

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

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра механіки та інженерії агроєкосистем

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**КОНСЕВИЧ СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ**

**УДК 631.362**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ  
РОБОТИ СУШАРКИ**

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

\_\_\_\_\_ Консевич С.М.

**Керівник роботи**

Кухарець С.М

доктор технічних наук, професор

**Житомир – 2022**

## АНОТАЦІЯ

**Консевич Сергій Миколайович. Удосконалення технологічного процесу роботи сушарки.** – *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 керування порізнестного шару, а також пристрій для здійснення даного способу на основі ультразвукових датчиків ехолокації, керуючого контролера та електроприводу керування заслінками. На основі розробленого пристрою удосконалено конструктивно-технологічну схему аерожолобної сушарки.

Розроблено аерожолобну сушарку із замкнуто-розімкнутою аеродинамічною системою та ультразвуковою системою управління подачею агента сушіння в сушильні камери та теплогенератором прямої дії, інтегрованим у тепловентиляційну систему сушарки. Удосконалена аерозелобна сушарка має досить високі теплотехнічні показники роботи.

Визначено режимні параметри сушіння: на насінневому режимі температура агента сушіння становить  $80^{\circ}\text{C}$ , витрата агента сушіння -  $2,3\text{ м}^3/\text{с}$ ; на продовольчому температура агента сушіння становить  $94^{\circ}\text{C}$ , витрата агента сушіння -  $2,5\text{ м}^3/\text{с}$ ; при сушінні зерна на фураж температуру агента сушіння слід встановити  $109^{\circ}\text{C}$ , витрата агента сушіння –  $2,5\text{ м}^3/\text{с}$ .

Вологість відпрацьованого агента сушіння на всіх режимах необхідно підтримувати на рівні 71,5%.

*Ключові слова:* аерожолобна сушарка, режими сушіння, зерно, температура, продуктивність.

## ANNOTATION

**Konsevich Sergey Mykolayovych. Improving the technological process of the dryer.** – *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 of controlling a different layer was developed, as well as a device for implementing this method based on ultrasonic echolocation sensors, a control controller and an electric actuator for controlling the dampers. On the basis of the developed device, the structural and technological scheme of the air dryer was improved.

An air-trough dryer with a closed-open aerodynamic system and an ultrasonic system for controlling the supply of the drying agent to the drying chambers, and a direct-action heat generator integrated into the heat ventilation system of the dryer, was developed. The improved air dryer has quite high thermal performance indicators.

The drying mode parameters are determined: in the seed mode, the temperature of the drying agent is 80 °C, the consumption of the drying agent is 2.3 m<sup>3</sup>/s; on food, the temperature of the drying agent is 94 °C, the consumption of the drying agent is 2.5 m<sup>3</sup>/s; when drying grain for fodder, the temperature of the drying agent should be set to 109°C, the consumption of the drying agent is 2.5 m<sup>3</sup>/s.

The humidity of the spent drying agent must be maintained at the level of 71.5% in all modes.

*Key words: air chute dryer, drying modes, grain, temperature, productivity.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АЕРОЖОЛОБНОЇ СУШАРКИ.....	19
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ АЕРОЖОЛОБНОЇ СУШАРКИ З УДОСКОНАЛЕНОЮ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЮ СХЕМОЮ.....	38
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	44

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Зернове господарство становить основу рослинництва. Без розвиненого зернового господарства неможливий розвиток тваринництва, так як зерно – це продукт харчування для населення, а й незамінний корм для худоби та птиці. Тому виробництво зерна є основою аграрного виробництва [1], [2].

Хліб та хлібопродукти виступають важливими продуктами харчування для населення країн світу. За калорійністю вони займають близько половини всього харчового балансу у раціоні людини. Люди одержують від зерна половину всіх необхідних вуглеводів, 1/3 білків, вітаміни В та С. У 1 кг пшеничного хліба міститься 2000-2500 ккал [1].

За оцінками ООН, щорічний приріст населення дорівнює приблизно 82 мільйонам чоловік і близько чверті цього приросту припадає на країни Азії, Африки та Латинської Америки. Якщо 1994 р. у світі налічувалося близько 5,7 млрд. людина, то сьогодні вже 7,2 млрд. [3]. При цьому у світі налічується 795 млн. людей, які страждають від голоду. Це означає, що кожен дев'ятий житель планети страждає від недоїдання [4].

Світова продовольча безпека залежить від розміру запасів зерна, яке зберігається до наступного врожаю (перехідні запаси), та від рівня виробництва зерна на душу населення. Як вважають експерти Продовольчої сільськогосподарської організації Об'єднаних Націй (ФАО), перехідні запаси країни мають становити 17% споживання зерна протягом року, тобто. відповідати 60 дням споживання. Росії цей показник має становити приблизно 12 млн. тонн [1], [5].

За даними ФАО, зерна, особливо продовольчого, виробляється у світі недостатньо. Світовий збір виробництва зерна становив 2 млрд. 75 млн. тонн у 2014 році та 2 млрд. 53 млн. тонн – у 2015 році, за останні 20 років зростання становило близько 10%. Найбільші темпи виробництва зерна спостерігаються в

Азії (48%). Країни-лідери з виробництва зерна: Китай (20%), США (16%), Індія (11%), Канада (4%) [1], [6].

У країні при валовому зборі зерна на рівні 80 млн. тонн сушіння потребує зазвичай 40 - 45% [9] зі зниженням вологості в середньому від 25 до 14%, хоча в окремі роки кількість вологого і сирого зерна збільшувалася до 60 - 70%, а в деяких регіонах все зерно необхідно було піддавати сушінню. Роль сушіння зростає зі збільшенням виробництва зерна, яке має становити близько 100 млн. тонн [10], [11].

