

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

КОРЧЕВНИЙ ІВАН ВІКТОРОВИЧ

УДК 631.362

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

_____ Корчевний І.В.

Керівник роботи

Савченко В.М.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2022

АНОТАЦІЯ

Корчевний Іван Вікторович. 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, 2022.

В магістерській роботі розроблено спосіб який дозволяє контролювати та забезпечувати задане розрідження шару зернового вороху в ПСК за характером зміни порізності шару зернового вороху під час процесу очищення.

Спроековано алгоритм функціонування та конструкцію пристосування миттєвого контролю та підтримки у визначеному стані шару зернового вороху за допомогою ультразвуку. Пристрій містить мікроконтролерний блок управління з клавіатурою управління, роз'єми підключення блока живлення, USB інтерфейс, роз'єм підключення частотних перетворювачів, графічний LCD дисплей, УЗ дальноміри та частотні перетворювачі.

Визначено раціональні параметри роботи розробленого пристрою контролю та забезпечення заданої порізності шару зернового вороху у пневмосепараторі зернового вороху. Періодичність опитування УЗ далекомірів - 150 мс; вибірка до розрахунку різниці середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль 50 значень. Межі інтервалу варіювання різниці середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль $\pm 5\%$ від заданих. При даних параметрах продуктивність пневмосепаратора – 2002,5 кг/год, засміченість зерна на виході з ПСК – 0,29%, кількість основного матеріалу в осадовій камері – 0,32%, повнота виділення бур'янів – 91,05%, що відповідає вимогам до якості роботи машин вторинного очищення зерна.

Ключові слова: пневмосепаратор, зерновий ворох, зерно, очищення, ультразвукові хвилі.

ANNOTATION

Korchevnyi Ivan Viktorovich. Increasing the efficiency of the pneumatic grain pile separator. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2022.

In the master's thesis, a method was developed to control and ensure the specified fluidization of the grain pile layer in the PSC according to the nature of the variation of the grain pile layer during its cleaning.

The work algorithm and design of the device for operational control and maintenance in a given state of the grain pile layer using ultrasound have been developed. The device contains a microcontroller control unit with a control keyboard, connectors for connecting a power supply unit, USB interface, a connector for connecting frequency converters, a graphic LCD display, ultrasonic rangefinders and frequency converters.

The rational operating parameters of the developed control device and ensuring the specified difference of the grain pile layer in the pneumatic grain pile separator have been determined. The periodicity of surveying of ultrasonic rangefinders is 150 ms; a sample of 50 values for the calculation of the difference in the average arithmetic values of the path lengths of the ultrasound waves. The limits of the interval of variation of the difference of the average arithmetic values of the lengths of the paths of the ultrasound waves are $\pm 5\%$ of the specified values. With these parameters, the productivity of the pneumatic separator is 2,002.5 kg/h, the grain clogging at the exit from the PSK is 0.29%, the amount of the main material in the sediment chamber is 0.32%, the completeness of weed selection is 91.05%, which corresponds to requirements for the quality of work of secondary grain cleaning machines.

Key words: pneumatic separator, grain heap, grain, cleaning, ultrasonic waves.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ПНЕВМОСЕПАРУВАННЯ ЗЕРНОВОГО ВОРХУ.....	10
РОЗДІЛ 2. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	21
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	37
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51

ВСТУП

Актуальність теми. 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 мешканця [1].

Виробництво зерна становить основу агропромислового комплексу України і є найбільшою підгалуззю сільського господарства, від розвитку якої значною мірою залежить продовольча безпека країни, забезпеченість населення продуктами харчування та його рівень життя, фінансове становище сільськогосподарських товаровиробників [2]. Відповідно до положень Доктрини продовольчої безпеки України граничне значення питомої ваги зерна вітчизняного виробництва у загальному обсязі ресурсів зерна внутрішнього ринку має становити не менше 95 відсотків. В останні роки цей показник не опускався нижче за вказаний рівень [3, 4].

Україна володіє 9 відсотками посівних площ у світі та 40 відсотками площ чорноземних ґрунтів. Водночас валовий збір зернових та зернобобових культур становить 5 відсотків їхнього світового виробництва. За підсумками 2021 року в Україні валовий збір зернових та зернобобових культур становить 113,3 млн. тонн, у тому числі пшениці – 72,1 млн. Посівні площі зернових та зернобобових культур – 46,3 млн. гектарів [2].

Важливим елементом обробітку та виробництва зерна є його післязбиральна обробка, що становить до 40 % у структурі собівартості. Своєчасна та якісна післязбиральна обробка – важливий резерв збільшення збирання зерна [5].

При післязбиральній обробці зерна застосовують машини для попереднього, первинного, вторинного очищення та сортування, більшість яких забезпечені пневмосепаруючими системами або виконані у вигляді самостійних машин.

Зерновий ворох, що надходить на післязбиральну обробку, є сумішшю повноцінного, щуплого і пошкодженого зерна (насіння) основної культури, насіння різних культур. Також зерновий ворох містить домішки органічного – частки рослин, соломи, колосків, полови, та мінерального – пісок, грудочки землі та ін., походження.

У процесі обробки зерновий та насінневий матеріал доводять до необхідних норм, які відображені у спеціальних нормативно-технічних державних стандартах.

При поділі зернового вороху на фракції найбільшого поширення набув спосіб сепарування зернових сумішей у вертикальному повітряному потоці – пневмосепарувальному каналі (ПСК) через конструкційну простоту та компактність пристрою.

Як правило, ПСК працюють у складі потокових ліній. Матеріал, що надходить на обробку 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% [7]. Зміна властивостей оброблюваного матеріалу за часом роботи неминуче викликає зміну всіх змінних стану процесу. Зміна властивостей оброблюваного матеріалу при подачі в ПСК викликає зміну аеродинамічного опору системи та швидкості повітря всередині шару матеріалу, що обробляється. Значне перевищення швидкості повітря від оптимальної призводить до винесення частинок основної культури у відходи, а зменшення цієї швидкості до зниження якості очищення. При роботі потокової лінії також можливі коливання в подачі очищеного матеріалу в ПСК, при збільшенні кількості матеріалу, що надходить в ПСК, збільшується товщина шару, що продується, що веде до зниження якості очищення. Мала подача призводить до зниження продуктивності. При роботі пневмосепаратора зернового вороху основним завданням є підтримання оптимальної подачі повітря і матеріалу в зону сепарації.

При роботі більшості зерноочисних машин подача повітря і матеріалу ПСК здійснюється оператором вручну [7]. Однак при стохастичній зміні властивостей потоку матеріалу оператор не в змозі оперативно реагувати за пульсацією повітря та змінами властивостей матеріалу під час роботи потокової лінії.

Для зниження трудовитрат на управління в даний час виробники починають застосовувати різні системи підтримки швидкості повітря в ПСК. Головним їх недоліком є відсутність можливості коригування подачі повітря в шар за зміни структури шару оброблюваного матеріалу, яка істотно впливає на якість поділу багатокomпонентної суміші.

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

Метою дослідження є зниження наведених витрат та забезпечення якісного поділу зернового вороху із змінними характеристиками в пневмосепараторі з вертикальним пневмосепаруючим каналом зі змінною опорною сіткою.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- розробити спосіб управління станом шару зернового вороху та подачами повітря та зернового вороху в пневмосепаруючий канал;
- провести експериментальні дослідження та обґрунтувати параметри функціонування розробленого ультразвукового пристрою оперативного контролю та підтримки заданої порізності шару зернового вороху, що рухається;

Об'єкт дослідження – технологічний процес роботи ПСК, оснащеного пристроєм оперативного контролю.

Предмет дослідження – параметри пристрою контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку.

Гіпотеза дослідження – якщо використовувати в пневмосепараторі зернового вороху пристрій митєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку, то це дозволить якісно розділяти оброблюваний

матеріал протягом усього періоду роботи ПСК в умовах постійно змінної структури шару зернового вороху і скоротити експлуатацію. за рахунок зниження питомої споживаної потужності пневмосепаратором та зменшення витрат на оплату праці оператора.

Методи дослідження – у дослідженні використано методи математичної статистики та теорії експерименту. Використання даних методів ґрунтувалося на застосуванні сучасних технічних засобів та вимірювальних приладів. Обробка дослідних даних велася 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 та експериментальних результатів, отриманих за допомогою класичних математичних, фізичних, статистичних методів, а також експериментальних досліджень у лабораторних та виробничих умовах.

Нормативною базою дослідження з'явилися: нормативно-законодавчі документи, дані опубліковані в наукових працях вчених, які займалися дослідженням процесу сепарації, аналітичні матеріали науково-дослідних організацій України та країн світу.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко В. М., **Корчевний І.В.** Результати статистичного аналізу числових рядів, одержаних від ультразвукових далекомірів при оцінці стану шару зернового вороху в процесі сепарації. Наукові читання–2022: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 7 червня 2022 р. Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 32-36.

2. Савченко В. М., **Корчевний І.В.** Аналіз систем управління подачею матеріалу та повітря, що використовуються в пневмосепаруючих каналах. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України,

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022. С. 324-329.

3. **Корчевний І.В.** Аналіз існуючих способів контролю та забезпечення заданої порізності шару сипучого матеріалу. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 260-261.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес представляє розроблений алгоритм роботи та конструкція пристрою оперативного контролю та підтримки в заданому стані шару зернового вороху за допомогою ультразвуку

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 53 сторінки комп'ютерного тексту, містить 30 рисунків та 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ПНЕВМОСЕПАРУВАННЯ ЗЕРНОВОГО ВОРХУ

1.1 Аналіз систем управління подачею матеріалу та повітря, що використовуються в пневмосепаруючих каналах

Незважаючи на появу останніми роками сепараторів, що працюють на нових принципах, пневмосепаратори залишаються затребуваними. Співробітниками Мешхедського університету імені Фірдоусі наведено результати досліджень впливу зміни стадії зрілості насіння на критичну швидкість, коефіцієнт опору та число Рейнольдса під час сепарації насіння гранату. В результаті досліджень визначено: теоретично можливий аеродинамічний поділ насіння гранату від гранатової шкірки з місцевими перегородками, якщо значення швидкості повітря регулюється відповідно до граничної швидкості гранатової шкірки [1]. У роботі [2] наведено результати досліджень сепарації борошна у пневматичному гвинтовому сепараторі (рис. 1.1.).

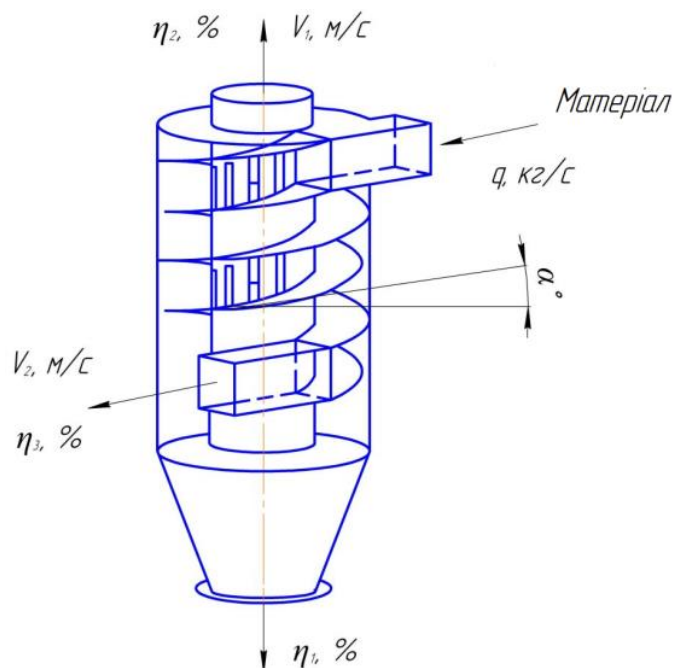


Рис. 1.1. Пневматичний гвинтовий сепаратор

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

При поділі 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 А.О., Рензяєвим О.П., Сорокопудовим О.Ф. розроблено лабораторну установку (рис. 2), оснащену шнековим дозатором, що дозволяє забезпечувати стабілізацію зернового потоку в сепарувальному каналі та підвищення ефективності процесу поділу. Пневмосепаратор працює так: зерновий матеріал надходить у завантажувальний бункер, звідки дозатором подається в розділовий канал. Зерновий матеріал накопичується на підтримувальній сітці. Завдяки перегородці, що перешкоджає подальшому руху зерна по сити, утворюється суміш зернового матеріалу з повітрям. Найбільш важка фракція долає перегородку і зсипається в сепаруючий канал. Більш легка фракція виноситься повітряним потоком і поділяється на фракції в сепаруючих і осадкових каналах в залежності від швидкості витання частинок. Відпрацьоване повітря потрапляє до циклону, де відбувається його очищення від пилової фракції [3].

Запропонований пневмосепаратор дозволяє розділити матеріал, що обробляється на 4 фракції.

