвуку для керування процесом сепарації зернового вороху розроблено технологічну схему пневмосепарувального каналу, оснащеного пристроєм оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернового вороху (рис. 2.1). Пневмосепарувальний канал складається з УЗ далекомірів 1; опорної сітки 2; вертикального пневмосепарувального каналу 3; бункера живильника 4; живильного валика 5; вентилятора 6; елемента, що фільтрує (на схемі не показаний).

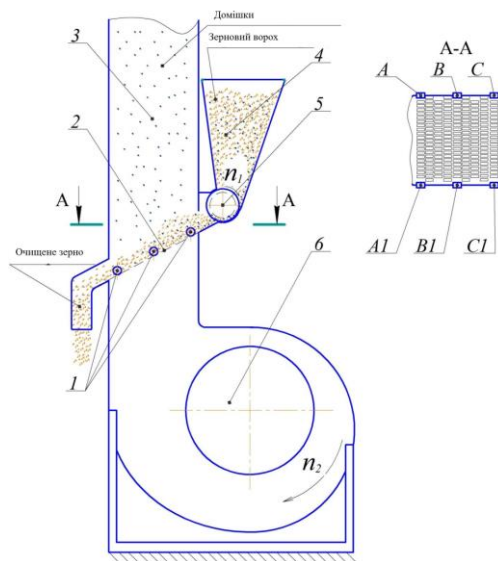


Рис. 2.1. Технологічна схема пневмосепаратора зернового вороху, оснащеного ультразвуковими далекомірами: n_1 – частота обертання живильного валика; n_2 – частота обертання вентилятора; A_1, B_1, C_1 – УЗ-випромінювачі; A, B, C – УЗ-приймачі; 1 – УЗ-далекоміри; 2 – опорна сітка; 3 – вертикальний пневмосепарувальний канал; 4 – бункер-живильник; 5 – живильний валик; 6 – вентилятор.

Процес обробки зерна відбувається так: зерновий ворох від комбайна подається в живильний бункер 4, з бункера за допомогою живильного валика 5 зерновий ворох спрямовується у вертикальний пневмосепарувальний канал 3 на опорну сітку 2 і потрапляє під дію повітряного потоку, створеного вентилятором 6. Під час руху зернового вороху вздовж опорної сітки відбувається його псевдозрідження й очищення від легких домішок, внутрішня структура продувного шару змінюється.

Стан псевдозрідженого шару оперативно фіксується УЗ далекомірами 1. УЗ хвилі частотою 40 кГц випромінюються з періодичністю 150...1500 мс випромінювачами А, В, С і проходять зі швидкістю близько 340 м/с через шар очищеного матеріалу, що рухається зі швидкістю 0,00028 ... 0,16 м/с, поперек його руху до приймачів А1, В1, С1.

У динамічній моделі взаємодії ультразвуку із зерновим шаром можливі такі явища, як розсіювання, відбиття від межі розділу середовищ і поглинання УЗ хвилі. Перше явище пов'язане з різкою зміною властивостей середовища на межі неоднорідностей: його густина і модуль пружності хаотично змінюють свої значення в просторі, водночас розміри перешкод, що зустрічаються на шляху УЗ-хвилі, порівнянні з довжиною хвилі.

Віддзеркалення УЗ хвилі від межі шару зернового вороху може відбуватися при високій насипній щільності, коли шар сприймається пристроєм як цілісний, непроникний для УЗ хвиль об'єкт оцінки. Якщо середовище має в'язкість і теплопровідність, то під час поширення УЗ хвилі відбувається її поглинання, тобто при віддаленні від джерела її енергія зменшується. Це явище не властиве для киплячого шару зернового вороху, оскільки його в'язкість різко зменшується при збільшенні швидкості газового потоку, а теплопровідність порівнянна з теплопровідністю теплоізоляційних матеріалів.

Для своєчасної оцінки стохастичної структури шару зернового вороху, що очищується, та оперативного впливу на виконавчі органи ПСК з метою забезпечення якісного очищення зернового вороху виникає необхідність у

визначенні мінімальної періодичності "просвічування" шару зернового вороху. Відповідно до характеристик використовуваних УЗ далекомірів, модуль УЗ далекоміра генерує пучок із восьми сигналів частотою 40 кГц (рис. 2.2).

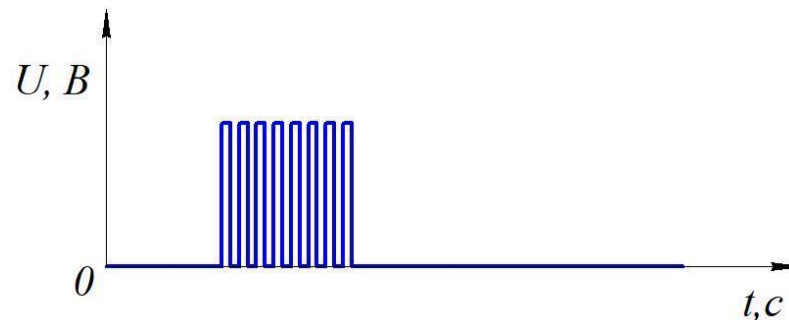


Рис. 2.2. Схема генерування пучка імпульсів із восьми сигналів УЗ далекоміра HC-SR04

Тоді, відповідно до формули (2.10), час випромінювання УЗ хвилі, $t_{\text{имп}}$, становить 0,0002 с.

$$t_{\text{имп}} = 8/v \quad (2.1)$$

Для визначення мінімальної періодичності випромінювання пристроєм УЗ-хвилі необхідно враховувати явище відбиття УЗ-хвилі від дотичних великих частинок зернового вороху. За наявності подібних відбитих хвиль може відбуватися "хибне" оцінювання довжини шляху УЗ хвилі, що проходить через зерновий матеріал, оскільки випромінена УЗ хвиля відбивається від частинок шару зернового вороху і фіксується УЗ-приймачем як результат генерації наступної. Дослідним шляхом визначено періодичність випромінювання, що дає змогу унеможливити "помилкову" оцінку шляху УЗ хвилі, вона становить для розглянутого ПСК, оснащеного розробленим пристроєм, 150 мс.