Зерносушильний парк налічує близько 2 тис. сушарок. З якого більшу частину займають зерносушарки радянського виробництва [10]. У багатьох господарствах сушильне господарство через сформовану економічну ситуацію занепало. Існуюче сушильне обладнання зерноочисних сушильних пунктів (ЗОСП) технічно та морально застаріло. У цілому по країні 25-30% зерносушарок зношені та вимагають заміни, але переоснащення та заміна зерносушарок здійснюється повільно [12], [13], [14].

Сушіння зернового матеріалу є однією з найбільш енергоємних та дорогих операцій у процесі післязбиральної обробки зерна. Її реалізація потребує значних енергетичних витрат рідкого чи твердого палива, і навіть електричної енергії [15]. За експертними оцінками, із загальної кількості енергоресурсів, витрачених на виробництво зерна, прямі енерговитрати на сушіння досягають 35-55%, а частка енерговитрат у собівартості сушіння становить 70 - 75% [10], [11], [12], [13].

За останні 3-5 років енергоресурси значно подорожчали та мають тенденцію до подальшого збільшення вартості [9]. Тому розробка нових технологій та обладнання, спрямованих на зниження витрат палива та електроенергії на сушіння, має визначальне значення для зниження енерговитрат під час виробництва зерна [2].

Окрім високих енерговитрат, процес сушіння дуже трудомісткий технічно та технологічно складний, оскільки зміна деяких параметрів процесу сушіння

може призвести до незворотних наслідків – зерно втратить товарний вигляд, схожість. При неправильній реалізації теплового режиму у зерні утворюються канцерогени, здатні викликати онкологічні захворювання [5].

Для сушіння зерна використовують різні зерносушарки. З недавнього часу все більшого поширення набувають шахтні аерожолобні сушарки. Вивчення процесу сушіння в сушарках аерожолобного типу та позитивний досвід їх використання показали переваги та перспективність цього виду сушарок порівняно з іншими зерносушарками. Сушарки аерожолобного типу демонструють високу експлуатаційну надійність, простоту обслуговування, компактність та ін., при цьому вони мають ряд недоліків:

- можливий перегрів зерна вище допустимих меж через високу температуру та швидкість агента сушіння;
- нерівномірне нагрівання зерна;
- відсутність автоматичних систем управління порізністю зернового шару, а також подачі матеріалу та агента сушіння до сушильної камери;
- використання великої кількості вентиляторів у багатоканальних сушарках;
- складність систем рециркуляції відпрацьованого агента сушіння.

**Мета дослідження** є підвищення ефективності сушіння зерна в сушилці аерожолобного типу. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

розробити спосіб управління порізністю зернового шару, що рухається, і пристрій для його здійснення при сушінні матеріалу в аерожолобній сушарці;

у лабораторних умовах застосувати ультразвук для визначення порізності псевдозрідженого зернового шару, насіння трав;

розробити конструктивно-технологічну схему аерожолобної сушарки із замкнуто-розімкнутою аеродинамічною системою та інтегрованим у неї теплогенератором прямої дії, ультразвуковою системою управління подачею агента сушіння в сушильні камери та виготовити дослідний зразок. Провести

лабораторні та виробничі випробування сушарки з метою визначення галузі раціональних значень основних технологічних факторів при сушінні зерна на насіннєвому, продовольчому та фуражному режимах;

- дати техніко-економічну оцінку роботи аерожолобної сушарки з удосконаленою конструктивно-технологічною схемою.

**Об'єкт дослідження.** Технологічний процес роботи тепловентиляційної системи аерожолобної сушарки.

**Предмет дослідження.** Параметри технологічного процесу роботи тепловентиляційної системи аерожолобної сушарки.

**Гіпотеза дослідження.** Якщо використовувати ультразвук в системі керування подачею агента сушіння в сушильні камери, а також інтегрувати теплогенератор в тепловентиляційну систему сушарки, то це дозволить знизити питомі енерговитрати на технологічний процес сушіння сипучого матеріалу без зниження якості матеріалу, що висушується.

**Методи дослідження.** У дослідженні використано методи математичної статистики, теорії експерименту. Використання даних методів ґрунтувалося на застосуванні сучасних технічних засобів та вимірювальних приладів.

Експериментальні методи дослідження реалізовані на фізичних моделях та дослідному зразку шахтної аерозелобної сушарки у виробничих умовах. Результати експериментів були опрацьовані методом математичної статистики у середовищі спеціалізованого пакету зі статичного аналізу та обробки даних STATGRAPHICS Plus для Windows, а також редактора електронних таблиць MS Excel. Натурні випробування дослідного зразка шахтної аерозелобної сушарки проведені відповідно до СТО АІСТ 10.2-2010 (ДСТУ Р 55262-2012 Сушильні машини та установки сільськогосподарського призначення. Методи випробувань).

#### **Перелік публікацій за темою роботи:**

1. **Консевич С. М.** Результати виробничих випробувань аерожолобної сушарки з удосконаленою конструктивно-технологічною схемою. Студентські



читання–2022: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 30 листопада 2022 р. Житомир: Поліський національний університет 2022. С. 21-24

2. Кухарець С. М., **Коневич С. М.** Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми повітрообмінника. *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. 301-302.