Швидкість повітря в представлених пневмосепаруючих каналах регулюється зміною частоти обертання електродвигуна вентилятора, подача матеріалу на обробку здійснюється дозаторами, при цьому не враховується характер зміни складу вороху в каналі.

Вивченням питань післязбиральної обробки зерна присвячено роботу Мякіна В.М., Урюпіна С.Г., Кривошеєва А.В. [4]. У роботі представлені багатоярусні пневмосепаруючі канали. (рис. 1.3).

Робочий процес сепараторів протікає в такий спосіб. Матеріал, що надходить в машину зверху, направляється завантажувальними пристроями 2

багатоарусні аспіраційні канали 3. «Легка» фракція піднімається потоком повітря в осадову камеру 1 і виводиться з неї через виходи 4, обладнані повітряно-зерновими клапанами. "Тяжка" фракція опускається і приймачами насіння 5 направляється в бункер насіння.

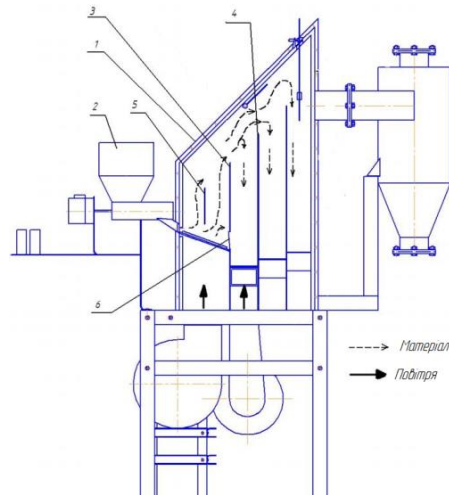


Рис. 1.2. Схема лабораторно-експериментального пневмосепаратора для поділу зернового матеріалу: 1 – корпус; 2 – шнековий дозатор; 3 – задня стінка сепаруючого каналу; 4 – стінка осадового каналу; 5 – бар'єр, що вирівнює зерновий потік; 6 – перегородка

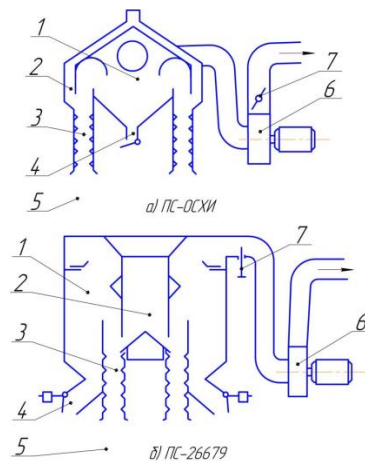


Рис. 1.3. Принципові схеми пневмосепараторів а) ПС-ОСХИ; б) ПС-26679: 1 – відстійна камера; 2 – завантажувальний пристрій; 3 – багатоярусний аспіраційний канал; 4 – вихід «легкої» фракції; 5 – вихід «важкої» фракції; 6 – електровентильатор; 7 – регулювальна заслінка

Вертикальний повітряний потік у багатоярусних аспіраційних каналах створюється електровентилятором 6 швидкість повітря в каналах регулюється заслінкою 7.

Вченими Бурковим А.І., Баталовою Г.А., Глушковим А.Л., Лазикіним В.А. розроблено фракційний пневмосепаратор СП-2Ф (рис. 1.4) [5].

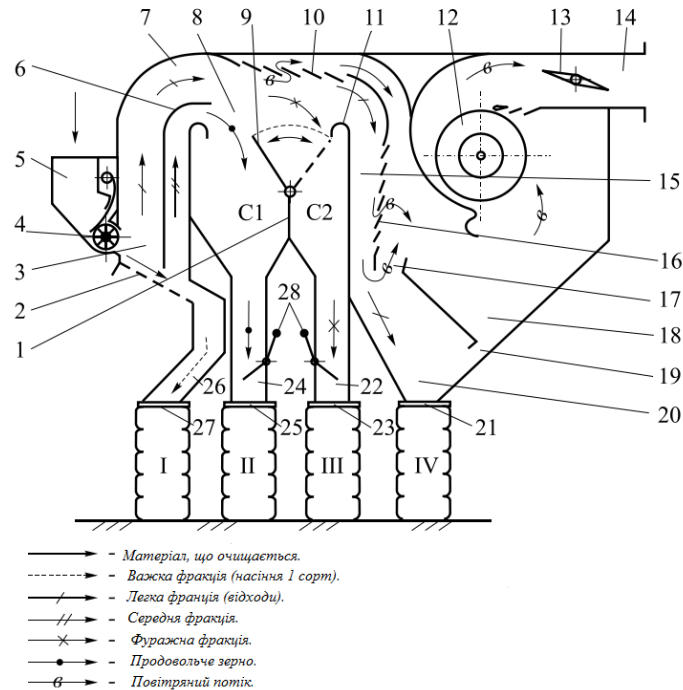


Рис. 1.4. Технологічна схема фракційного пневмосепаратора насіння:

1 – перегородка; 2 – опорна сітка; 3 – пневмосепаруючий канал; 4 - пристрій введення; 5 – приймальний бункер; 6 – суцільна розділова перегородка; 7 – відведення ПСК; 8 – розділова камера; 9 – поворотний клапан; 10 та 16 – горизонтальний та вертикальний ділянки жалюзійного очищувача; 11 – суміжна стінка; 12 – діаметральний вентилятор; 13 – дросельна заслінка; 14 – вихідний патрубок; 15 – інерційний жалюзійно-протиточний пиловловлювач; 17 – протиточний очисник; 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 та II сорту, фуражного зерна та відходів

Застосування фракційного пневмосепаратора СП-2Ф на стадії вторинного очищення дозволяє за один пропуск виділити насіння I та II сорту, що

відповідають за чистотою категоріям ОС та РСт. Подача матеріалу в пневмосепаратор встановлюється заслінкою-вібратором пристрою введення 4. Швидкість повітряного потоку в пневмосепаруючому 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 та витрати повітря. Зміна властивостей оброблюваного матеріалу під час роботи неминуче викликає зміну всіх змінних стану процесу. Зміна властивостей оброблюваного матеріалу при подачі в ПСК викликає зміну аеродинамічного опору системи та швидкості повітря всередині шару матеріалу. Значне перевищення швидкості повітря від оптимальної призводить до винесення частинок основної культури у відходи, а зменшення цієї швидкості до зниження якості очищення. При роботі потокової лінії також можливі коливання в подачі матеріалу в ПСК, при збільшенні кількості матеріалу, що надходить в ПСК, збільшується товщина шару, що веде до зниження якості очищення. Мала подача призводить до зниження продуктивності. При роботі ПСК основним завданням є підтримання оптимальної подачі повітря і матеріалу в зону сепарації. Ручний спосіб зміни параметрів роботи систем очищення не дозволяє оперативно реагувати на зміну засміченості зерна, що обробляється.

Один із сучасних способів контролю технологічного процесу очищення зернового вороху розробили Жолобов Н.В. та Маїшев К.В. Принцип роботи пристрою (рис. 1.5) представлений у роботі [6].

Для визначення абсолютних втрат матеріалу застосовується датчик, що фіксує зіткнення повноцінного зерна з елементами конструкції. Зіткнення зерна зі сталевими стінками відбувається на високій швидкості, викликаючи характерні звукові імпульси [6].

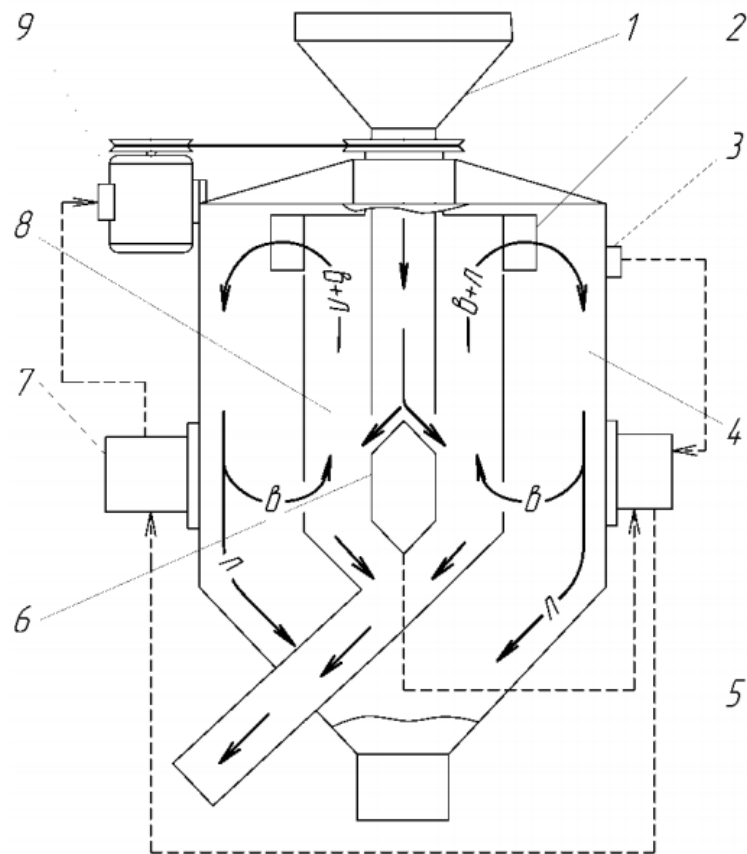


Рис. 1.5. Схема розміщення пристрою контролю та управління технологічним процесом пневмосепаратора: 1 – приймальний пристрій; 2 – колесо вентилятора; 3 – датчик втрат зерна у відходи; 4 – осадова камера; 5 – базовий блок; 6 – дільник потоку матеріалу, що очищається, з вмонтованим датчиком витрати зерна; 7 – перетворювач частоти електричного струму; 8 – пневмосепаруючий канал; 9 – асинхронний електродвигун

Значення абсолютних втрат зерна у відходи розраховується з урахуванням аналізу параметрів даного звукового сигналу. Дані з датчика подаються на блок управління, де проводиться їх аналіз і, при необхідності подається сигнал на виконавчий механізм приводу вентилятора для зміни витрати повітря. Запропонований спосіб дозволяє здійснювати автоматичний контроль за швидкістю повітряного потоку. Але не досліджено, як працюватиме система, коли у складі зернового вороху буде присутній бур'ян, який має меншу швидкість витання щодо швидкості витання зерна. Також у наданій установці не представлена система подачі матеріалу.

1.2. Аналіз існуючих способів контролю та забезпечення заданої порізності шару сипучого матеріалу

Варіантом зниження трудовитрат на управління може бути автоматична підтримка швидкості повітря в ПСК, застосована в зерноочисних машинах Вестрап [12]. У цих машинах швидкість повітря встановлюється на пульті керування та підтримується постійною автоматично. Однак недоліком цього способу управління є можливість коригування подачі повітря при зміні структури шару оброблюваного матеріалу, яка істотно впливає на якість поділу багатокомпонентної суміші. Ще один спосіб впливу на киплячий шар представлений у роботах [13, 14]. Суть способу полягає у впливі магнітного поля на киплячий шар з феромагнітних частинок. Слабке однорідне вертикальне магнітне поле зменшує інтенсивність внутрішніх пульсаційних рухів частинок, не змінюючи закономірностей зовнішньої гідравліки. У сильних полях частинки вишиковуються в ланцюжка вздовж ліній поля, утворюючи своєрідний псевдополімерний шар. Недоліком цього способу є те, що вплив магнітного поля можливий лише на феромагнітні елементи. Застосування способу при обробці зерна неможливо.

Метод зміни порізності досліджуваного матеріалу представлений в роботі [15] (рис. 1.6). Визначено залежність порізності та радіальної швидкості твердої фази від радіальної координати та тимчасового параметра.

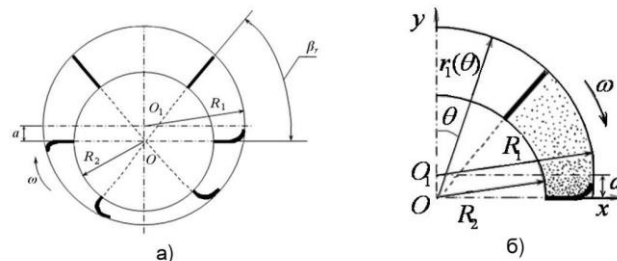


Рис. 1.6. Схеми для руху тонкодисперсного матеріалу в ротаційному пристрої з гнучкими лопатками – в каналах, що звужуються (а) і в комірці апарату (б).

У пристрої з гнучкими лопатками, що обертаються, показано, що відбувається досить рівномірне ущільнення порошку в звужувальному каналі описаного апарату. Пропонується змінювати порізність порошку, варіюючи частотою швидкості обертання ротора, а також зміною статора радіуса (R_1). Робота пристрою вивчена на прикладі обробки однорідного тонкодисперсного матеріалу. Не досліджено, яким чином проводитиметься зміна порізності неоднорідного матеріалу. Поданий метод неможливо використовувати в машинах післязбиральної обробки матеріалу з технологічної точки зору.