З метою оцінки впливу подачі повітря і зернового вороху на довжину шляху УЗ хвилі, що пронизує поперек рухомий шар зернового вороху, що рухається, на початку, середині та наприкінці пневмосепараторного каналу, були проведені експериментальні дослідження. У процесі роботи пневмосепаратора значення довжин шляхів ультразвукових хвиль, отриманих з УЗ далекомірів, розміщених на початку – $L_{1\text{ср}}$, середині – $L_{2\text{ср}}$, і наприкінці – $L_{3\text{ср}}$, ПСК прямували

на обробку в мікроконтролерний блок керування і потім фіксувалися на персональному комп'ютері для подальшого аналізу.

Проведені дослідження засвідчили, що частота обертання живильного валика, n_1 , який регулює подачу зернового вороху в ПСК з метою повного її завантаження та забезпечення максимальної продуктивності, має сильний зворотний кореляційний зв'язок із різницею усереднених значень довжин шляхів ультразвукових хвиль, які пронизують впоперек рухомий шар зернового вороху, отриманих з УЗ-дальномірів на початку та наприкінці ПСК. Частота обертання робочого колеса вентилятора, n_2 , що регулює подачу повітря, у ПСК має також сильний зворотний кореляційний зв'язок із різницею усереднених значень довжин шляхів ультразвукових хвиль, які пронизують впоперек рухомий шар зернового вороху, отриманих з УЗ-дальномірів у середині й наприкінці ПСК.

За різницею усереднених значень довжин шляхів ультразвукових хвиль, що пронизують впоперек рухомий шар зернового вороху, отриманих від УЗ-дальномірів, на вході і на виході з пневмосепарувального каналу встановлюється подача матеріалу – задається відповідна частота обертання двигуна живильного валика за допомогою частотного перетворювача. А за різницею усереднених значень довжин шляхів ультразвукових хвиль, що пронизують впоперек рухомий шар зернового вороху, отриманих від УЗ-дальномірів, у середній частині та на виході з пневмосепарувального каналу встановлюється подача повітря – задається відповідна частота обертання двигуна вентилятора за допомогою частотного перетворювача.

Розроблено блок керування пристроєм оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернової купки за допомогою ультразвуку, електричну принципову схему якого представлено на рис. 2.3.

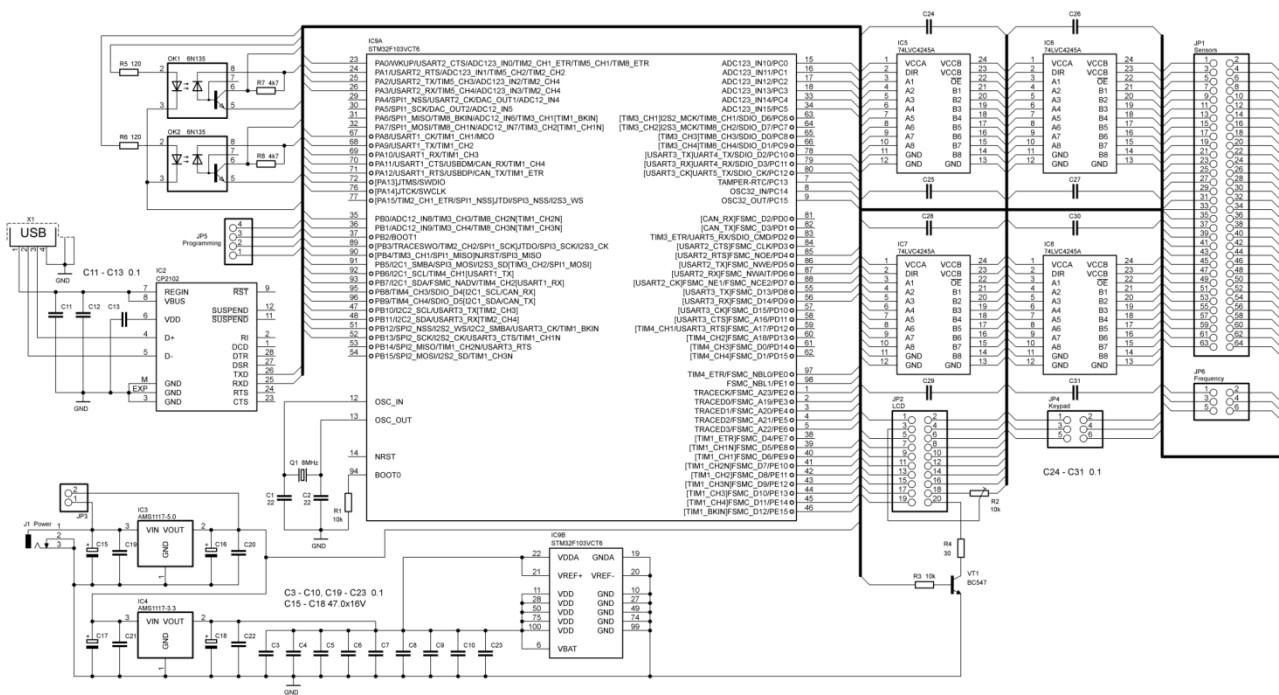


Рис. 2.3. Схема електрична принципова блоку керування пристроєм оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого зернового шару.

Електроживлення блоку керування здійснюється від мережі змінного струму (напругою 220 В) через відповідний блок живлення, що перетворює вхідну напругу змінного струму в постійну напругою 12 В. Оскільки електроживлення УЗ далекомірів і LCD-дисплея здійснюється від напруги 5В, у схему блоку керування ввімкнено лінійний стабілізатор напруги IC3 типу AMS1117-5.0, що знижує напругу блока живлення з 12В до 5В. Для електроживлення мікроконтролера використовується лінійний стабілізатор IC4 типу AMS1117-3.3, що знижує напругу живлення з 5В до 3,3В. Ступеневе зниження напруги 12В до 3,3 В виконано з метою захисту стабілізатора IC4 від перегріву, що призводить до виходу елемента з ладу, який може виникнути через велику різницю напруг на вході і виході та значний струм споживання. Принципові схеми вмикання стабілізаторів виконано відповідно до документації виробників.

Застосування мікроконтролерів у системах автоматичного керування дає змогу зменшити кількість елементів принципової схеми, зменшивши тим самим

габарити пристрою, і розмістити всі елементи на одній друкованій платі. Це досягається завдяки гнучкому налаштуванню роботи мікроконтролера за допомогою мікропрограми, яка записується в його пам'ять.