3. **Коневич С. М.** Аналіз вітчизняних та зарубіжних конструкцій аерожолобних сушарок. *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. 267-270.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичний інтерес для виробництва представляє розроблена аерожолобна сушарка із замкнуто-розімкнутою аеродинамічною системою та ультразвуковою системою управління подачею агента сушіння в сушильні камери, та теплогенератором прямої дії, інтегрованим у тепловентиляційну систему сушарки.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 16 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 45 сторінок комп'ютерного тексту, містить 20 рисунків і 1 таблицю.

## РОЗДІЛ 1

## СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Аналіз вітчизняних та зарубіжних конструкцій аерожолобних сушарок

За кордоном випускають велику кількість різноманітних конструкцій зерносушарок різної продуктивності.

Фірма Alvan Blanch [1], [2] випускає зерносушарки подвійного безперервного потоку моделі DF (Рис. 1.1) продуктивністю від 11 до 53 т/год.

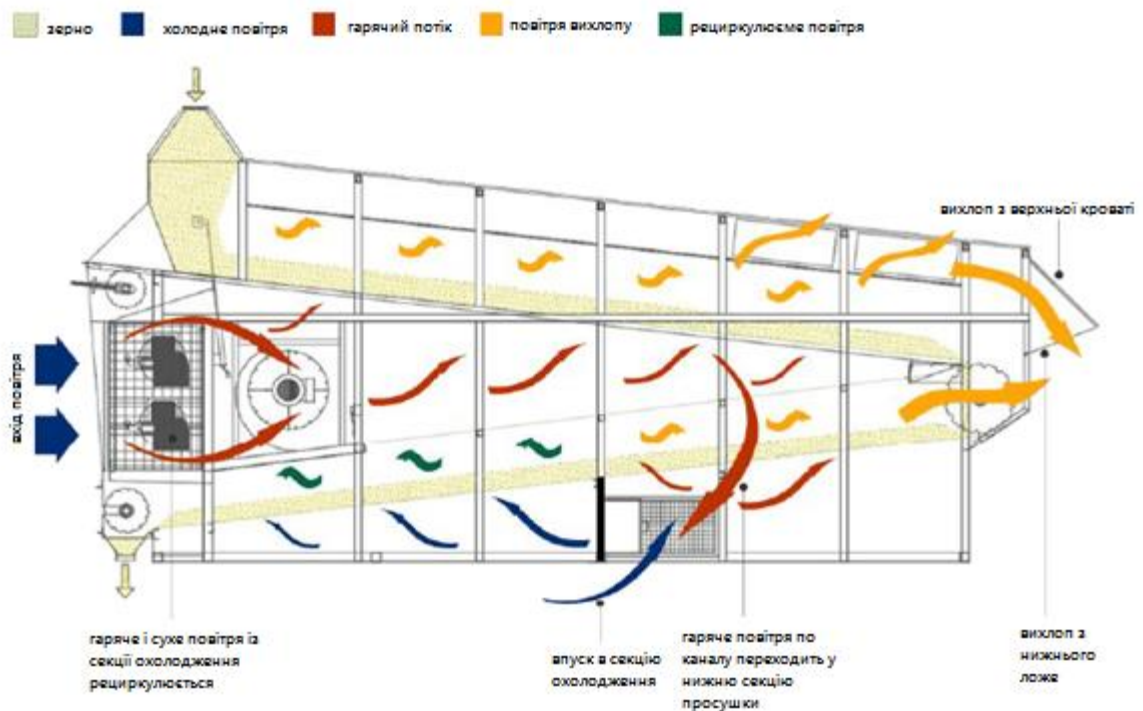


Рис. 1.1. Зерносушарка подвійного безперервного потоку моделі DF 6000, продуктивність – 6 т/год.

Виробником заявлено, що сушарка може просушувати неочищене зерно з будь-якою початковою вологістю та ступенем забруднення, купа знаходиться у підвішеному стані (псевдозрідженому), а рух зерна здійснюється планчастим жалюзійним ложем (транспортером) [2].

Слід зазначити, що у цих сушарок складна конструкція при цьому використанні планчастого транспортера для руху зерна може призводити до

травмування зернівки, а його поломка призведе до повної зупинки процесу сушіння.

Фірма Scolari (Італія) [3] та ТВН (Швейцарія) [4] випускають зерносушарки аеродинамічного типу продуктивністю 2...21,5 т/год. Відмінною рисою сушарок цих фірм є універсальність, простота конструкції та відносно невеликі габарити. Однак через конструктивні особливості не забезпечується диференційоване підведення за температурою та питомою подачею агента сушіння до матеріалу, що знижує економічні та якісні показники роботи зерносушарки.

Менш поширені сушильні апарати віброкиплячого шару (Рис. 1.2) [5], [6], [7]. Вони відрізняються від попереднього типу тим, що газорозподільні грати і, разом з нею, шар продукту, що висушується, піддаються вібраційному обуренню в процесі сушіння.



Рис. 1.2. Сушарка вібраційна конвективна - СВК

Вібраційна конвективна сушарка має низку переваг [5], серед яких можна виділити такі:

- значна економія енергоресурсів;

- мінімальна адгезія продукту, що висушується, до внутрішніх елементів сушарки;

- можливість якісної обробки продукту будь-якої товщини;
- можливість висушування поганоочікуваних продуктів;
- відсутність розбризкування та розпилення частинок продукту з апарату;
- підвищений теплообмін.