В теорії ґрунтів відомі умови, у яких сипкий матеріал то, можливо приведений до критичної щільності – порізності [11], з допомогою методу компресії; повідомлення частинкам структури вібраційних рухів; докладання зрушуючої сили [12]. Фізико-механічні властивості зернового шару неможливо використовувати ці методи. Впровадження пристроїв для реалізації представлених умов у машинах післязбиральної обробки зерна неможливі з технологічної точки зору.

Вібраційний метод псевдозрідження реалізований співробітниками гірничо-металургійного інституту. Віброзріджений шар матеріалу створюється зміною частоти коливань корпусу установки [14]. Основними недоліками даного способу є те, що в процесі роботи пристрою виникають знакозмінні навантаження на робочі органи системи, що негативно позначається на їхній довговічності. Коливальні рухи установки будуть безперервно впливати на шар у вигляді ударних навантажень на зерно. За таких умов оболонка зерна може пошкодитися, що вплине на якість обробки матеріалу та його збереження. Також використання запропонованої установки має на увазі високий рівень шуму, що ускладнює роботу обслуговуючого персоналу.

Системи контролю та управління порізністю зерен застосовуються у вугільній промисловості на гідравлічних осадкових машинах при збагаченні корисних копалин [15]. У цих системах використовуються датчики поплавця поворотного типу, які повідцем кріпляться до рухомої осі кронштейна і

встановлюються на певній висоті над решетом. Сам датчик кутового положення кріпиться до повідку поплавця. Як чутливий елемент використовують інтегральний мікромеханічний акселерометр. Електронна схема датчика забезпечує можливість підстроювання коефіцієнта посилення, частоти зрізу фільтра, підстроювання «нуля». Датчик кутового положення перетворює кут нахилу струмовий сигнал 4-20 мА. Система здійснює автоматичне регулювання та керування подачею води та повітряного потоку в машину. Подібні датчики не можуть бути використані в пневмосепараторах через високу парусність поплавця, що призводить до додаткового аеродинамічного опору системи та нерівномірного розподілу повітряного потоку.

Особливе значення для забезпечення заданого стану зернового шару має використання датчиків для контролю за сепарацією, особливо якщо ці датчики працюють в режимі реального часу, і інформація з них оперативно використовується для управління технологічним процесом. Для проведення хімічного аналізу зерна як реального часу відомі недорогі датчики, які працюють на основі спектрального аналізу. Розроблено подібні датчики для зернових сепараторів, а також для аналізу зернового вороху, що збирається комбайном. Але залишилися невирішеними завдання, пов'язані з використанням подібних датчиків для роботи в каналах, що пневмосепарують.

Авторами Волхоновим М.С., Смирновим І.А., Полозовим С.А. та ін розроблений спосіб управління станом шару в аеродинамічних системах машин для післязбиральної обробки матеріалу та пристрій для його здійснення (рис. 1.7).

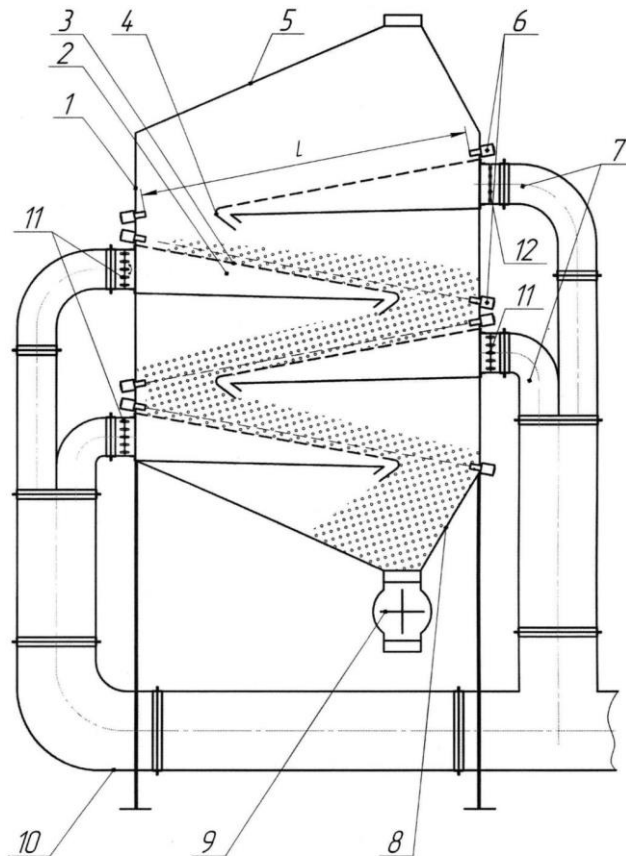


Рис. 1.7. Аеродинамічна система машини для післязбиральної обробки матеріалу: 1 – шахта; 2 – аеродинамічні коробки; 3 – перфорована перегородка; 4 – активний переливний поріг; 5 – надсушильний бункер; 6 – ультразвукові далекоміри; 7 – повітророзподільні коробки; 8 – підсушильний бункер; 9 – дозатор; 10 – розподільник; 11 – жалюзійні заслінки; 12 – «жалюзійні заслінки закриті».

Згідно даного способу, регулювання подачі повітря в зерно здійснюється на підставі порівняння довжини шляху ультразвукової хвилі, що пройшла через зерновий шар з певним значенням, яке заздалегідь задається оператором. До недоліків цього способу слід віднести те, що хвиля УЗ пронизує шар у напрямку його руху. З цієї причини якісна оцінка внутрішньої структури зернового шару з фізико-механічними властивостями, що змінюються, в процесі його очищення неможлива.

Розвиток оперативного контролю за станом шару, що сепарується, йде різними шляхами. Традиційні механічні способи очищення в даний час

доповнюються потужностями обчислювальних машин штучного інтелекту, наприклад при налаштуванні фотосепараторів використовується машинне навчання. Автори Польського Вармінсько-Мазурського університету пропонують використовувати генетичні алгоритми для встановлення оптимальних параметрів сепарації насіння гречки. Однак результати цих досліджень не знайшли широкого практичного застосування. Причиною цього, ймовірно, є недостатня вивченість та низька ефективність роботи цих систем.

Висновки по розділу

На підставі вищевикладеного можна зробити наступне узагальнення: на сьогоднішній день не розроблені способи та пристрої оперативного контролю за станом шару, що рухається, зернового вороху при його сепарації. Для цього краще використовувати пристрої, засновані на використанні фізичних властивостей УЗ хвилі, так як вони видають інформацію про продукт в режимі реального часу і точність визначення меншою мірою залежить від багатьох несприятливих факторів - пил та ін, однак існує складність їх застосування в системах стохастичною зміною щільності матеріалу, наприклад, зернового вороху, у його обробки, так як не враховуються розмірні характеристики елементів шару і його «насипна» щільність, що змінюється.

РОЗДІЛ 2

ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Опис конструкції та принципу роботи блоку управління пристроєм митєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку.

Розроблено блок управління пристрій митєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку, електрична принципова схема якого представлена на рис. 2.1.

Електроживлення блоку управління здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В через блок живлення, що перетворює вхідну напругу змінного струму в постійне напругою 12 В. Так як електроживлення УЗ далекомірів і LCD дисплея здійснюється від напруги 5В, в схему блоку управління включений лінійний стабілізатор напруги ІС3 типа AMS1117-5.0, що знижує напругу блоку живлення з 12 до 5В. Для електроживлення мікроконтролера використовується лінійний стабілізатор ІС4 типу AMS1117-3.3, що знижує напругу живлення з 5 до 3,3В. Ступінчасте зниження напруги 12В до 3,3 В виконано з метою захисту стабілізатора ІС4 від перегріву, що призводить до виходу елемента з ладу, який може виникнути через велику напругу різниці на вході і виході і значного струму споживання. Принципові схеми включення стабілізаторів виконані відповідно до документації виробників.

Застосування мікроконтролерів у системах автоматичного управління дозволяє зменшити кількість елементів принципової схеми, зменшивши тим самим габарити пристрою, та розмістити всі елементи на одній друкованій платі. Це досягається за рахунок гнучкого налаштування роботи мікроконтролера за допомогою мікропрограми, що записується в його пам'ять.

Вибір мікроконтролера розробки блоку автоматичного управління здійснювався за такими критеріям:

- управління значною кількістю УЗ далекомірів з метою визначення оптимального їх числа;
- підключення п'ятикнопкової клавіатури для управління режимами роботи;
- керування двома частотними перетворювачами систем електроприводів вентилятора та живильного валика шляхом подачі імпульсного частотного сигналу;
- підключення графічного дисплея;
- наявність інтерфейсу для передачі даних зовнішньому пристрою (ПК);
- можливість внутрішньосхемного налагодження мікропрограми та її прошивки.

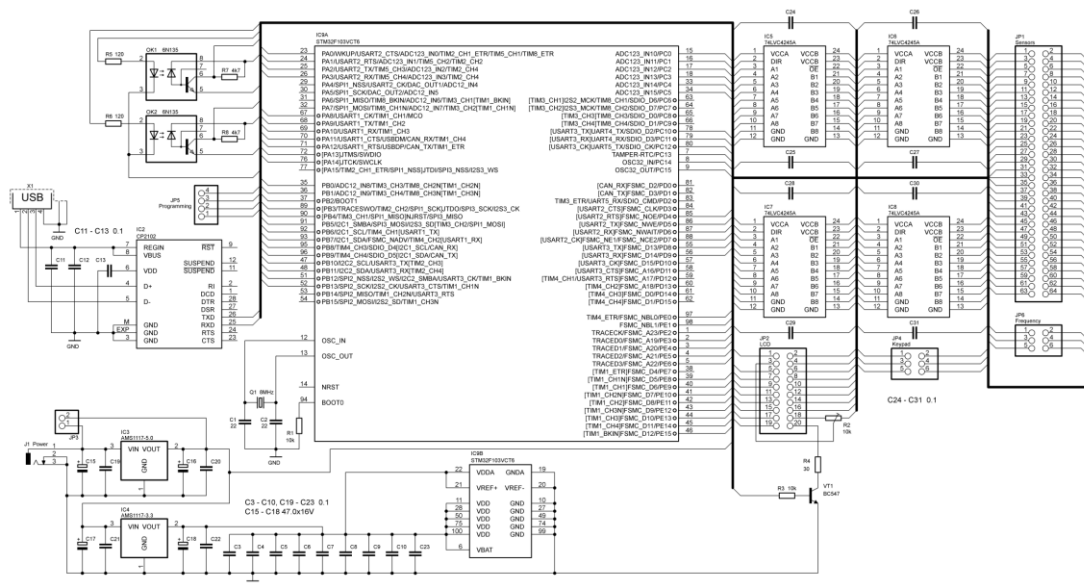


Рис. 2.1. Схема електрична принципу блоку управління пристроєм митєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку.

На основі даних критеріїв було обрано 32-розрядний мікроконтролер IC9 типу STM32F103VCT6. Використовуваний мікроконтролер дозволяє керувати УЗ далекомірами, подаючи на їх 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. 2.1.). Гнучкість налаштування мікроконтролера дозволила забезпечити управління УЗ далекомірами і проводити аналіз прийнятих від них сигналів за

допомогою внутрішніх периферійних блоків, що входять до складу мікроконтролера. Єдиними зовнішніми елементами схеми управління УЗ далекомірами є шинні транслятори IC5-IC8 типу 74LVC4245A. Призначення даних елементів – двоспрямоване перетворення сигналів логічних рівнів 3,3В <--> 5,0В, оскільки використання сигналів з напругою 3,3В призводить до нестабільного запуску вимірювань УЗ далекомірів.

Для забезпечення працездатності пристрою необхідно керувати частотою обертання валика живлення і робочого колеса вентилятора. Спочатку як електропривод живильного валика передбачалося використання сервоприводу, роль якого виконував електродвигун постійного струму, керований сигналом з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). У ході експериментів з управління подачею зернового вороху у даного варіанту був виявлений істотний недолік - при високій щільності сипучого матеріалу електродвигун не забезпечував необхідний крутний момент на малих оборотах, що призводило до блокування валика живлення, перегріву електродвигуна і виходу його з ладу.

До складу схеми блоку управління пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку входить п'ятикнопочка клавіатура (рис. 2.2.) і графічний LCD дисплей.

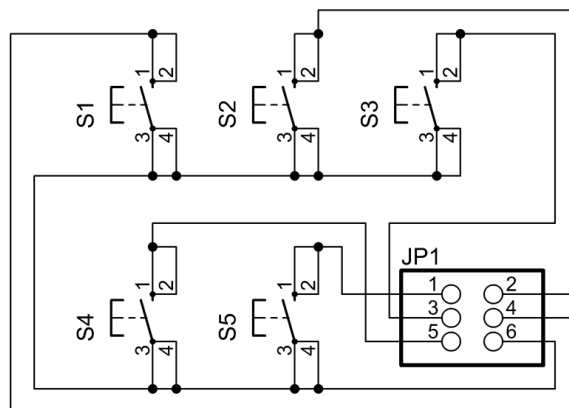


Рис. 2.2. Схема електрична принципова клавіатури

Сигнали з клавіатури через роз'єм JP4 надходять до мікроконтролера, де проводиться їх обробка та коригування параметрів роботи системи. Передача

інформації про роботу системи передається з мікроконтролера на дисплей LCD через роз'єм JP2.