Вибір мікроконтролера для розроблення блоку автоматичного керування здійснювався за такими критеріями: керування значною кількістю УЗ далекомірів з метою визначення оптимальної їх кількості;

- підключення п'ятикнопкової клавіатури для керування режимами роботи;
- керування двома частотними перетворювачами систем електроприводів вентилятора і живильного валика шляхом подачі імпульсного частотного сигналу;
- під'єднання графічного дисплея;
- наявність інтерфейсу для передавання даних зовнішньому пристрою (ПК);
- можливість внутрішньосхемного налагодження мікропрограми та її прошивки.

На основі цих критеріїв було обрано 32-х розрядний мікроконтролер ІС9 типу STM32F103VCT6. Використовуваний мікроконтролер дає змогу керувати УЗ далекомірами, подаючи на їхні входи Trig, сигнали запуску вимірювань і контролювати відповідь УЗ далекомірів, фіксуючи тривалості сигналів на виходах Echo.

Підключення УЗ далекомірів здійснюється через роз'єм JP1 (рис. 1). Гнучкість налаштування мікроконтролера дала змогу забезпечити керування УЗ-далекомірами та проводити аналіз прийнятих від них сигналів за допомогою внутрішніх периферійних блоків, що входять до складу мікроконтролера. Єдиними зовнішніми елементами схеми керування УЗ далекомірами є шинні транслятори ІС5-ІС8 типу 74LVC4245А. Призначення цих елементів - двоспрямоване перетворення сигналів логічних рівнів 3,3В \leftrightarrow 5,0В, оскільки використання сигналів із напругою 3,3В призводить до нестабільного запуску вимірювань УЗ-далекомірів.

Для забезпечення працездатності пристрою необхідно керувати частотою обертання живильного валика і робочого колеса вентилятора. Спочатку як електропривод живильного валика передбачалося використання сервоприводу, роль якого виконував електродвигун постійного струму, керований сигналом із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Під час експериментів з управління подачею зернового вороху в цього варіанта було виявлено істотний недолік - за високої щільності сипучого матеріалу електродвигун не забезпечував необхідний крутильний момент на малих обертах, що призводило до блокування живильного валика, перегрівання електродвигуна і виходу його з ладу.

Виходячи з цього, було ухвалено рішення про використання для електроприводу живильного валика трифазного асинхронного електродвигуна з ланцюговою передачею.

До складу схеми блока керування пристроєм оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернової купки за допомогою ультразвуку входить п'ятикнопкова клавіатура (рис. 2.4) і графічний LCD дисплей.

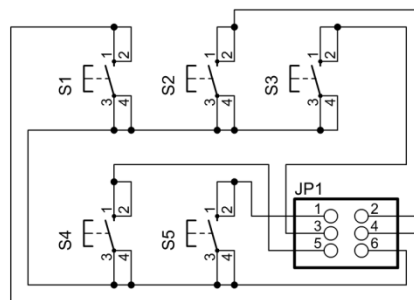


Рис. 2.4. Схема електрична принципова клавіатури

Сигнали з клавіатури через роз'єм JP4 надходять до мікроконтролера, де відбувається їхнє опрацювання та коригування параметрів роботи системи. Передача інформації про роботу системи передається з мікроконтролера на LCD дисплей через роз'єм JP2.

Розроблення друкованих плат блока керування пристроєм оперативного контролю та підтримки в заданому стані рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку здійснювали в середовищі EagleCAD, яке є

комплексним засобом для розроблення друкованих плат, починаючи зі створення принципової електричної схеми і на фініші отримуємо створенням друкованої плати та її трасуванням. Виготовлення плат проводилося фотоспособом за допомогою сухого плівкового фоторезисту Ordyl Alpha 340. Розроблення друкованої плати пристрою велося з урахуванням наявного корпусу для радіоелектронної апаратури (РЕА) розміром 135x75x50 мм, а також можливості розміщення всередині корпусу LCD дисплея та клавіатури. Керуючись перерахованими вище умовами, а також вимогами щодо захисту мікроконтролерних пристроїв від електромагнітних завад, для блока керування каналом була розроблена двостороння друкована плата розміром 115×68,5 мм, на якій розміщено елементи блока керування пристроєм, а також роз'єми під'єднання клавіатури, дисплея та зовнішніх під'єднань.

Усі елементи блока електронного керування пристроєм оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернової купки за допомогою ультразвуку розміщені в корпусі з ABS-пластику розміром 135×75×50 мм (рис. 2.5).

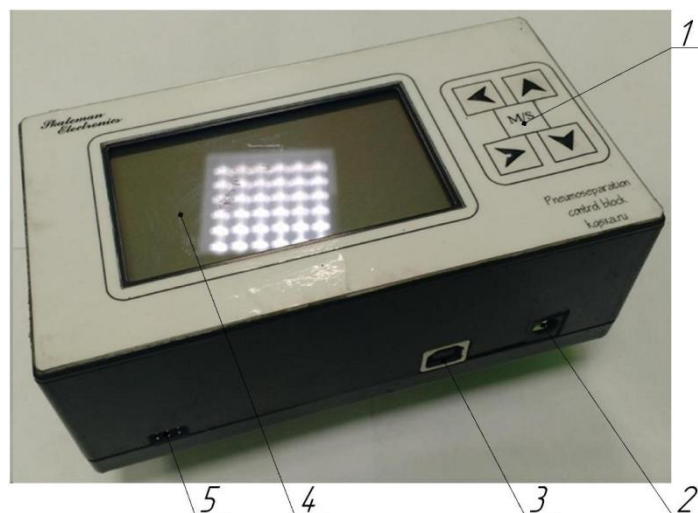


Рис. 2.5. Блок керування пристроєм оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернової купки за допомогою ультразвуку в зборі : 1 – клавіатура керування; 2 – роз'єм під'єднання блока живлення; 3 – роз'єм USB інтерфейсу; 4 – графічний LCD дисплей; 6 – роз'єм під'єднання частотних перетворювачів.

Елементи керування пристроєм оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернової купки за допомогою ультразвуку розміщені в навісній металевій шафі (рис. 2.6).