Основні недоліки даної сушарки це складність конструкції, наявність віброуючих частин, а також труднощі використання приводу, який може нагрівається через кронштейн кріплення приводу [5]. В установках з віброкиплячим шаром, що працюють з використанням електричних нагрівальних елементів, під впливом вібрації відбувається руйнування струмопідвідних контактних з'єднань, що знижує експлуатаційну надійність. Так само в даних установках активне перемішування оброблюваного матеріалу відбувається лише на поверхні, що вібрує, а в більш віддалених місцях утворюються застійні зони.

Установки для сушіння зерна з псевдозрідженим зерновим шаром (рис. 1.3) можна класифікувати так [8]:

- Установки киплячого шару з мимовільним переміщенням зерна (рис. 1.3 а, е);
- Установки розпушеного напівзваженого зернового шару з примусовим переміщенням зерна (рис. 1.3 б, в, г, д).

За способом формування зернового шару:

- установки з віброкиплячим шаром (рис. 1.3);
- установки із псевдозрідженням зернового шару повітряним потоком (рис. 1.3 а, б, в, г, д, е);
- Установки з киплячим без поділу шаром (рис. 1.3 а, б, д, е);
- з киплячим шаром, що розділяється (рис. 1.3 в, г).

За конструктивними особливостями установки можна поділити на камерні (рис. 1.3 а), каскадні (рис. 1.3 е), аерожолобні (рис. 1.3 б, в, д), лоткові (рис. 1.2).

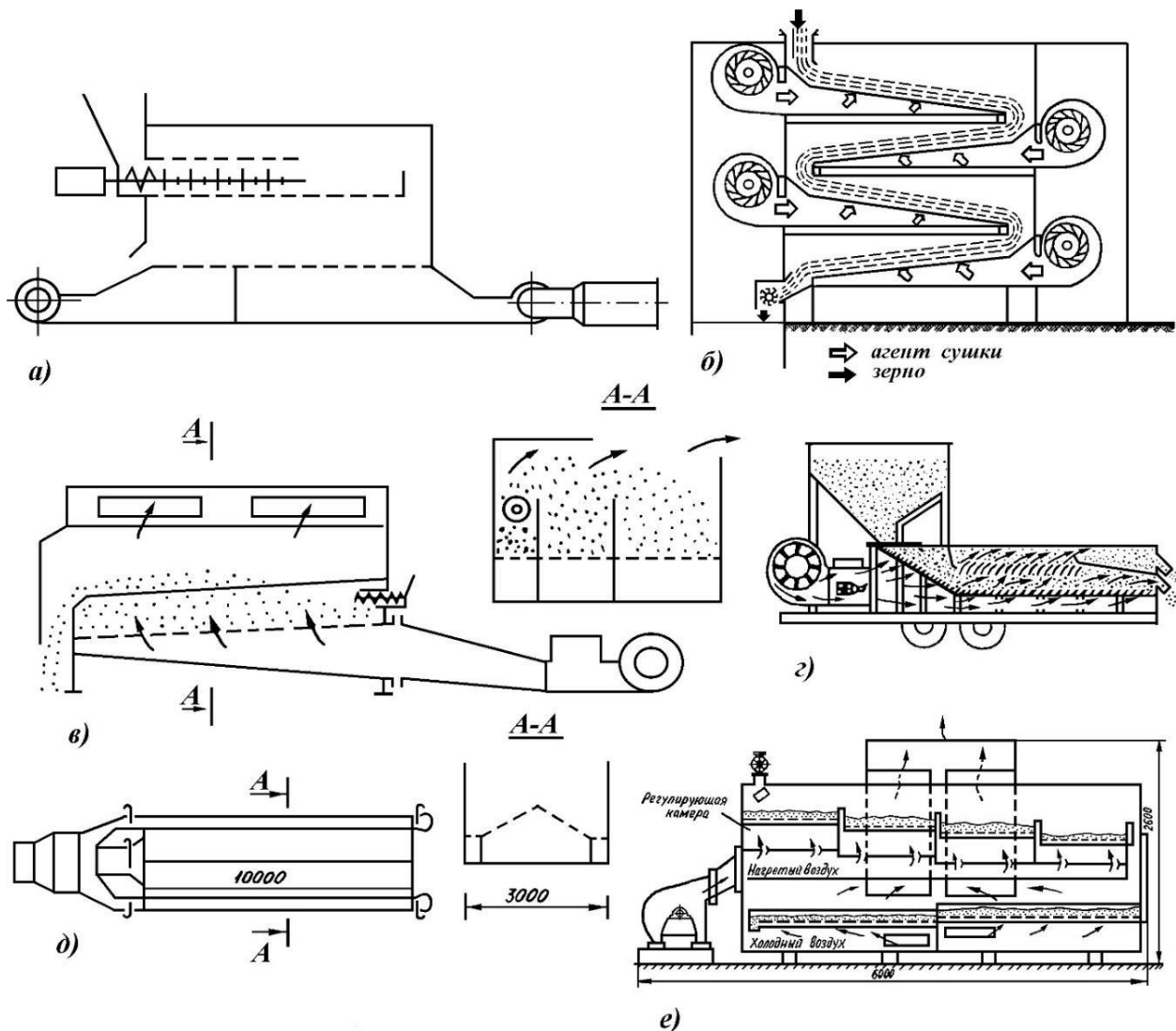


Рис. 1.3. Конструктивно-технологічні схеми установок для сушіння зерна із псевдозрідженням зернового шару [8]

У установці розробленій, А.В. Голубковичем, А.Г. Чижиковим та Л.С. Ударовим [9], (рис. 1.3 а), використання частин шнекового живильника, що обертаються, з лопатками для розпушування щільного шару знижує надійність роботи установки. Застосування багатокамерного сушіння з додатковим вентилятором ускладнює конструкцію сушарки та знижує надійність конструкції.