Розробка друкованих плат блоку управління пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку вироблялася в середовищі EagleCAD, що представляє собою комплексний засіб для розробки друкованих плат, починаючи з створення принципової електричної схеми і закінчуючи створенням друкованої плати і її траси. Виготовлення плат вироблялося фотоспособом за допомогою сухого плівкового фоторезиста Ordyl Alpha 340. Розробка друкованої плати пристрою велася з урахуванням корпусу для радіоелектронної апаратури (РЕА) розміром 135x75x50 мм, а також можливості розміщення всередині корпусу LCD дисплея і клавіатури. Керуючись вищепереліченими умовами, а також вимогами захисту мікроконтролерних пристроїв від електромагнітних перешкод, для блоку управління каналом була розроблена двостороння друкована плата розміром 115x68,5 мм (рис. 2.3.), на якій розміщені елементи блоку управління пристроєм, а також роз'єми підключення клавіатури, зовнішніх підключень.

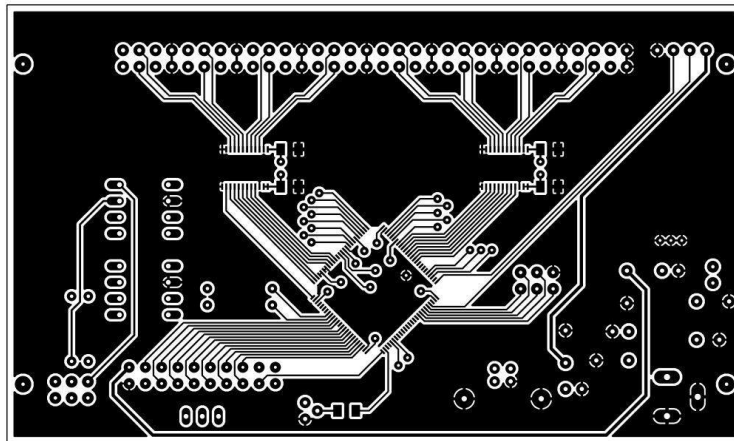


Рис.2.3. Друкована плата блоку управління пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку – верхня сторона.

Схема монтажу та загальний вигляд плати блоку управління пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку представлені на рис. 2.4, 2.5.

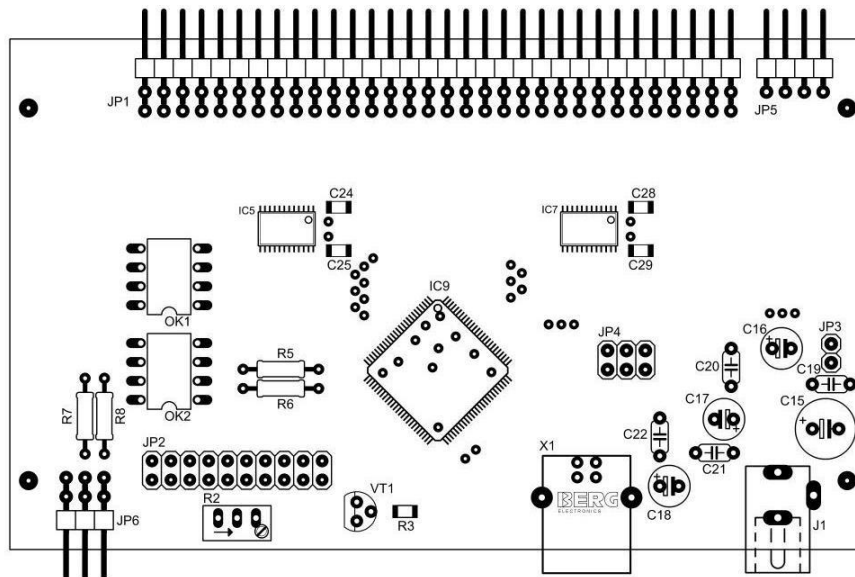


Рис. 2.4. Схема монтажу плати блоку управління пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку – верхня сторона : 1 – роз'єм для підключення УЗ далекомірів; 2 – роз'єм підключення внутрішньосхемного налагодження JLINK, ST-LINK для внутрішньосхемного налагодження та прошивки; 3 – роз'єм підключення блоку живлення; 4 -роз'єм USB інтерфейсу; 5 - роз'єм підключення частотних перетворювачів.

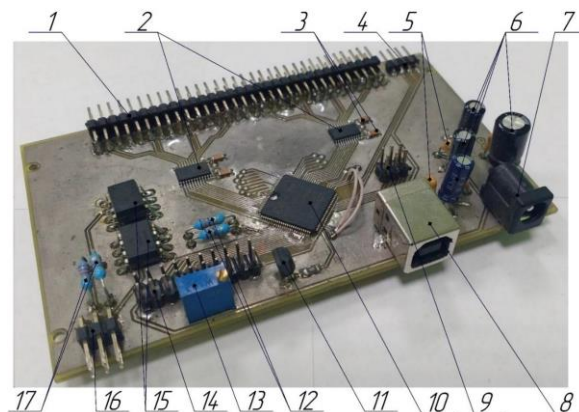


Рис. 2.5. Загальний вид плати блоку управління пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку – верхня сторона: 1– порт підключення УЗ далекомірів; 2 – мікросхема LVC 4245a; 3,5,6 – конденсатори; 4 – SWD порт для програмування мікроконтролера; 7 – роз'єм живлення; 8 – USB роз'єм тип В; 9 – роз'єм підключення клавіатури; 10 – мікроконтролер; 11 – транзистор; 12, 17 – резистори; 13 - підстроювальний

резистор; 14 - роз'єм підключення дисплея; 15 – оптопара; 16 – роз'єм підключення частотних перетворювачів.

Розробка друкованої плати дисплея, а також схеми монтажу його елементів не проводилася, оскільки він є виробом, що серійно випускається. Для клавіатури керування режимами роботи пневмосепаратора зернового вороху було розроблено односторонню друковану плату розміром 26x50 мм (рис. 2.6.).

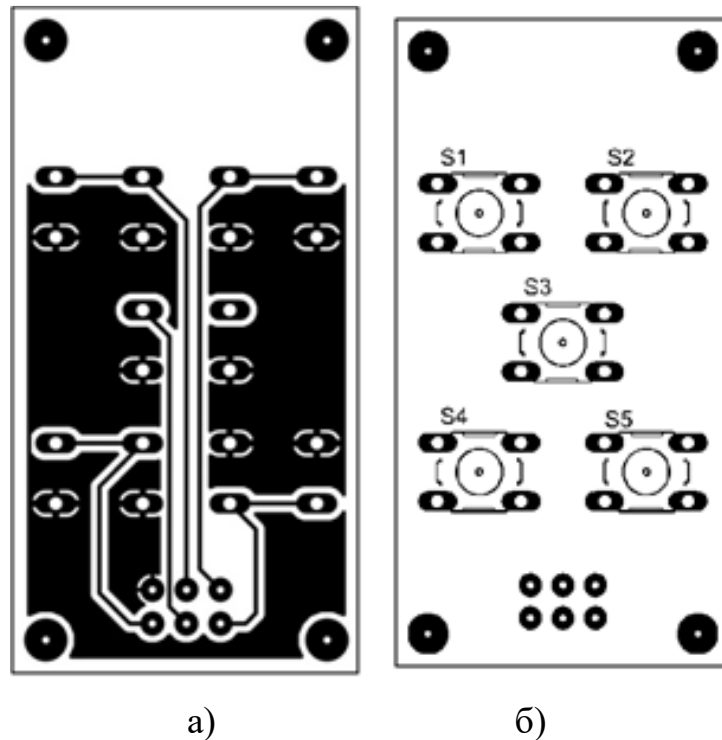


Рис. 2.6. а) друкована плата клавіатури керування режимами роботи; б) схема монтажу плати клавіатури керування режимами роботи пристрою.

Всі елементи блоку електронного управління пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку розміщені в корпусі з ABS пластику розміром 135x75x50 мм (рис. 2.7).

Елементи управління пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку розміщені в навісній металевій шафі (рис. 2.8).

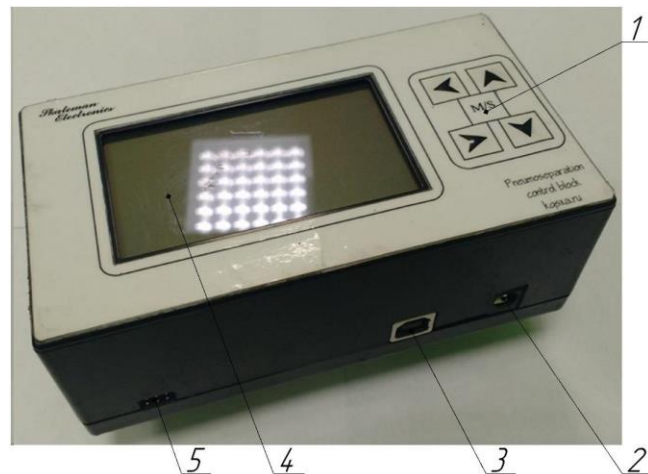


Рис.2.7. Блок управління пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку в зборі :1 – клавіатура управління; 2 – роз'єм підключення блока живлення; 3 – роз'єм USB інтерфейсу; 4 – графічний LCD дисплей; 6 – роз'єм підключення частотних перетворювачів.

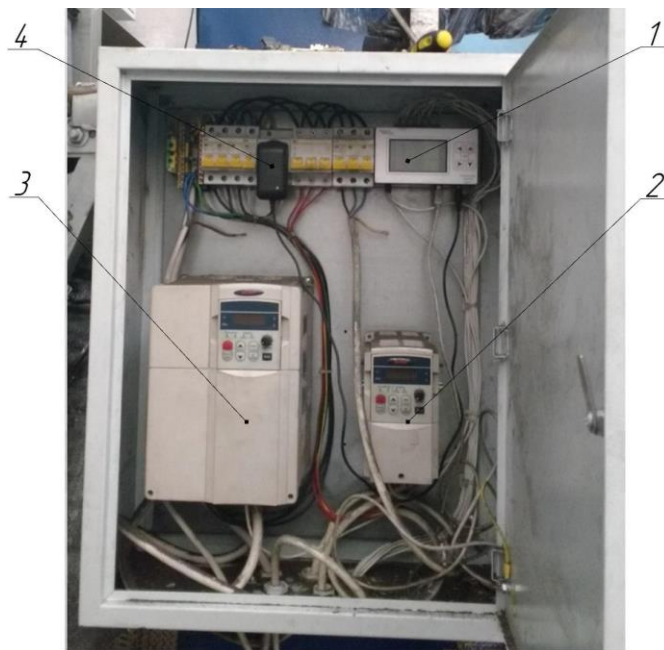


Рис. 2.8. Навісна металева шафа з елементами пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку: 1 – електронний блок керування; 2 – частотний перетворювач E2-8300 потужністю 1,5 кВт для регулювання частоти обертання валіка живлення; 3 – частотний перетворювач E2-8300 потужністю 11 кВт для регулювання частоти обертання вентилятора; 4 – блок живлення.

Схема узгодження роботи елементів пристрою миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку в ПСК представлена на рис 2.9.

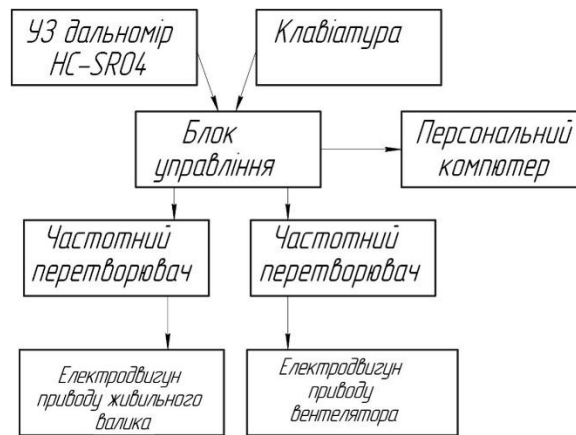


Рис.2.9. Схема узгодження роботи елементів пристрою миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку в ПСК.