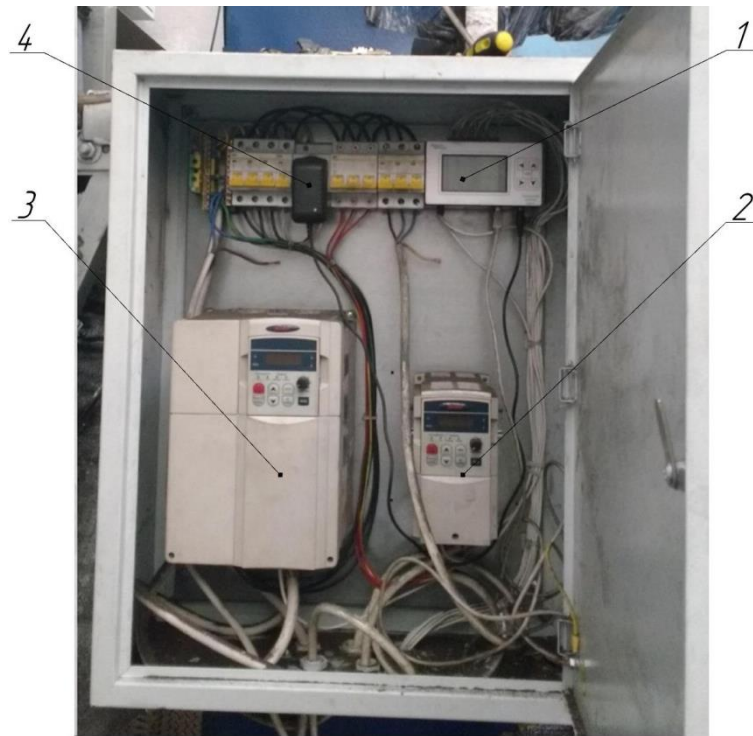


Рис. 2.6. Навісна металева шафа з елементами пристрою оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку: 1 – електронний блок керування; 2 – частотний перетворювач E2-8300 потужністю 1,5 кВт для регулювання частоти обертання живильного валика; 3 – частотний перетворювач E2-8300 потужністю 11 кВт для регулювання частоти обертання вентилятора; 4 – блок живлення.

Відповідно до прийнятої програми наукового дослідження було розроблено конструкційну схему пневмосепаратора зернового вороху, оснащеного пристроєм оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку (рис. 2.7).

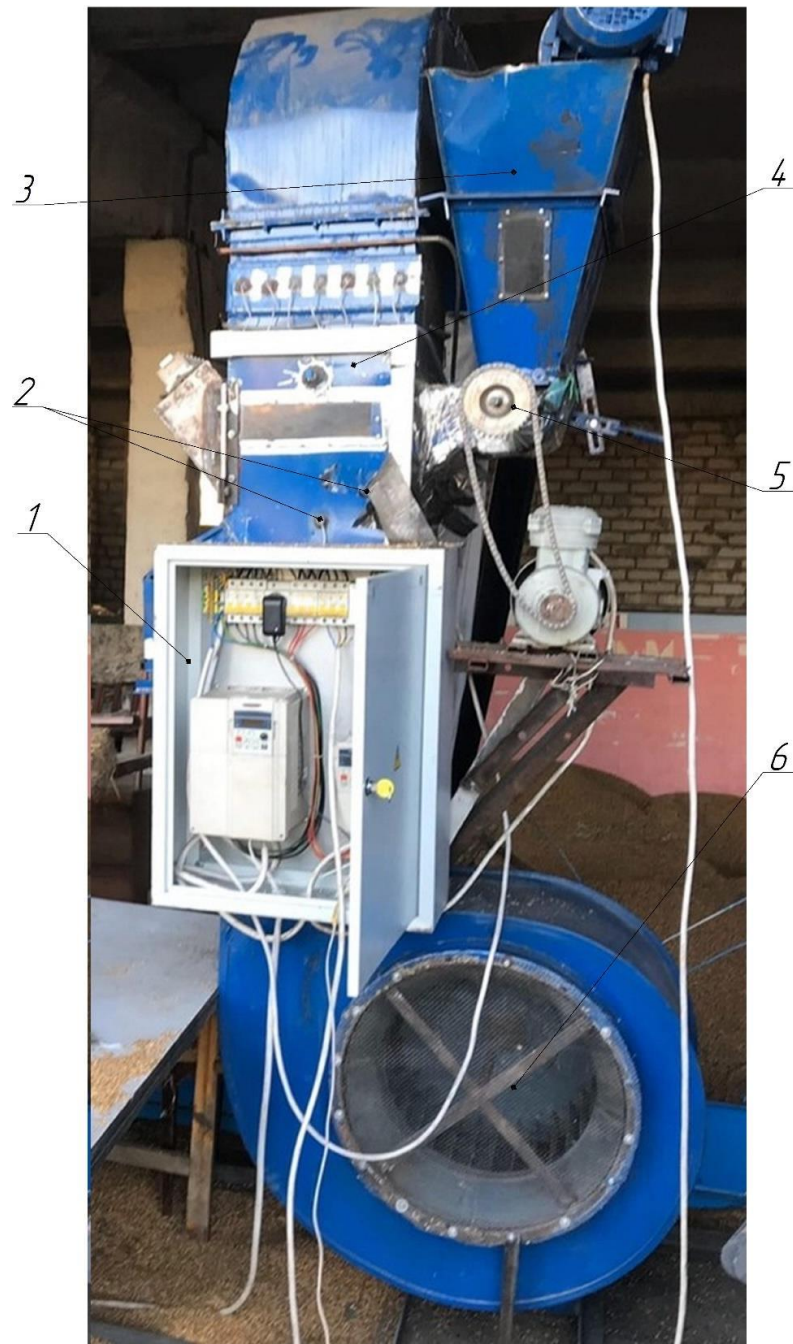


Рис. 2.7. Дослідний зразок пневмосепаратора зернового вороху, оснащеного пристроєм оперативного контролю та підтримання в заданому стані шару зернової купки, що рухається, за допомогою ультразвуку на виробничих випробуваннях: 1 – шафа керування; 2 – УЗ далекоміри; 3 – бункер живильник; 4 – пневмосепарувальний канал; 5 – привід живильного валика; 6 – вентилятор.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Згідно з методикою було зроблено аналіз вибірки величини довжин шляхів УЗ хвиль, отриманих від УЗ далекомірів, розташованих на початку, середині та наприкінці, в режимі сепарації зернового вороху за частоти напруги, підведеної до електродвигуна вентилятора 20 Гц, і частоти напруги, підведеної до електродвигуна живильного валика, 5 Гц. Відповідно до отриманих даних було побудовано графіки залежності $\rho_L(\tau)$ та апроксимовано функцією (рис. 3.1 – 3.6). Згладжувальна крива, отримана в результаті апроксимації, представлена пунктиром.