У шведській багатоярусній сушарці [4] рис. 1.3 б) на кожен сушильний короб встановлені вентилятори, що ускладнює конструкцію та знижує експлуатаційну надійність.

У встановленні А.А. Аудзявічуса [3] (рис. 1.3 в) через почергове вивантаження висушеного та розділеного на фракції матеріалу з секцій знижується продуктивність сушарки, також це призводить до нерівномірності сушіння. Встановлення нагрівального елемента окремо від сушарки призводить до втрати теплової енергії через стінки повітроводів.

У сушарці американської фірми Farm Fans Inc [4] (рис.1.3 г) підведення теплоти відбувається конвективним способом, що веде до зниження ефективності тепломасообміну.

У зерносушарці, запропонованій В.С. Уколовим [3] (рис. 1.3 д), вздовж поздовжніх стінок встановлені аерожолоба, процеси сушіння та вивантаження матеріалу розділені за часом, це призводить до зниження продуктивності. Розміщення електрокалорифера за межами сушарки призводить до втрати теплової енергії.

У зерносушарці з каскадним розташуванням сушильних камер киплячого шару і з мимовільним переміщенням зерна (рис. 1.3 е) [4], в результаті інтенсивного руху та перемішування вороха тривалість перебування зерен у сушарці неоднаково. Це може призвести до нерівномірності сушіння.

Авторами Є.М. Зіміним та М.С. Волхоновим розроблена аеродинамічна установка для сушіння сипучих матеріалів (рис. 1.4), що містить шахту, в якій встановлені сушильні короби з перфорованими перегородками. Над шахтою встановлений надсушильний бункер, а під шахтою закріплений підсушильний бункер із дозатором. На бічних стінках шахти закріплені розподільні повітряні короби з рухомими заслінками, які розподіляють повітряні потоки по коробах [3].

Недоліком зазначеної установки (рис. 1.4) є те, що кожна розподільна заслінка регулює повітряний потік у двох сушильних коробах, що ускладнює управління станом шару, а також за відсутності насіння на одному з коробів, що висушується, призводить до зниження транспортуючої здатності іншого

сушильного короба (т. к. повітря йде шляхом найменшого опору), втрат агента сушіння в атмосферу і до зниження економічної ефективності сушіння.

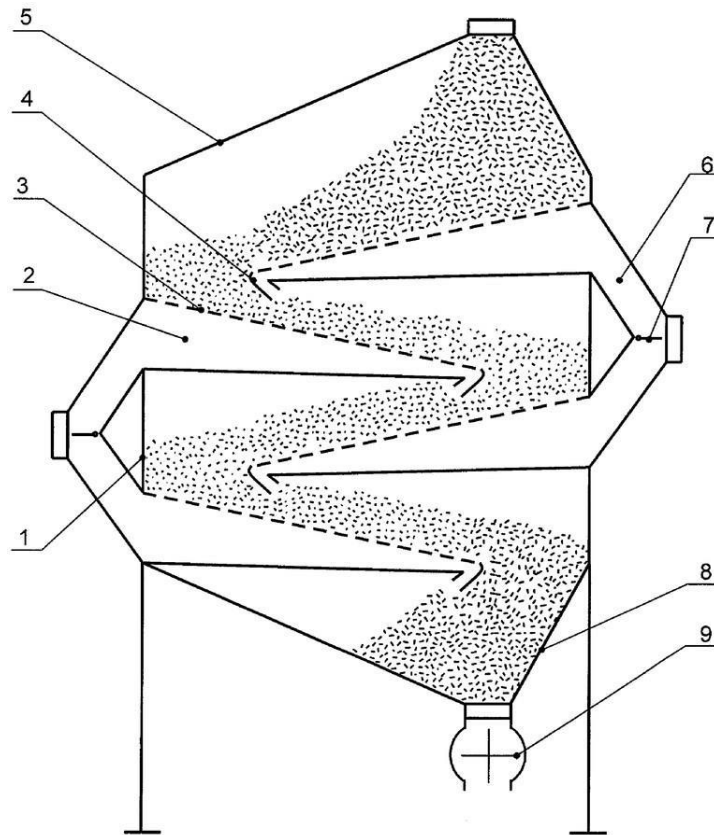


Рис. 1.4. Аеродинамічна установка для сушіння сипучих матеріалів [3]: 1 – шахта; 2 – сушильні коробки; 3 – перфоровані перегородки; 4 – переливний поріг; 5 – надсушильний бункер; 6 – повітророзподільні коробки; 7 – рухомі заслінки; 8 – підсушильний бункер; 9 - дозатор

Виробнича установка авторів О.М. Зіміна, М.С. Волхонова, С.І. Сидорова та ін. (рис. 1.5), включає вентилятори, з'єднані повітророзподільниками з сушильними коробами. Над верхнім сушильним коробом встановлений надсушильний бункер, а нижній має випускний пристрій. У розподільниках повітря є канали з поворотними щитками, призначеними для регулювання розподілу повітря по каналах. Сушильні коробки виконані з повітропідвідних та транспортуючих каналів, між якими жорстко встановлені перфоровані ґрати. Перший, третій та п'ятий сушильні коробки пов'язані з однією рамою, другий четвертий та шостий – іншою рамою [3].