Для зміни подач зернового вороху та витрати повітря на ПСК використовувалися частотні перетворювачі. Розроблене програмне забезпечення дозволяє одночасно зчитувати показання частотних перетворювачів і показання довжин шляхів УЗ хвиль, отриманих від УЗ далекомірів, розташованих на початку, середині і кінці ПСК. Розробка програмного забезпечення була виконана серед IAR Embedded Workbench for ARM. Для прошивки програми в мікроконтролер, а також її налагодження в режимі реального часу був застосований програматор/налагоджувач для ARM ядра J-LINK v8, цифровий осцилограф UNI-TUTD2102CEL та восьмиканальний логічний аналізатор LHT00SU1.

Керуюча програма для мікроконтролера написана мовою програмування C Sharp і за своєю структурою представляє поєднання прапорових автоматів, що запускають опитування клавіатури та запуск вимірювань, і кінцевих автоматів, що визначають номер каналу вимірювання. Для відліку інтервалів запуску задач застосовані програмні таймери, що тактуються від системного таймера ядра мікроконтролера з періодом 1 мс. Цикл вимірів системи виглядає так. Запускається вимір першого УЗ далекоміра, розташованого біля опорної сітки.

Для цього мікроконтролер протягом 10 мкс подає рівень лог.1 на виведення Trig далекоміра, який випромінює в УЗ сигнал частотою 40 кГц і фіксується приймачем. Протягом часу від початку випромінювання до прийому на виході Echo далекоміра є сигнал лог. 1. Тривалість цього сигналу в мікросекундах вимірюється апаратним таймером мікроконтролера, який запускається і зупиняється відповідно по фронту та зрізу сигналу на виході Echo далекоміра. За часом проходження ультразвуку між випромінювачем та приймачем розраховується пройдена звуковою хвилею відстань. Дане значення виводиться на дисплей, а також перетворюється на формат ASCII і записується в масив для подальшого відправлення на персональний комп'ютер (ПК). Після цього виконується запуск вимірювання другого УЗ далекоміра, потім третього. Після того, як третій УЗ далекомір закінчить вимірювання, всі отримані дані про результати вимірювань за поточний цикл відправляються в ПК, і потім цикл повторюється. Для прийому даних на ПК використовувалася авторська програма написана мовою C Sharp.

З метою практичного застосування методів математичної статистики для вивчення та підтримки режимів функціонування пневмосепаратора управління його роботою здійснювалося за потоком даних, що отримуються від УЗ далекомірів, що стежать за зміною режимних параметрів. Для цього використовувався мікроконтролер, що працює у зв'язці з персональним комп'ютером. Пристрій оснащений вимірювальними УЗ далекомірами, які дозволяють перетворювати вимірюваний параметр в електричні сигнали в аналоговому, імпульсному або цифровому вигляді. Ці електричні сигнали приймалися мікроконтролером і перетворювалися на числове значення параметра, що вимірюється. Частота, з якою відбувається опитування УЗ далекомірів мікроконтролером, визначалася необхідним числом вибірок в одиницю часу і швидкістю роботи вимірювальних УЗ далекомірів. Для зручності прийняття та обробки даних на стороні ПК мікроконтролер здійснює переведення отриманих числових значень в американські стандартні коди

обміну інформацією (ASCII) і записує їх у масив. Після завершення циклу вимірювань, коли опитані всі УЗ далекоміри пристрою оперативного контролю та підтримки в заданому стані зернового шару, що рухається, отриманий масив відправляється на ПК через універсальний асинхронний передавач (UART). При цьому часовий інтервал між циклами вимірювань не повинен бути меншим за час, який потрібно для відправлення на ПК отриманого масиву, для того щоб не відбувалося затирання отриманих раніше, але ще не відправлених даних новими даними.

Дані, що надсилаються на ПК, приймаються програмою, що дозволяє вести обмін даними через фізичний або віртуальний послідовний порт комп'ютера (COM-порт) із зовнішніми пристроями. Ця програма написана мовою програмування C Sharp у вільно розповсюджуваному середовищі розробки Sharp Developer і складається з графічного інтерфейсу користувача (рис. 2.10.) та логічної частини.

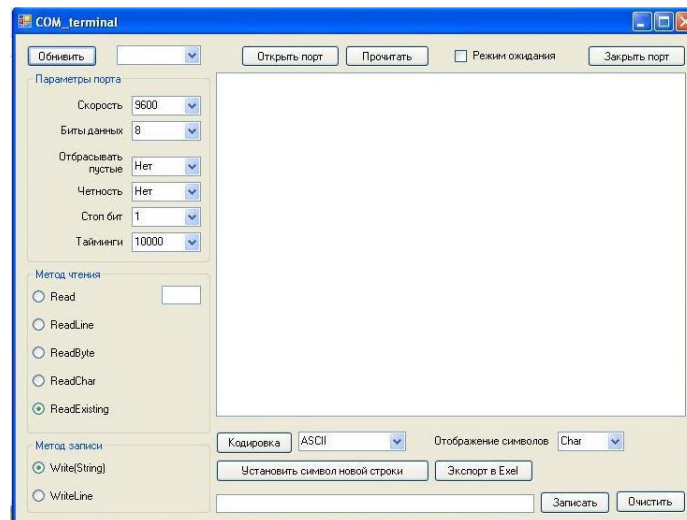


Рис. 2.10. Інтерфейс програми для ПК

Для отримання даних користувач вибирає порт, до якого підключено мікроконтролерний пристрій, а потім, натиснувши кнопку «Відкрити порт», програма передає вибраному COM-порту встановлені настройки та отримує доступ до його ресурсів. Після цього користувач може самостійно віддавати команди за допомогою графічного інтерфейсу користувача (ГІК) про запис або читання даних з регістрів COM-порту або встановити прапорець необхідність

безперервного читання даних. Для читання даних програма в дочірньому потоці викликає відповідну функцію, при цьому для забезпечення потокової безпеки встановлено обмеження часу очікування прийняття даних. Після закінчення часу або закінчення прийому даних програма закриває дочірній потік і додає прийняті дані новим рядком елемент ГІК ListBox. За командою користувача всі рядки з елемента ListBox записуються у створений новий файл Excel Excell у вигляді рядків.

Структурна схема системи отримання даних про поточні параметри технологічного процесу представлена рис. 2.11.

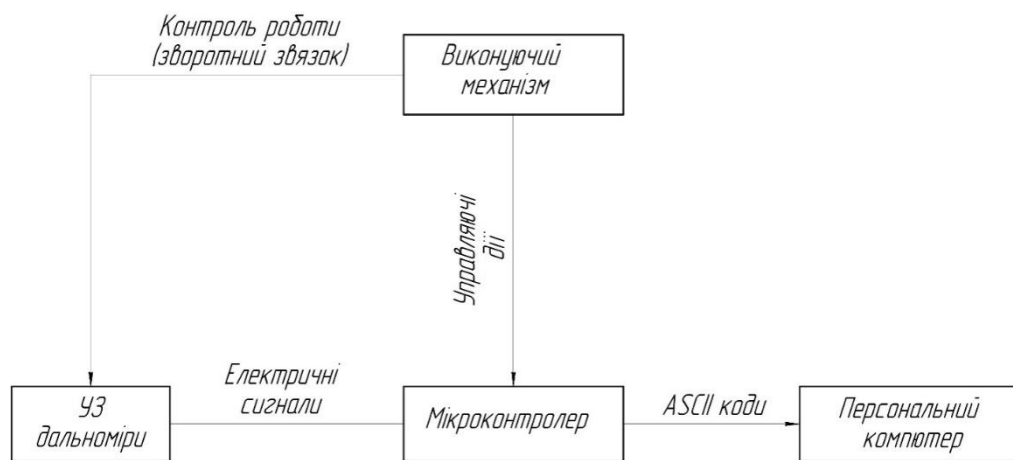


Рис. 2.11. Структурна схема системи отримання даних про поточні параметри технологічного процесу

Розроблений пристрій дозволяє здійснювати реєстрацію та збереження параметрів процесів, у тому числі і швидкоплинних (мікросекунди), для подальшого аналізу та обробки.

2.2 Методика проведення лабораторних та виробничих випробувань пневмосепаратора зернового вороху, оснащеного пристроєм оперативного контролю та підтримки у заданому стані рухомого шару зернового вороху.

При моделюванні процесу обробки матеріалу в розробленому ПСК (рис. 2.12) в якості основних факторів, що варіюються, були прийняті:

- різниця середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль, отриманих від УЗ далекомірів, розташованих на початку і наприкінці ПСК - $L_{1cp} - L_{3cp}$, мм;

- різниця середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль, отриманих від УЗ далекомірів, розташованих в середині і кінці ПСК - $L_{2cp} - L_{3cp}$, мм;

Вихідними величинами були:

- подача зернового вороху в ПСК, Q_m , кг / год;

- витрата повітря в ПСК, Q_v , м³ / с;

- продуктивність пневмосепаратора, G , кг/год;

- кількість домішок у матеріалі на виході із ПСК, E_i , %;

- повнота виділення домішок, E_{Π} , %;

- кількість основного матеріалу в осадовій камері, E_h , %.

Контрольовані фактори: початкова засміченість матеріалу, $E_{нач}$, атмосферний тиск повітря $P_{атм}$, температура зовнішнього повітря t° , початкова вологість оброблюваного матеріалу $W_{поч}$.

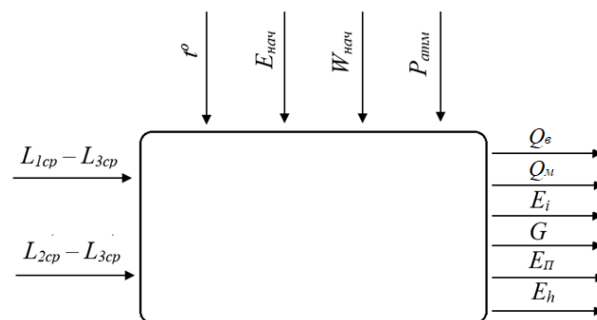


Рис.2.12. Моделювання процесу обробки матеріалу в ПСК

Досліди проводилися в такий спосіб. Після виведення ПСК на режим протягом 2 хвилин здійснювалася його фіксація як робітника за допомогою кнопки панелі блоку управління. Запис показань довжин шляхів УЗ хвиль від усіх УЗ далекомірів та показань частотних перетворювачів здійснювалася на ПК через програму з переведенням у формат EXCEL.

Зразки матеріалу масою приблизно по 0,5 кг бралися на вході і виході з ПСК і осадової камери з інтервалом в 45 секунд 4 рази за дослід. Зразки

поміщалися в полотняні мішечки, після чого проводився аналіз засміченості матеріалу. Одночасно фіксувалися показання мікроманометра ММН-240 та здійснювався замір продуктивності ПСК.

При запуску системи контролю та забезпечення заданої порізності шару зернового вороху системою визначаються різниці середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль, отриманих від УЗ далекомірів, розташованих на початку і наприкінці ПСК ($L_{1cp}-L_{3cp}$), середині і кінці ПСК, ($L_{2cp}-L_{3cp}$) за певний проміжок часу. Дані значення фіксувалися програмою як задані Δ_{LP} та Δ_{LB} . Системою проводиться постійний розрахунок $L_{1cp}-L_{3cp}$ і $L_{2cp}-L_{3cp}$. Виходячи з того, що матеріал, що надходить на очищення, мав неоднорідну структуру, в ньому містяться домішки органічного та неорганічного походження різної вологості та щільності, форми та розмірів – $L_{1cp} - L_{3cp}$ і $L_{2cp} - L_{3cp}$ знаходяться у великих межах і відхиляються від заданих значень. При виявленні відхилень $L_{1cp} - L_{3cp}$ і $L_{2cp} - L_{3cp}$ від заданих Δ_{LP} і Δ_{LB} , системою проводилося регулювання подачі матеріалу та/або повітря в ПСК до того моменту, поки $L_{1cp} - L_{3cp}$ і $L_{2cp} - L_{3cp}$ не будуть входити в заданий діапазон (2.1), (2.2):

для керування частотою обертання валика живлення:

$$(L_{1cp}-L_{3cp}) \cdot X_1 \leq \Delta_{LP} \leq (L_{1cp}-L_{3cp}) \cdot X_2, \quad (2.1)$$

де X_1 , X_2 - величини, що визначають відповідно нижні та верхні межі інтервалу варіювання для $L_{1cp}-L_{3cp}$ і $L_{2cp}-L_{3cp}$, перебуваючи в якому вплив на робочі органи ПСК не проводився;

для керування частотою обертання вентилятора:

$$(L_{2cp}-L_{3cp}) \cdot X_1 \leq \Delta_{LB} \leq (L_{2cp}-L_{3cp}) \cdot X_2. \quad (2.2)$$

За дотримання умов (2.1), (2.2) режим роботи приймався системою управління як робочий.

Діапазони для $L_{1cp}-L_{3cp}$ і $L_{2cp}-L_{3cp}$, при яких вплив на робочі органи ПСК не проводиться, розраховувалися за залежностями (2.1), (2.2) відповідно до наступної схеми:

Дослід № 1: $X_1=0,97$; $X_2=1,03$; Дослід № 2: $X_1=0,95$; $X_2=1,05$; Дослід № 3: $X_1=0,93$; $X_2=1,07$; Дослід № 4: $X_1=0,90$; $X_2=1,10$.