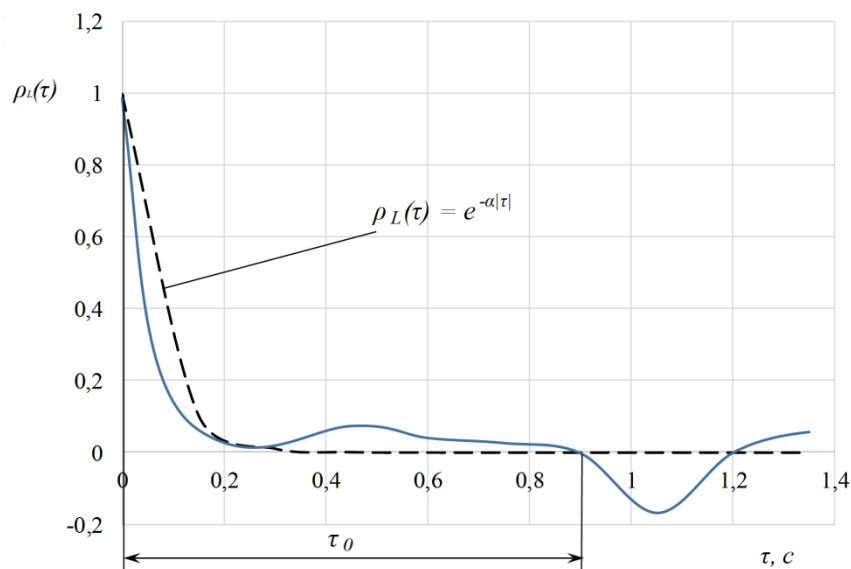


Рис. 3.1. Залежність $\rho_L(\tau)$, отримана під час опрацювання даних від УЗ далекоміра, розташованого на початку ПСК.

Із графіків видно, що у випадковому процесі псевдозрідження присутні приховані регулярні періодичні складові, кореляційна функція коливається біля осі τ і не затухає. Час спаду кореляційної функції τ_0 характеризує тісноту кореляційного зв'язку.

Зв'язок між частинками матеріалу більш тісний на початку ПСК, тобто шар більш структурований, і слабшає в міру проходження шару вздовж опорної сітки

ПСК, переходить у хаотичний стан, при цьому тіснота кореляційного зв'язку зменшується з 0,90 до 0,18 с. Під час визначення спектральної густини було отримано дані, представлені на малюнках 3.4 - 3.6 і в таблиці 3.1.

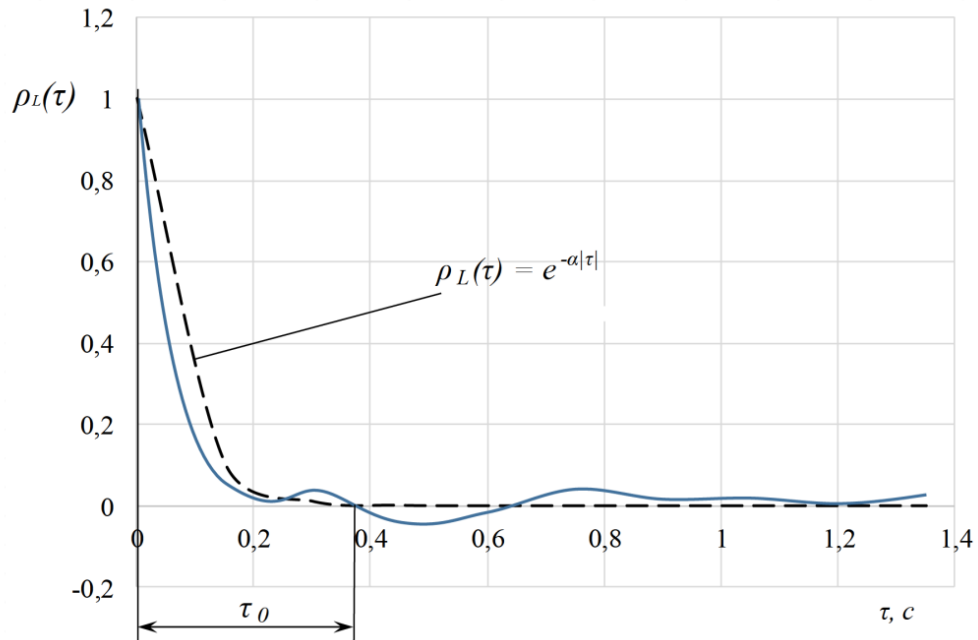


Рис. 3.2. Залежність $\rho_L(\tau)$, отримана під час опрацювання даних від УЗ далекоміра, розташованого в середині ПСК

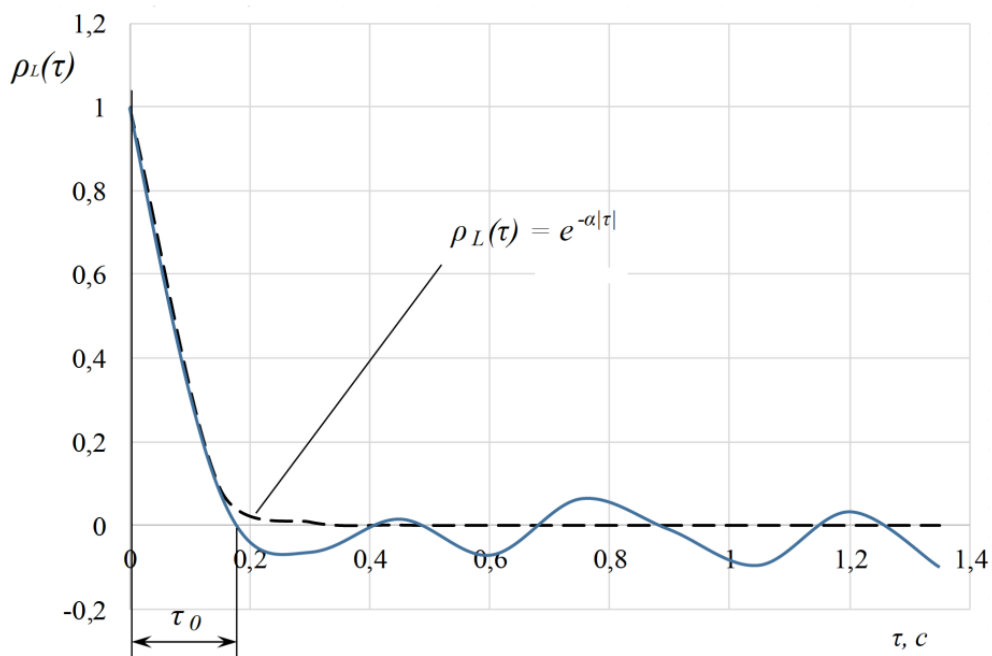


Рис. 3.3. Залежність $\rho_L(\tau)$, отримана під час опрацювання даних від УЗ далекоміра, розташованого в кінці ПСК