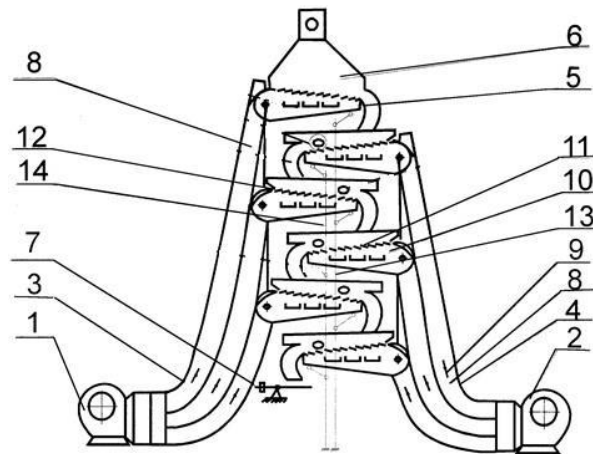


Рис. 1.5. Аеродинамічна установка для сушіння сипких матеріалів [3]: 1, 2 – вентилятори; 3, 4 – розподільники повітря; 5 - сушильні коробки; 6 – надсушильний бункер; 7 – випускний пристрій; 8 – канали; 9 – поворотні щитки; 10 – повітропідвідні канали; 11 - канали, що транспортують; 12 - перфоровані решета; 13, 14 – рама

Недоліком пристроїв (рис. 1.4, 1,5) [3], [4] є відсутність системи автоматичного управління положеннями повітряних заслінок, оператору вручну необхідно здійснювати контроль за кількістю повітря, що подається, при цьому відсутня можливість підтримання оптимальних витрат повітря в сушильних коробах залежно від їх завантаження.

Сушіння в киплячому (псевдозрідженому) шарі, як зазначають Г.А. Рівний, Н.К. Вальднер та ін [4], набув поширення в багатьох галузях промисловості так як має більш високі питомі показники продуктивності в порівнянні з сушарками барабанного типу. Однак вони відзначають, що впровадження в практику сушарок з киплячим шаром має ряд труднощів: через високу швидкість агента сушіння в поєднанні з високою температурою може відбуватися перегрів зерна вище допустимих меж; при зменшенні температури агента сушіння всі переваги сушарок з киплячим шаром значно знижуються; Зниження інтенсивності нагріву матеріалу за рахунок збільшення висоти киплячого шару призводить до значного підвищення енерговитрат на подачу агента сушіння через зростання гідравлічного опору шару. Для зниження енерговитрат на продування, зменшення нерівномірності сушіння у багатьох сушарках киплячого шару



застосовуються механічні спонукачі (шнеки, планчасті транспортери, вібрація та ін), при цьому знижується надійність конструкції.

Ефективність використання установок із псевдозрідженим шаром для попереднього нагріву, сушіння та охолодження зерна на думку Н.Я. Попова, Г.М. Суцягіна, М.І. Чернікова [4] великою мірою залежить від рівномірності переміщення у яких окремих зерен.

Широке застосування знаходить активне вентилявання зернового вороху в приймальних відділеннях, обладнаних аерозелобами, при агрегуванні з зернопереробними комплексами. При вентиляванні без розвантаження вологість зернового вороху протягом доби знижується на 3...5% [5], [6], [7], [8]. Відомо, що ці установки одночасно можуть виконувати кілька операцій: вентилявання, відділення пилу та легких домішок, підігрів, транспортування тощо.

### **Висновки по розділу**

Існуючі установки для сушіння зерна в киплячому (псевдозрідженому) шарі мають ряд загальних істотних недоліків:

- при контакті зерна з агентом сушіння відбувається інтенсивне нагрівання матеріалу до граничної температури при незначному вологосъеме;
- в установках із мимовільним переміщенням матеріалу, через хаотичний рух шару, відбувається нерівномірне нагрівання зерна;
- у вивчених конструкціях аеродинамічних сушарок підтримка питомих подач агента сушіння в шар, що обробляється, і відповідно швидкість газу в шарі, а також стан (псевдозрідження) і наявність матеріалу контролюється вручну або зовсім відсутня.
- у багатоканальних сушарках вентилятори подають повітря, як правило, в один або два розподільні канали і тому їх кількість велика - 5 і більше, при цьому знижується експлуатаційна надійність сушарки.

Зазначені недоліки, на наш погляд, є основною причиною стримування використання цих установок у зернопереробній галузі. У зв'язку з чим робота щодо їх удосконалення є актуальною.

## РОЗДІЛ 2

### ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АЕРОЖОЛОБНОЇ СУШАРКИ

#### **2.1 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми аерожолобної сушарки із замкнуто-розімкнутою аеродинамічною системою**

Нами розроблена конструктивно-технологічна схема аерозелобної сушарки із замкнуто-розімкнутою аеродинамічною системою, ультразвуковою системою управління подачею агента сушіння в сушильні камери [8].

Вона складається з двох шахт 2, в яких відбувається сушіння сипучого матеріалу в псевдозрідженому шарі за рахунок підігрітого повітря суміші з топковими газами. Агент сушіння виробляється теплогенератором прямої дії 13 і нагнітається за допомогою вентилятора 16 через повітророзподільні коробки 9 в аеродинамічні коробки 6 під вантажонесучі перфоровані перегородки 4. При цьому відпрацьований агент сушіння виводиться з шахт через циклон 18 для очищення його від легких домішок і повітря 17 і прямує на часткову або повну рециркуляцію за допомогою повітрообмінника 15 назад в теплогенератор і далі в сушарку.