Далі значення X_1 , X_2 заносилися до програми блоку керування 5 (рис. 2.13). Кодування блоку управління здійснювалося за допомогою персонального комп'ютера, на якому встановлено програму Embedded Workbench 6.0 (IAR Systems, Швеція) та програматора 6, підключеного до блоку управління.

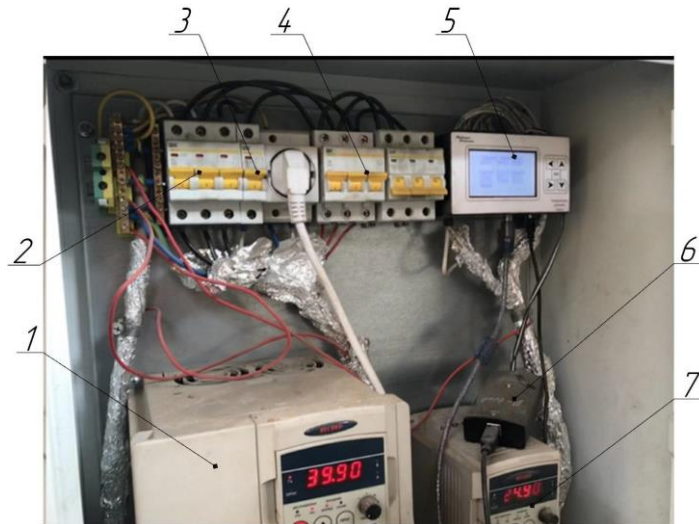


Рис. 2.13. Покази частотних перетворювачів та блоку управління пристроєм у процесі роботи ПСК 1 – частотний перетворювач E2-8300 потужністю 11 кВт; 2 – автоматичний вимикач частотного перетворювача E2-8300 потужністю 11 кВт; 3 – автоматичний вимикач блоку керування пристроєм; 4 – автоматичний вимикач частотного перетворювача E2-8300 потужністю 1,5 кВт; 5 – блок управління пристроєм; 6 – програматор для кодування блоку керування; 7 – частотний перетворювач E2-8300 потужністю 1,5 кВт.

При проведенні лабораторних досліджень було виявлено, що магнітне поле силових проводів, за якими здійснюється введення електричного струму в шафу управління ПСК, живлення частотних перетворювачів і виведення на електродвигуни приводу робочого колеса вентилятора і валика живлення, створювало перешкоди в роботі УЗ далекомірів. Давалося ознаки це в некоректних даних, що відображаються на дисплеї блоку управління пристроєм. При вимкнених автоматичних вимикачах 2 і 4 показання УЗ далекомірів були стабільні. Під час увімкнення відповідних автоматичних вимикачів –

спостерігаються хаотичні показання на дисплеї блоку керування. В результаті обмотки силових проводів фольгою показання на дисплеї при включених автоматичних вимикачах 2 і 4 стабілізувалися.

Методика проведення виробничих випробувань пневмосепаратора зернового вороху, оснащеного пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку, на основі ультразвуку.

Виробничі випробування проводилися під час післязбиральної обробки ярої пшениці та сої (рис. 2.14, 2.15). Завдання випробувань полягало у перевірці отриманих даних під час лабораторних випробувань дослідного зразка та визначенні техніко-економічних показників пневмосепаратора.

Зерновий ворох, що надійшов на обробку, від комбайнів завантажували в тканинну аерозелобну сушарку щільного шару 2 (рис. 2.15). Після сушіння ворох скребковим транспортером 3 завантажували в бункер ПСК, оснащеним пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку 4. Дослідження роботи ПСК проводилися відповідно до відомої методики. Перед кожним випробуванням здійснювався виведення мобільного комплексу на потоковий режим і після цього запускався процес збору даних для подальшої обробки. Відбір проб для оцінки чистоти оброблюваного матеріалу під час кожного дослідження проводився з бункера ПСК, на виході з ПСК, а також осадової камери, виконаної з тканинного матеріалу. Для оцінки продуктивності ПСК методом відсічень здійснювався відбір проб зерна протягом 10 секунд та заміряли масу проби. Проби бралися з інтервалом 45 с. Тривалість кожного дослідження становила 180 с.

Після обробки ПСК очищене зерно направлялося в бункер-накопичувач 5 за допомогою ковшової норії (рис. 2.15). Потім норією 7 зерно направлялося у фракційний пневмосепаратор СП-2Ф 8 після обробки в якому фасувалося в мішки і відвозилося на зберігання в ангар підприємства.



Рис. 2.14. Досвідчений зразок ПСК, оснащений пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку.



Рис. 2.15. Мобільний комплекс післязбиральної обробки насіння на виробничих випробуваннях: 1 – вентилятор; 2 – тканинна аерозелобна сушарка щільного шару; 3 – скребковий транспортер; 4 – ПСК, оснащений пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку; 5 – бункер-накопичувач; 6 – шнековий транспортер; 7 – норія; 8 – фракційний пневмосепаратор СП-2Ф.

Висновки по розділу

В другому розділі магістерської роботи представлено опис конструкції та принципу роботи блоку управління пристроєм миттєвого контролю рухомого шару зернового вороху за допомогою ультразвуку у та методика проведення досліджень

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати визначення мінімальної кількості значень довжин шляхів ультразвукових хвиль для розрахунку середнього арифметичного значення та їх обробки у програмі пристрою

Отримані експериментальні дані представлені на рис. 3.1.

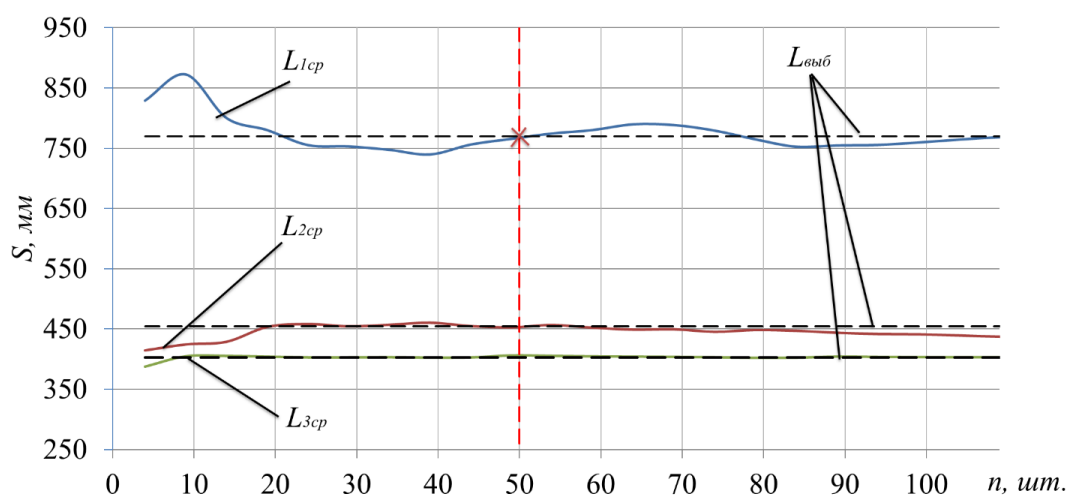


Рис. 3.1. Зміна величини середнього арифметичного значення довжин шляхів УЗ хвиль залежно від кількості значень, за якими здійснювався розрахунок: L_{1cp} , L_{2cp} , L_{3cp} - середні арифметичні значення довжин шляхів УЗ хвиль за результатами розрахунку даних, отриманих від УЗ далекомірів, розташованих на початку, середині, кінці ПСК відповідно; $L_{виб}$ - середні арифметичні значення довжин шляхів УЗ хвиль, розраховані за вибірками.

Характер розташування ліній рис. 3.1. свідчить, що на початку ПСК порізність шару зернового вороху найменша, середнє арифметичне довжини хвилі за вибіркою близько 770 мм. Порізність шару зернового вороху значно зростає в середині каналу, де середнє арифметичне довжини хвилі за вибіркою близько 450 мм. Наприкінці очищення середнє значення шляху УЗ хвилі становить близько 400 мм.

Проведений дисперсійний аналіз величин середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль, отриманих від УЗ далекомірів, розташованих на початку, середині і кінці ПСК, показав, що дисперсія по вибірці середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль, отриманих від УЗ далекоміра, розташованого на початку ПСК (L_{1cp}): 37453,7 мм²; середині ПСК (L_{2cp}): 6663,4 мм²; кінці ПСК (L_{3cp}): 2203,2 мм².

Аналізуючи отримані криві, можна дійти невтішного висновку у тому, що з отримання достовірних даних програмою розробленого пристрою розрахунок середнього арифметичного необхідно проводити щонайменше ніж у 50 значенням.

3.2. Результати лабораторних досліджень визначення зміни довжини шляху ультразвукової хвилі в залежності від порізності шару зернового вороху, що споживається пневмосепаратором.

Згідно з відомою методикою, було проведено лабораторний експеримент, в результаті якого отримано дані, за якими побудовано графік залежності довжини шляху УЗ хвилі від часу роботи ПСК (рис. 3.2).

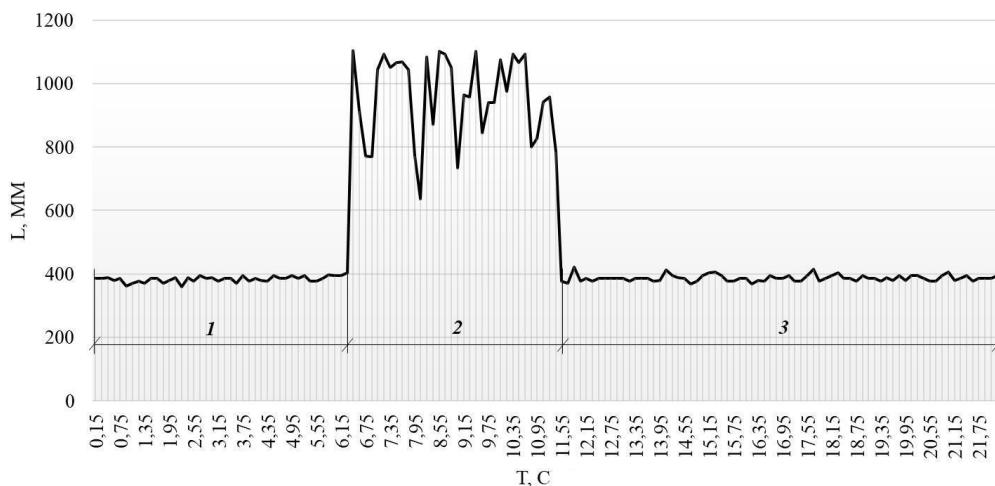


Рис.3.2. Зміна довжини шляху УЗ хвилі в середині каналу: 1, 3 - періоди роботи ПСК при подачі повітря вентилятором у шар зернового вороху; 2 - період роботи ПСК з перекритим всмоктуючим отвором вентилятора.

Виходячи з рисунка видно, що за відсутності повітряного потоку ПСК, шар зернового вороху стає щільним, довжина шляху, пройдена УЗ хвилею, збільшується з 400 мм до 1100 мм.

На рис. 3.3. представлений вид ПСК при робочому режимі з оглядового вікна.

При визначенні динаміки зміни порізності шару зернового вороху в області просвічування УЗ далекомірів при зміні частоти напруги, підведеної до електродвигуна вентилятора в діапазоні від 0 Гц до 20 Гц і частоті напруги, підведеного до електродвигуна валика живлення дорівнює 10 Гц були отримані дані, представлені в таблиці 3.1 та на рис. 3.4.