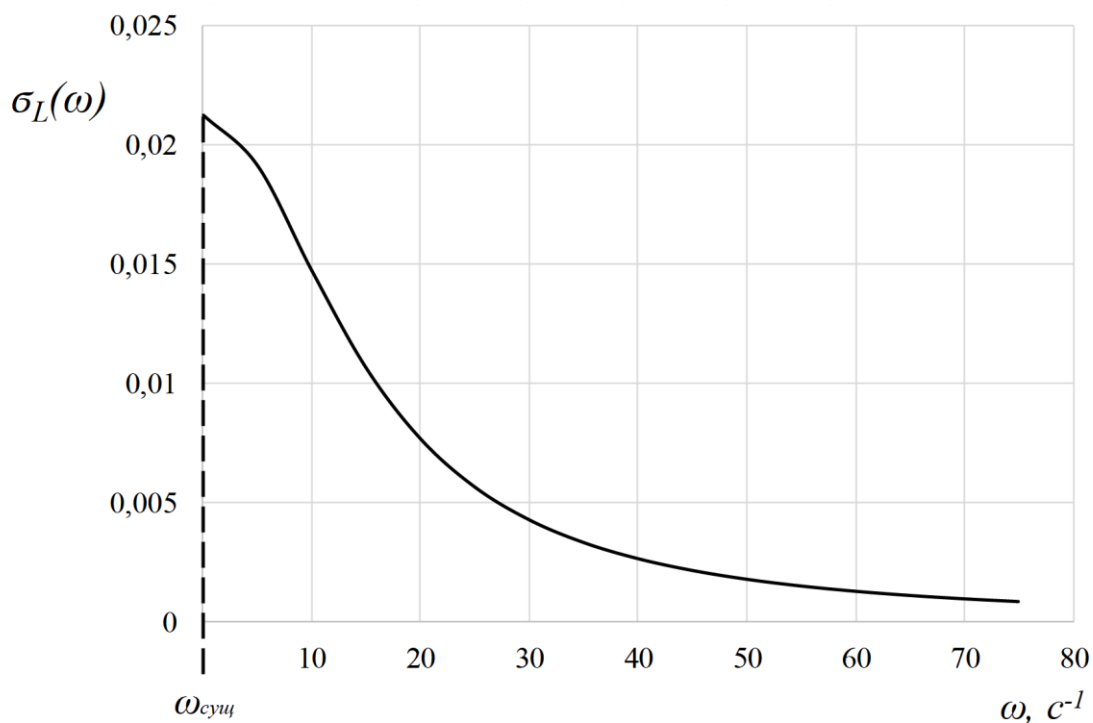


Рис. 3.4. Залежність нормованої спектральної густини від частоти зміни довжини шляху УЗ хвилі, отримана під час опрацювання даних від УЗ далекоміра, розташованого на початку ПСК

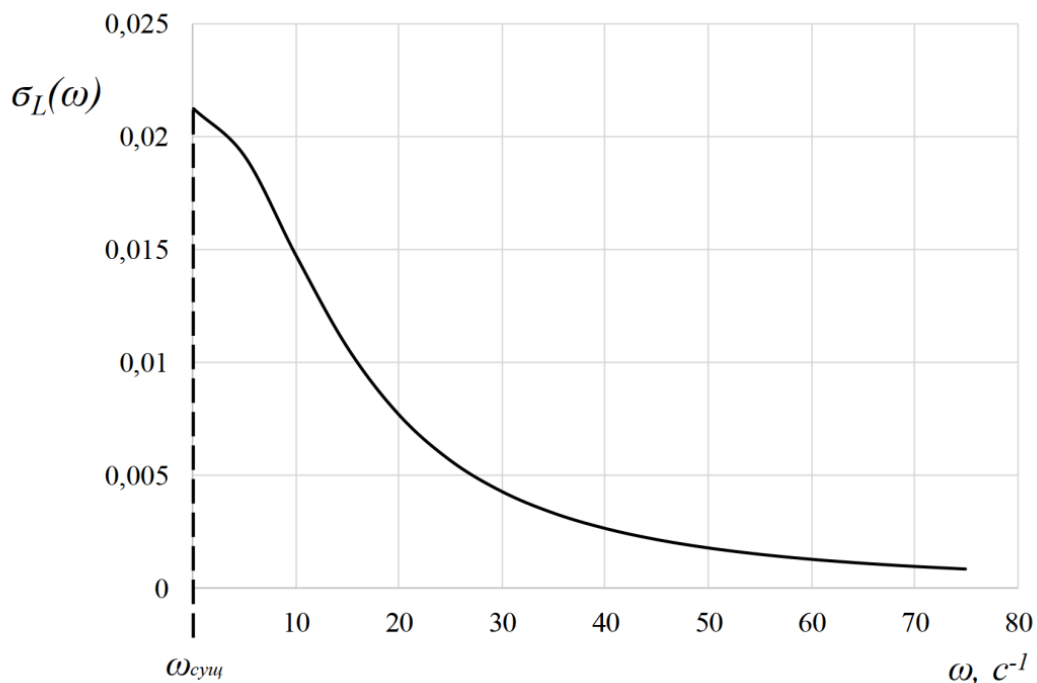


Рис. 3.5. Залежність нормованої спектральної густини від частоти зміни довжини шляху УЗ хвилі, отримана під час опрацювання даних від УЗ далекоміра, розташованого в середині ПСК