Використання двох вентиляторів (рис. 2.1) – один з яких працює на розрядження, а інший на нагнітання агента сушіння в шахти дозволяє досягти стабільної роботи аерожолобів за різних режимів роботи сушарки.

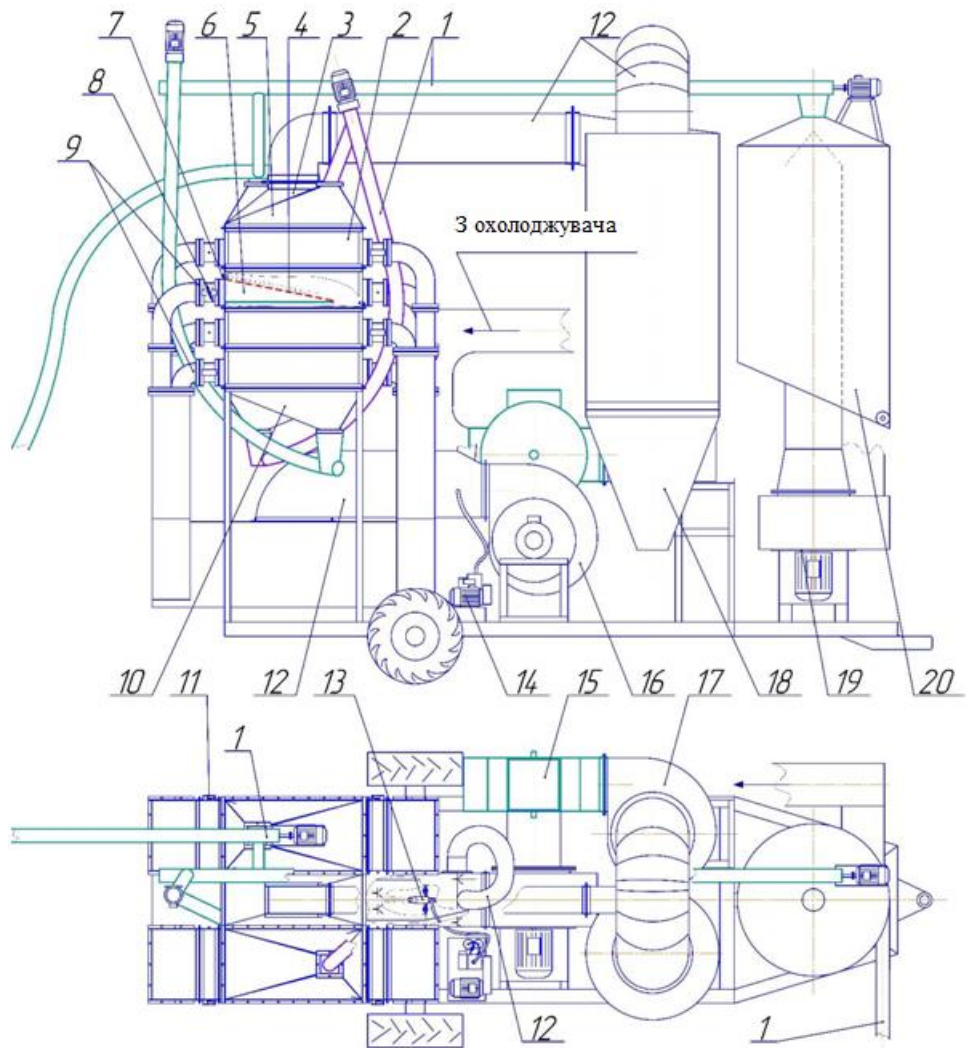


Рис. 2.1. Конструктивно-технологічна схема аерожолобної сушарки із замкнуто-розімкнутою аеродинамічною системою: 1 – шнек; 2 – шахта; 3 – конфузор; 4 – перфорована перегородка; 5 – надсушительний бункер; 6 – аеродинамічні короби; 7 – ультразвуковий датчик; 8 – заслінка; 9 – повітророзділювальні короби; 10 – підсушительний бункер; 11 – сервопривід; 12 – повітропровід; 13 – теплогенератор прямої дії; 14 – привід насоса; 15 – повітрообмінник; 16 – вентилятор; 17 – вентилятор системи рециркуляції відпрацьованого агента сушіння; 18 – циклон; 19 – вентилятор охолоджувача; 20 – охолоджувач

Очевидно, що для побудови сумарної характеристики вентиляторів, що послідовно працюють, досить алгебраїчно скласти величини тисків, що розвиваються кожним вентилятором при рівних подачах повітря [9].

При цьому сила  $F$  повітряного потоку, яка впливає на частину матеріалу на виході з перфорованої отвори перегородки, може бути визначена за відомою залежності:

$$F = \Delta P \cdot S \cdot \alpha, \quad (2.1)$$

де  $\Delta P$  – різниця тисків, Па;

$S$  – площа отвору перфорованої перегородки, мм<sup>2</sup>;

$\alpha$  – аеродинамічний коефіцієнт, що залежить від параметрів поверхні частки.

Для виключення втрат агента сушіння, а також з метою забезпечення нормальних умов завантаження матеріалу, шахти повинні перебувати під розрядженням, тому потужність вентилятора 17 повинна бути вищою, ніж вентилятора 16, а опір мережі магістралі, що працює на розрядження нижче, ніж мережі, що працює під тиском.

Розроблена схема аерожолобної сушарки дозволяє зменшити кількість вентиляторів без зниження технологічної надійності процесу та забезпечує зниження енерговитрат на сушіння.

Необхідно розробити систему керування повітряними потоками в кожній сушильній камері незалежно один від одного.