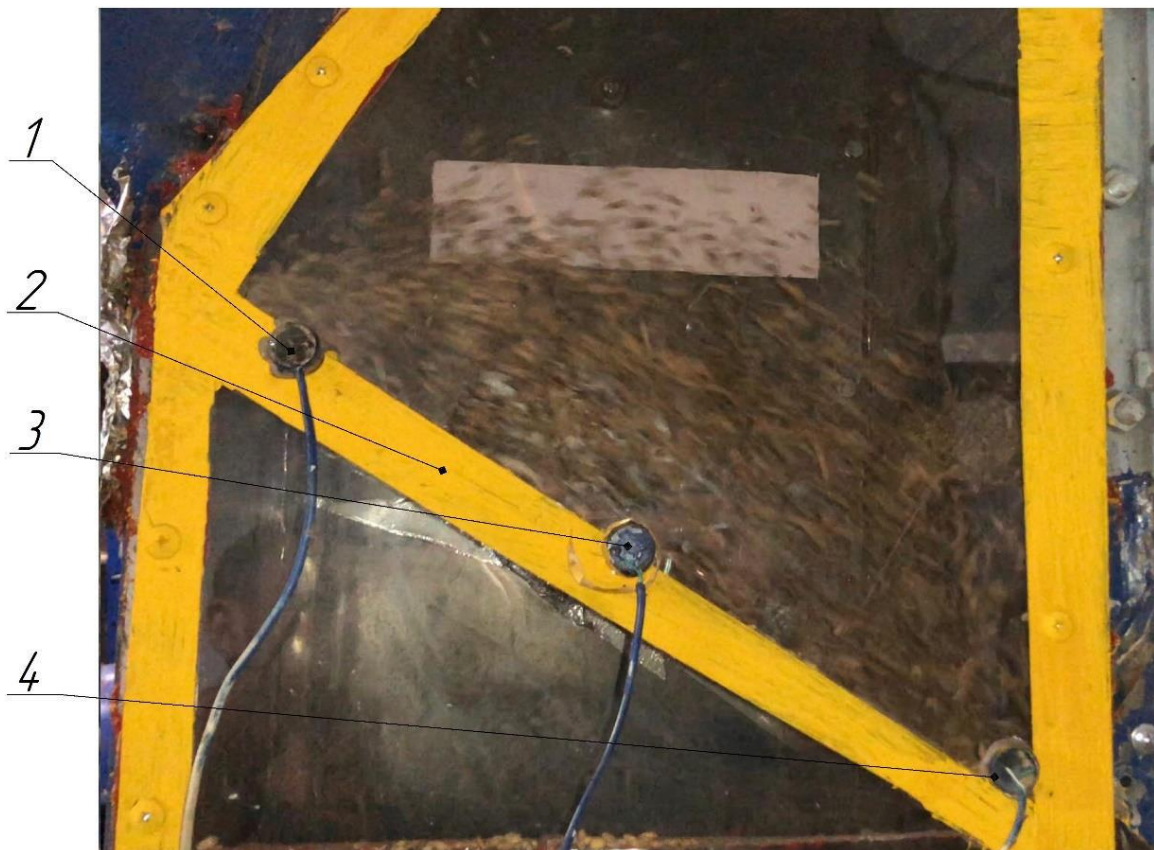


Рис. 3.3. Стоп-кадр відео роботи ПСК: 1 – УЗ приймач, розташований на початку ПСК; 2 – опорна сітка; 3, 4 - УЗ приймачі, розташовані в середині і наприкінці ПСК.

Таблиця 3.1 – Результати досліджень щодо визначення порізності та довжини шляху УЗ хвилі при частоті напруги, підведеного до електродвигуна вентилятора в діапазоні 0...20 Гц, та частоті напруги, підведеного до електродвигуна валика живлення 10 Гц.

Частота напруги, підведеного до електродвигуна вентилятора, Гц	Середнє арифметичне значення довжини шляху УЗ хвилі, мм			Порізність зернового шару, %		
	на початку ПСК	в середині ПСК	в кінці ПСК	на початку ПСК	в середині ПСК	в кінці ПСК
1	823	940	407	49	44	74
3	872	900	408	47	46	74
5	862	949	407	47	44	74
7	871	934	410	47	44	74
9	886	937	412	46	44	73
11	846	936	416	48	44	73
13	935	945	412	44	44	73
15	889	955	403	46	44	74
17	902	502	389	46	66	75
20	723	426	385	53	74	76

Далі наведемо можливі варіанти використання розробленого способу оцінки стану шару зернового вороху для аналізу якості роботи пневмосепаруючого каналу.

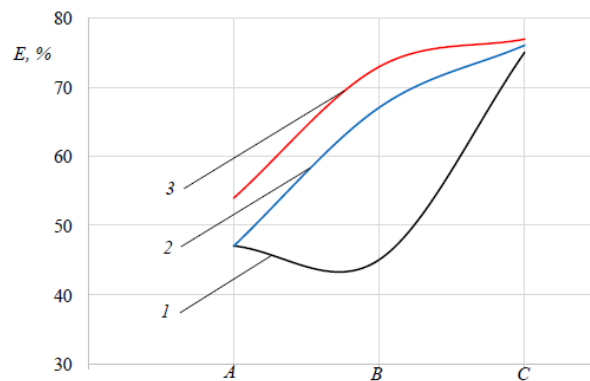


Рис. 3.4. Зміна порізності шару зернового вороху за різних режимів роботи ПСК: А, В, С - область просвічування УЗ далекомірами шару зернового вороху, відповідно на початку, середині, кінці ПСК; 1, 2, 3 - порізність шару зернового вороху при частоті напруги, підведеного до електродвигуна вентилятора відповідно 15, 17, 20 Гц.

Перший режим - не робочий, так як більше половини шляху - в області просвічування УЗ далекомірами А і В шар не псевдозріджений.

У другому та третьому режимі роботи ПСК порізність шару зернового вороху зростає значно, відповідно з 47% до 67% і з 54% до 73% при русі зернового вороху з області просвічування А в область В. У цих режимах в області просвічування В і С псевдозрідження рівномірно за обсягом шару відхилення становить від 4 до 9%.

За допомогою нового способу було проведено багатофакторний регресійний аналіз щодо визначення впливу подачі матеріалу і витрати повітря в ПСК на зміну порізності шару зернового вороху в області просвічування УЗ далекомірів А,В,С. Були отримані математичні моделі:

для області А:

$$E_A = -948 + 30,0 \cdot n_1 + 77,73 \cdot n_2 + 0,35 \cdot n_1^2 - 1,41 \cdot n_2^2 - 1,52 \cdot n_1 \cdot n_2 \quad (3.1)$$

$$R^2 = 82,3\%;$$

для області В:

$$E_B = 9,69 + 2,37 \cdot n_1 + 5,23 \cdot n_2 - 0,11 \cdot n_1^2 - 0,11 \cdot n_2^2 - 0,04 \cdot n_1 \cdot n_2 \quad (3.2)$$

$$R^2 = 79,6\%;$$

для області С:

$$E_C = -371,28 + 20,4 \cdot n_1 + 35,67 \cdot n_2 + 0,13 \cdot n_1^2 - 0,69 \cdot n_2^2 - 0,88 \cdot n_1 \cdot n_2 \quad (3.3)$$

$$R^2 = 95,9\%;$$

З детального дисперсійного аналізу рівняння регресії (3.3) випливає, що модель інформаційно здатна, так як коефіцієнт детермінації параметра E_C досить великий (R – квадрат дорівнює 95,86%). Отримана модель пояснює 95,86% зміни E_C . Модель значуща, оскільки критерій Фішера $F = 13,9$ – більше табличного значення – 4,256, рівня значимості 0,05. Рівень значимості моделі $p = 0,0275$, це, що є статистично значуще ставлення між змінними лише на рівні 97%. Помітної кореляції між досвідченими значеннями, розміщеними в матриці немає, оскільки статистика Durbin-Watson (DW) більша, ніж 1,4.

Результати визначення зміни порізності шару зернового вороху залежно від режиму роботи ПСК представлені та на рис. 3.5 – 3.7.

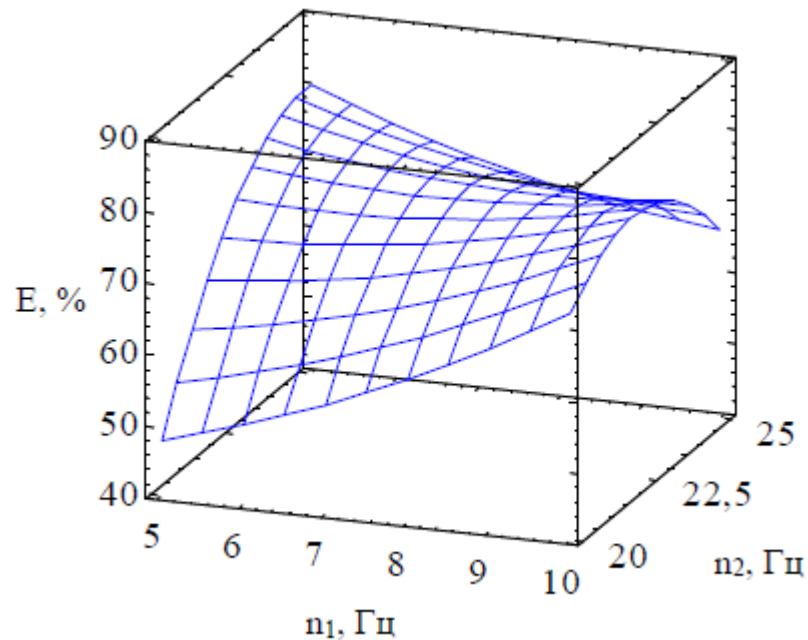


Рис. 3.5. Залежність зміни порізності шару зернового вороху в області просвічування УЗ далекоміра, розташованого на початку ПСК від режиму роботи.

З рисунка випливає, що зі збільшенням частоти напруги, підведеного до електродвигуна вентилятора до 25 Гц, порізність шару збільшується - з 49% до 78% при мінімальній подачі зернового вороху ПСК.

Порізність шару зернового вороху збільшується зі збільшенням частоти напруги, підведеного до електродвигуна валика. Це пояснюється тим, що валик живлення «викидає» зернову масу в ПСК під кутом до горизонту, розпушуючи шар. При частоті напруги, підведеного до електродвигуна валика живить 7,5 ... 10 Гц, і частоті напруги, підведеного до електродвигуна вентилятора до 22,5 Гц, спостерігається зростання порізності шару зернового вороху. При збільшенні частоти напруги, підведеного до електродвигуна вентилятора до 25 Гц, порізність шару помітно зменшується. На мою думку, це відбувається через явище ежекції в отворі між котушкою і денцем валика живлення, що призводить до збільшення подачі зернового вороху в ПСК.

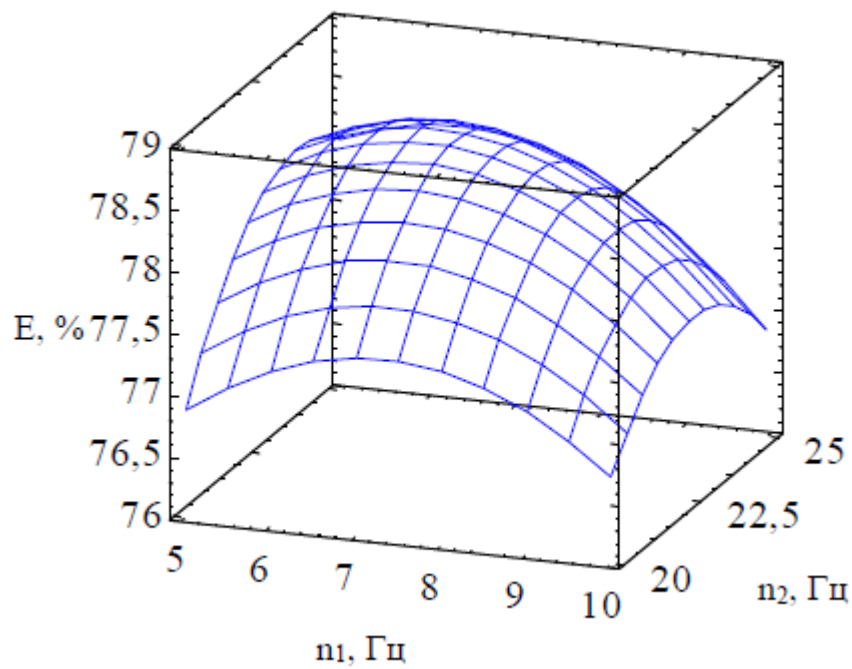


Рис. 3.6. Залежність зміни порізності шару зернового вороху в області просвічування УЗ далекоміра, розташованого в середині ПСК від режиму роботи.

Порізність шару зернового вороху у ПСК стабільна, при варіюванні n_1 і n_2 змінюється незначно – від 77% до 79%.

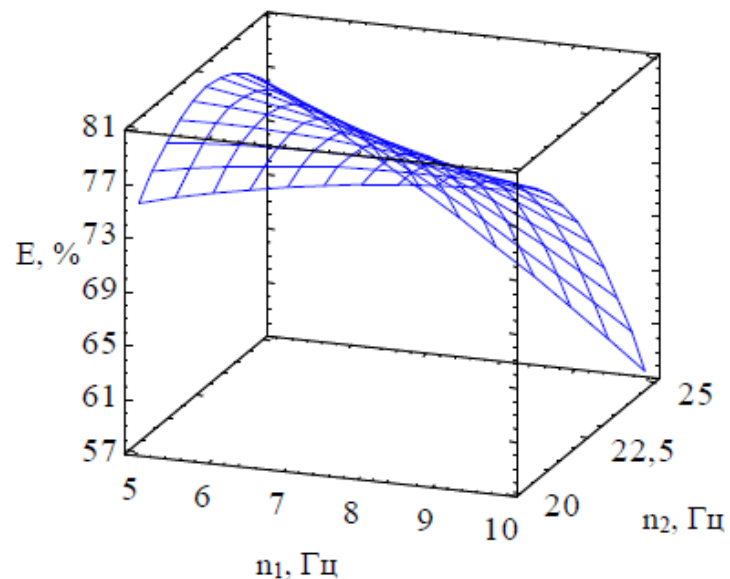


Рис. 3.7. Залежність зміни порізності шару зернового вороху в області просвічування УЗ далекоміра, розташованого в кінці ПСК від режиму роботи.