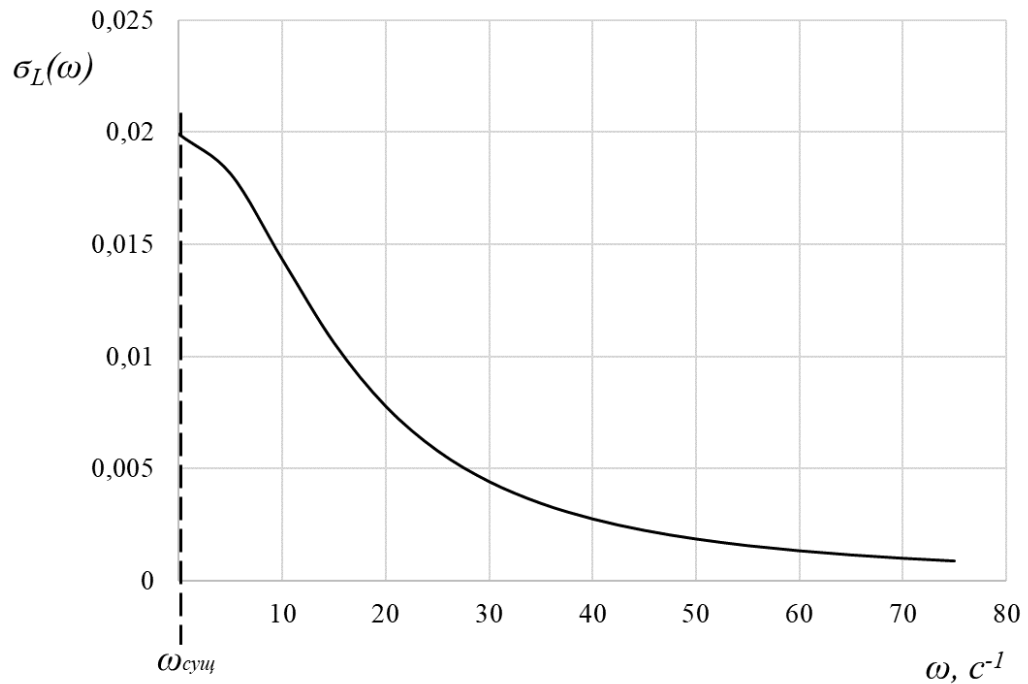


Рис. 3.6. Залежність нормованої спектральної густини від частоти зміни довжини шляху УЗ хвилі, отримана під час опрацювання даних від УЗ далекоміра, розташованого в кінці ПСК

Таблиця 3.1 – Параметри спектральної густини, отримані під час аналізу даних від УЗ далекомірів ПСК.

Найменування показника	Для значень, отриманих від УЗ далекоміра, розташованого на початку ПСК	Для значень, отриманих від УЗ далекоміра, розташованого в середині ПСК	Для значень, отриманих від УЗ далекоміра, розташованого в кінці ПСК
Частота	0,0215	0,0215	0,020
Ширина спектра	47,14	47,14	50,37

Згідно зі значеннями $\Delta\omega$, можна встановити, що випадкові процеси широкосмугові для значень, отриманих від усіх УЗ-далекомірів, тому що їхня спектральна густина не зосереджена у відносно вузькому діапазоні частот близько суттєвої частоти $\omega_{\text{суц}}$. Пористість шару істотно коливається відносно середнього значення в процесі його очищення.

Лабораторні та виробничі випробування проводилися відповідно до методики, викладеної в другому розділі.

Дослідження проводилися під час обробки ярої пшениці. Початкова засміченість зернового вороху $E_{\text{нач}}$ становила 2,05...5,97 %; атмосферний тиск повітря $P_{\text{атм}}$ – 100,7 кПа; температура зовнішнього повітря t° - 20 °С; початкова вологість ярої пшениці $W_{\text{нач}}$ – 13%.

Аналіз експериментальних даних довжин шляхів УЗ хвиль, отриманих від УЗ далекомірів, розташованих у ПСК, зареєстрованих програмою в процесі проведення експериментів на персональний комп'ютер, здійснювався так. Різниці середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль, отриманих від УЗ далекомірів, розташованих на початку і наприкінці ПСК ($L_{1\text{ср}}-L_{3\text{ср}}$), представлено графічно на рис. 3.7. З метою визначення працездатності пристрою на рисунок було нанесено різниці значень довжин шляхів УЗ хвиль, отриманих від УЗ далекомірів, розташованих на початку і наприкінці ПСК ($L_{1\text{ср}}-L_{3\text{ср}}$) за кожні 50 значень. Згідно з теоретичними передумовами лінія 4 має перебувати в діапазоні 1 (рис. 3.7). Обробивши дані кожного дослідження, було визначено діапазони для $L_{1\text{ср}}-L_{3\text{ср}}$ і $L_{2\text{ср}}-L_{3\text{ср}}$, за яких вплив на робочі органи ПСК не здійснюється (рис. 3.7).

Результати експериментальних досліджень визначення параметрів роботи розробленого пристрою контролю та забезпечення заданої чистоти шару зернового вороху подано в табл. 3.2.

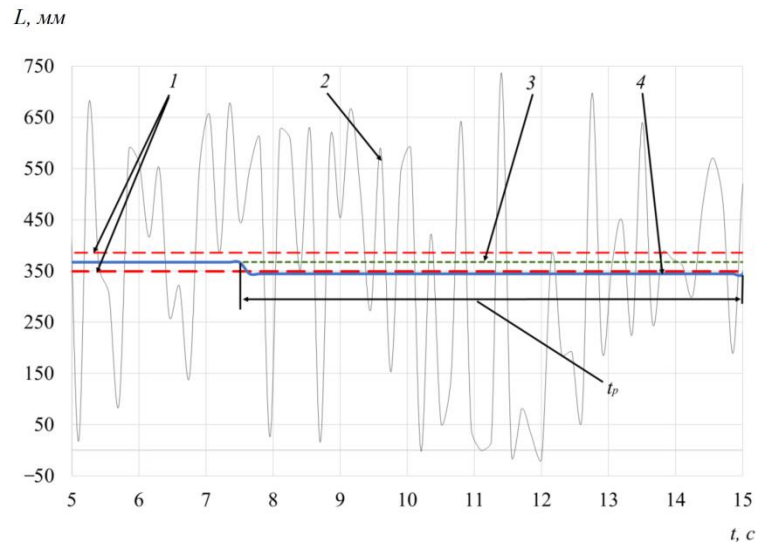


Рис. 3.7. Реалізація процесу розрахунку програмою різниці середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль $L_{1cp}-L_{3cp}$, отриманих під час експериментальних досліджень від УЗ-дальномірів за $X_1=0,95$; $X_2=1,05$: 1 – діапазон для $L_{1cp}-L_{3cp}$, за яких вплив на робочі органи ПСК не здійснюється; 2 – різниця значень довжин шляхів УЗ-хвиль, отриманих від УЗ-далекомірів, розташованих на початку і наприкінці ПСК ($L_{1cp}-L_{3cp}$); 3 – задана різниця середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ-хвиль, отриманих від УЗ-далекомірів, розташованих на початку і наприкінці ПСК (ΔL_{II}); 4 – величини середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль, отриманих від УЗ далекомірів, розраховані за 50 значеннями; t_p – період розрахунку різниці середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль, отриманих від УЗ далекомірів, розташованих на початку і кінці ПСК ($L_{1cp}-L_{3cp}$) за 50 значеннями.

Таблиця 3.2 – Продуктивність і якість роботи ПСК за різних параметрів роботи розробленого пристрою контролю.

Параметри роботи пристрою керування процесом очищення очищення	Продуктивність пневмосепаратора, G , кг/год	Початкова засміченість оброблюваного матеріалу, $E_{нач}$, %	Кількість домішок у матеріалі на виході з ПСК, E , %	Кількість основного матеріалу в осадовій камері, E_h , %	Повнота виділення домішок, E_p , %
Дослід № 1: $X_1=0,98$; $X_2=1,04$;	757,0	5,98	0,63	2,04	89,7
Дослід № 2: $X_1=0,96$; $X_2=1,05$;	2003,6	3,49	0,30	0,34	91,8
Дослід № 3: $X_1=0,94$; $X_2=1,07$;	1513,1	2,06	0,52	0,15	76,2
Дослід № 4: $X_1=0,91$; $X_2=1,10$	1194,7	4,58	0,47	0,55	90,3

Висновки по розділу

Отримані під час дослідження дані засвідчили, що система контролю за встановлення значень $X_1=0,99$; $X_2=1,05$ забезпечує раціональну роботу ПСК. За цих параметрів спостерігається висока продуктивність ПСК, засміченість зерна на виході з ПСК – 0,29%, кількість основного матеріалу в осадовій камері – 0,32%, повнота виділення засмічених домішок – 91,05%. При вторинному очищенні втрати повноцінного зерна мають бути не більше 5 %, дроблення – не більше 0,1 %, повнота виділення сміттєвих домішок – не нижче 80 %.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Застосування розробленого способу контролю і забезпечення заданої пористості шару зернового вороху на основі УЗ в ПСК дає змогу проводити якісне очищення зернового вороху зі змінними фізико-механічними властивостями зернового потоку. Це забезпечується тим, що швидкість поширення УЗ хвиль у зерновому шарі багаторазово вища, ніж швидкість руху окремо взятих компонентів псевдозрідженого шару.

Періодичність опитування УЗ далекомірів 150 мс забезпечує своєчасне реагування системи контролю та забезпечення заданої пористості шару зернового вороху на зміну рівня псевдозрідження потоку зернового вороху. Принцип роботи системи дає змогу здійснювати незалежне регулювання витрати повітряного потоку і подавання зернового вороху в ПСК.

Система контролю та забезпечення заданої пористості шару зернового вороху за встановлення значень $X_1=0,95$; $X_2=1,05$ забезпечує роботу пневмосепаратора відповідно до вимог до якості роботи машин вторинного очищення зерна. За цих параметрів спостерігається висока продуктивність ПСК – 2002,5 кг/год, засміченість зерна на виході з ПСК – 0,29%, кількість основного матеріалу в осадовій камері – 0,32%, повнота виділення засмічених домішок – 91,05%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bennett R., Elton J. History of Corn Milling. Volume 1. Handstones, slaves and cattle mills. London: Simpkin, Marshall and company, ltd., 1898. 278 p.
2. Craik D. The Practical American Millwright and Miller. Philadelphia: Henry Carey Baird, industrial publisher, 1871. 456 p.
3. Яценко Виктор. Қолайсыз жағдайда дәнді дақылдарды жинау. Алматы: Қайнар, 1976. 134 с.
4. Назаренко Л.А. Планування і обробка результатів експерименту. Харків: Харківський національний університет міського господарства (ХНАМГ), 2008. 163 с.
5. Мідак Л.Я. Математичне планування активного експерименту. Плани і порядку. Лінійна модель. ПНУ, Івано-Франківськ, 51 с.
6. Liaposchenko O. The Model Of Crossed Movement And Gas-Liquid Flow Interaction With Captured Liquid Film In The Inertial-Filtering Separation Channels. Separation and Purification Technology. 2016. Режим доступу до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2016.08.042>
7. Sklabinskyi V. Modeling of liquid's distribution and migration in the fibrous filter layer in the process of inertial-filtering separation. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, 2018.P. 489-497.
8. Varukha D. A. Simulation of separation and air classification processes of aerodisperse systems in the shelving device. Journal of Engineering Sciences. Sumy : Sumy State University, 2018. Volume 5, Issue 1. P. F5-F9.
9. Гордеев А.І. Дослідження процесу взаємодії пульсуючого газорідного потоку з технологічними забрудненнями. Вісник ТУП, серія технічних наук. 1997. № 1. С. 55– 60.
10. Дідур В.А. Оптимізація параметрів пневмосепаратора для сепарації рушанки рицини. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2010. Вип.10. Т.8. С. 70–77.

11. Харченко С.О. Обґрунтування параметрів процесу очищення повітряного потоку пилоосаджувальною камерою вібровідцентрових зернових сепараторів: Автореф. дис. канд. техн. наук / ХНТУСГ. Харків, 2007. 20 с.

12. Єрмак В.П. Вдосконалення способу сепарування насіння соняшника у повітряних потоках: Дис. ... канд. техн. наук / ЛНАУ. Луганськ, 2003. 170 с.

13. Куликівський В.Л., Яскажук В.О. Аналіз систем керування подачею матеріалу і повітря, які використовуються у пневмосепарувальних каналах. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 316-319.

14. Куликівський В.Л., Яскажук В.О. Обґрунтування принципу роботи пристрою оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернового вороху в процесі очищення. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 79-82.

15. Куликівський В.Л., Яскажук В.О. Опис конструкції та принципу роботи блока керування пристроєм оперативного контролю та підтримання в заданому стані рухомого шару зернового вороху. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).