На рис. 3.7 можна побачити значне зменшення порізності шару з 79% до 56% в області просвічування УЗ далекоміра С при збільшенні подачі повітря та зернового вороху. Спостереження за режимом роботи ПСК через оглядове вікно дозволили визначити, що причиною збільшення щільності потоку зернового вороху є те, що частина зернового вороху, рухаючись по параболі, ударяється об праву стінку ПСК вище вихідного отвору, потім під дією сили тяжіння зсипається вниз, ущільнюючи шар зернового вороху.

Результати визначення споживаної потужності пневмосепаратором зернового вороху.

Для визначення споживаної пневмосепаратором потужності у процесі проведення дослідів було здійснено підключення аналізатора параметрів електромереж, якості та кількості електроенергії – С.А 8335 QUALISTAR PLUS до кабелю живлення пневмосепаратора. Результати вимірювання споживаної пневмосепаратором потужності виводили на екран аналізатора (рис. 3.8) і записувалися на ПК. Потужність блоку управління пристроєм замірялася аналізатором потужності Yicheng.

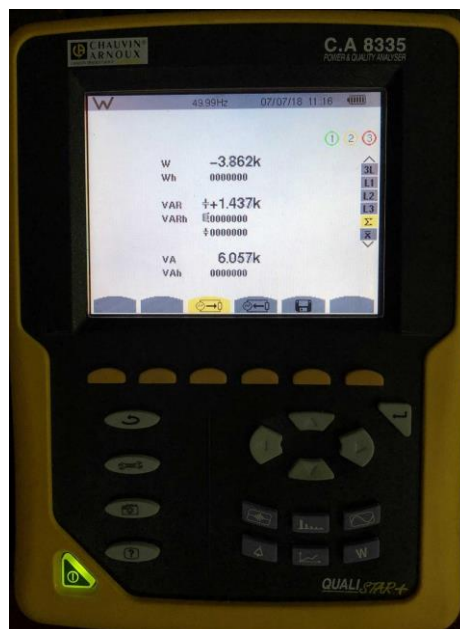


Рис. 3.8. Покази аналізатора параметрів електромереж, якості та кількості електроенергії – С.А 8335 QUALISTAR PLUS у процесі проведення дослідів.

Таблиця 3.2 – Результати визначення споживаної потужності пневмосепаратором залежно від режиму роботи

№ досліду	Частота напруги, підведеного до електродвигуна валика живлення, n_1 , Гц	Частота напруги, підведеного до електродвигуна вентилятора, n_2 , Гц	Середнє арифметичне значення активної потужності, що споживається, W , кВт
I	10	25	1,44
II	7,5	25	1,43
III	5	25	1,39
IV	10	22,5	1,19
V	7,5	22,5	1,18
VI	5	22,5	1,13
VII	10	20	0,97
VIII	7,5	20	0,97
IX	5	20	0,92

Електрична активна потужність, що споживається пневмосепаратором, залежно від режиму сепарації змінюється від 0,93 кВт до 1,45 кВт. Блок управління пристроєм споживає 2,5 Вт, незалежно від режиму роботи ПСК, що становить 0,27 ... 0,17% від загальної споживаної активної потужності.

3.3 Результати лабораторного дослідження щодо виявлення впливу періодичності опитування ультразвукових далекомірів на якість оцінки порізності шару зернового вороху.

Згідно з відомою методикою, в ході експериментального дослідження були отримані значення, а також проведено кореляційний аналіз впливу подачі матеріалу на різницю середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль, що пронизують поперек шар зернового вороху ($L_{1cp} - L_{3cp}$ за модулем), і вплив витрати повітря на різницю середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль, що пронизують поперек, що рухається зерновий шар ($L_{2cp} - L_{3cp}$ (за модулем) за різної періодичності опитування УЗ далекомірів (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 - Вплив періодичності опитування УЗ далекомірів на якість оцінки порізності шару зернового вороху

Найменування показника	Розмір коефіцієнта кореляції при періодичності опитування, T_0 , мс.					
	150	450	750	1050	1200	1500
Вплив подачі матеріалу на різницю середніх арифметичних значень довжин шляхів ультразвукових хвиль, що пронизують поперечний шар зернового вороху, що рухається $L_{1cp}-L_{3cp}$ (за модулем)	0,87	0,83	0,82	0,82	0,87	0,92
Вплив витрати повітря на різницю середніх арифметичних значень довжин шляхів ультразвукових хвиль, що пронизують поперечний шар зернового вороху, що рухається $L_{2cp}-L_{3cp}$ (за модулем)	0,81	0,82	0,80	0,78	0,78	0,94

Оцінка надійності коефіцієнтів кореляції за критерієм суттєвості показала, що кореляційний зв'язок завжди на 5% рівні значимості, так як $t_{факт} > t_{теор}$ (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Стандартна помилка та критерій суттєвості коефіцієнта кореляції впливу періодичності опитування УЗ далекомірів на якість оцінки порізності шару зернового вороху

Найменування показника	Розмір коефіцієнта кореляції при періодичності опитування, T_0 , мс.					
	150	450	750	1050	1200	1500
Стандартна помилка коефіцієнта кореляції S_r при оцінці впливу подачі матеріалу на різницю середніх арифметичних значень довжин шляхів ультразвукових хвиль, що пронизують поперечний шар зернового вороху, що рухається $L_{1cp}-L_{3cp}$ (за модулем)	0,18	0,21	0,22	0,22	0,18	0,14
Стандартна помилка коефіцієнта кореляції S_r при оцінці впливу витрати повітря на різницю середніх арифметичних значень довжин шляхів ультразвукових хвиль, що пронизують поперечний шар зернового вороху, що рухається $L_{2cp}-L_{3cp}$ (за модулем)	0,22	0,22	0,23	0,24	0,24	0,12

Критерій суттєвості коефіцієнта кореляції t_r при оцінці впливу подачі матеріалу на різницю середніх арифметичних значень довжин шляхів ультразвукових хвиль, що пронизують поперечний шар зернового вороху $L_{1cp} - L_{3cp}$ (за модулем)	4,61	3,76	3,60	3,68	4,59	6,34
Критерій суттєвості коефіцієнта кореляції t_r , при оцінці впливу витрати повітря на різницю середніх арифметичних значень довжин шляхів ультразвукових хвиль, що пронизують поперечний шар зернового вороху, що рухається $L_{2cp} - L_{3cp}$ (за модулем)	3,48	3,64	3,31	3,19	3,17	7,22

Висновки по розділу

При періодичності опитування УЗ далекомірів рівної 1500 мс, коефіцієнти кореляції впливу подачі матеріалу і повітря на $L_{1cp} - L_{3cp}$ і $L_{2cp} - L_{3cp}$ максимальні, якість оцінки порізності шару зернового вороху висока. Так як коефіцієнти кореляції мають високі значення - більше 0,79 для всіх періодів опитування, для

швидкості реагування системи на порізність шару зернового вороху, що змінюється, слід прийняти $T_O = 150$ мс.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблено спосіб який дозволяє контролювати та забезпечувати задане розрідження шару зернового вороху в ПСК за характером зміни порізності шару зернового вороху під час процесу очищення. Дослідження показали, що подачу зернового вороху можливо встановлювати і контролювати по різниці середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль, що пронизують поперечний шар зернового вороху, що рухається, отриманих від УЗ далекомірів, встановлених на початку і кінці ПСК.

Спроековано алгоритм функціонування та конструкцію пристосування миттєвого контролю та підтримки у визначеному стані шару зернового вороху за допомогою ультразвуку.. Пристрій містить мікроконтролерний блок управління з клавіатурою управління, роз'єми підключення блока живлення, USB інтерфейс, роз'єм підключення частотних перетворювачів, графічний LCD дисплей, УЗ дальноміри та частотні перетворювачі. Отримано вирази, що дозволяють запрограмувати мікроконтролер і контролювати процес псевдозрідження зерна при його очищенні у вертикальному ПСК з опорною сіткою.

Визначено раціональні параметри роботи розробленого пристрою контролю та забезпечення заданої порізності шару зернового вороху у пневмосепараторі зернового вороху. Періодичність опитування УЗ далекомірів - 150 мс; вибірка до розрахунку різниці середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль 50 значень. Межі інтервалу варіювання різниці середніх арифметичних значень довжин шляхів УЗ хвиль $\pm 5\%$ від заданих. При даних параметрах продуктивність пневмосепаратора – 2002,5 кг/год, засміченість зерна на виході з ПСК – 0,29%, кількість основного матеріалу в осадовій камері – 0,32%, повнота виділення бур'янів – 91,05%, що відповідає вимогам до якості роботи машин вторинного очищення зерна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кириченко В. В. (2016). Основи управління продукційним процесом польових культур. Харків. 711 с.
2. ДСТУ 4138-2002. (2002). Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Київ: Держстандарт України. 173 с.
3. Заїка, П. М. (2006). Теорія сільськогосподарських машин. Очистка і сортування насіння. Харків: Око. 407 с.
4. Адамчук, В. В., Прилуцький, А. Н., Заришняк, А. С., Степаненко, С. П. (2014). Концепція комплексного вирішення проблеми післязбиральної обробки і зберігання зерна в сільськогосподарських підприємствах України. В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ». Вип. 99. С. 40-56.
5. Тіщенко, Л. М., Корнієнко, С. І., Харченко, С. О. та ін. (2015). Технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур: монографія; за ред. Л.М. Тіщенка. Харків: ХНТУСГ. 273 с.
6. Ольшанський, В. П., Бредихін, В. В., Лук'яненко, В. М., Півень, М. В., Сліпченко, М. В., Харченко, С. О. (2017). Теорія сепарування зерна: монографія. Харків: ПланетаПрінт. 803 с.
7. Котов, Б. І., Пастушенко, М. Г., Степаненко, С. П. (2012). Дослідження ефективності вібровідцентрової сепарації зерна на ступінчасто-конічному решеті методом планування експериментів. Конструювання, експлуатація та виробництво сільськогосподарських машин. Випуск 42. Частина 2. С. 70-75.
8. Котов, Б. І., Степаненко, С. П., Пастушенко, М. Г. (2004). Дослідження шляхів підвищення ефективності віброрешітних сепараторів зерна і насіння. Вибрации в технике и технологиях. № 3 (35). С. 61-63.
9. Дерев'янку, Д. (2015). Дослідження ударної взаємодії травмування насіння поверхнею циліндричного решета вібросепаратора після його сходження

з диска розподільника. Техніка і технології АПК. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, № 6 (69). С. 9-12.

10. Шаззо, А. Ю., Усатіков, С. В. (2012). Ефективність розпізнавання прихованої зараженості зернівок із зображень в інфрачервоному спектрі. Вісник ОНУ. Харчова технологія. № 4. С. 105-108.

11. Сухін, В. С., Чорнобай, І. В., Калічава, Г.Т. (2018). Патент на корисну модель UA 122770 U, МПК B07B 4/02 (2006.01), A01F 12/44 (2006.01). Універсальний аеродинамічний сепаратор серії "Сад" з додатковим очищенням зернового матеріалу. Заявник Сухін В. С., Чорнобай І. В., Калічава Г.Т. № u 2017 07797. Заявл. 24.07.2017. Опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.

12. Михайлов, А. Д. (2012). Машини, агрегати та комплекси для післязбиральної обробки зерна і насіння. Харків, ХНТУСГ ім. П. Василенка. 78 с.

13. Ловейкін, В. С., Кулик, В. П. (2012). Патент на винахід UA 97155 C2, МПК A01F 12/44 (2006.01), B07B 1/28 (2006.01). Зерноочисна машина. Заявник Національний університет біоресурсів і природокористування України № a200913871. Заявл. 29.12.2009. Опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1.

14. Білокопитов, О. О. (2012). Аналіз результатів визначення критичної швидкості та коефіцієнту парусності складових зернового вороху. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь. Вип. 2. Т. 5. С. 198-207.

15. Харченко, С. О. (2018). Концепція інтенсифікації процесів віброрешітного просіювання зернових сумішей. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Харків, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. 516 с.

16. Савченко В. М., **Корчевний І.В.** Результати статистичного аналізу числових рядів, одержаних від ультразвукових далекомірів при оцінці стану

шару зернового вороху в процесі сепарації. Наукові читання–2022: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 7 червня 2022 р. Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 32-36.

17. Савченко В. М., **Корчевний І.В.** Аналіз систем управління подачею матеріалу та повітря, що використовуються в пневмосепаруючих каналах. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022. С. 324-329.

18. **Корчевний І.В.** Аналіз існуючих способів контролю та забезпечення заданої порізності шару сипучого матеріалу. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 260-261.