## **2.2 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми повітрообмінника**

Для керування потоками свіжого повітря, що відпрацював агента сушіння, їх змішуванням нами розроблено повітрообмінник (рис. 2.2) [10], [11], який може використовуватися в пристроях автоматичного регулювання роботи тепловентиляційної системи сушарки. Визначено режими роботи повітрообмінника.

Режим роботи (рис. 2.3 а) «Багаторазове використання агента сушіння» слід використовувати на початку роботи сушарки та в перші моменти після

повної заміни відпрацьованого агента сушіння. У цьому режимі через патрубок 3 камеру змішування 4 нагнітається частково відпрацьований агент сушіння, що пройшов через сушарку і відразу ж направляється в теплогенератор.

Другий режим (рис. 2.3 б) "Часткова заміна агента сушіння" характерний для нормальної роботи сушарки. Відпрацьований частково повітря нагнітається в камеру змішування 4 де частина його потоку скидається в навколишнє середовище, а інша надходить в теплогенератор. Одночасної з навколишнього середовища підсмоктується свіже повітря, яке змішується з потоком агента, що частково відпрацював, сушіння і направляється в теплогенератор.

У режимі роботи (рис. 2.3 в) «Повна заміна агента сушіння» сушарка буде працювати, коли насичення агента сушіння вологою буде вище критичного значення. Агент сушіння повністю себе «відпрацьовує» і скидається з віддаленою вологою в атмосферу, одночасно теплогенератор надходить свіже повітря.

Положення рухомої заслінки 2 залежить від температури і вологості відпрацьованого агента сушіння, що подається в камеру змішування 4 і атмосферного повітря і встановлюється за допомогою системи управління.

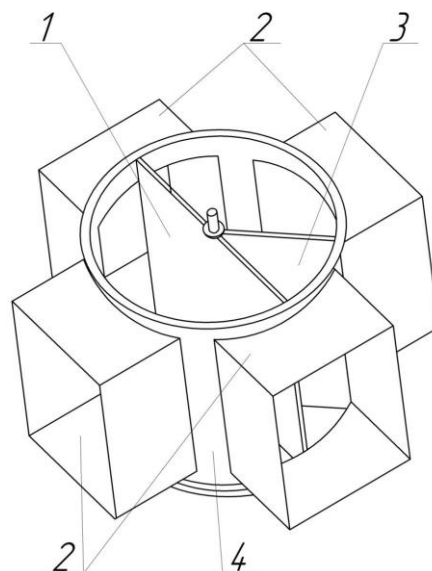


Рис. 2.2. Конструктивно-технологічна схема повітрообмінника: 1 – рухома заслінка; 2 – патрубки; 3 – нерухома заслінка; 4 – циліндричний корпус (камера змішування)

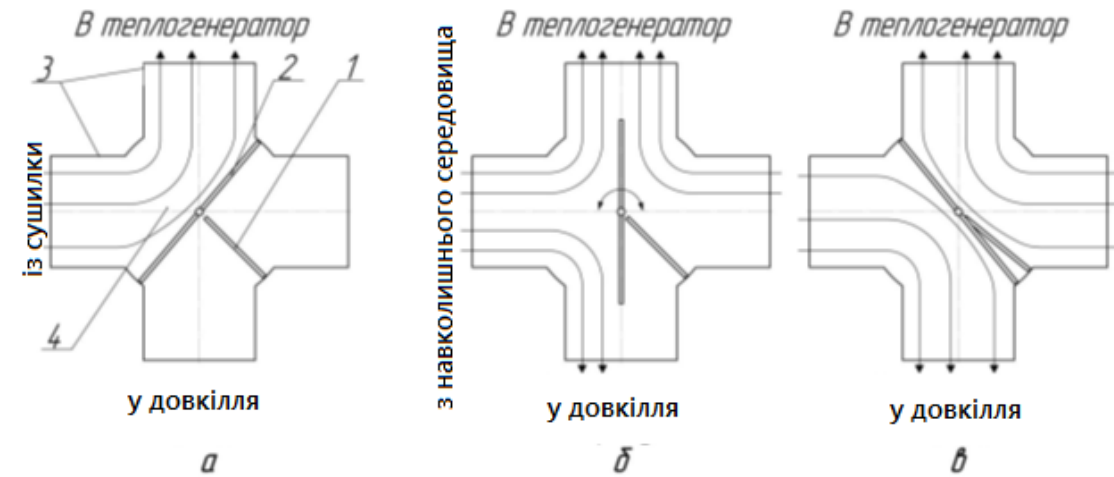


Рис. 2.3. Схема режимів роботи повітрообмінника: а – багаторазове використання агента сушіння; б – часткова заміна агента сушіння; в - повна заміна агента сушіння. 1 – нерухома заслінка; 2 – рухлива заслінка; 3 – патрубки; 4 – циліндричний корпус (камера змішування)

Розроблений пристрій дозволяє використовувати енергію частково відпрацьованого агента сушіння, тим самим знижуються енергозатрати на сушіння. Під час режиму роботи повітрообмінника «Багаторазове використання агента сушіння» вся аеродинамічна система знаходиться в замкнутому стані. При цьому на початку сушіння в найкоротші терміни відбувається прогрівання всієї системи та вихід сушарки на заданий режим, і, як наслідок, знижуються витрати палива на прогрівання сушарки.

### 2.3. Опис експериментальних та виробничих установок

Відповідно до прийнятої програми наукового дослідження нами було створено такі лабораторні установки та дослідні зразки (рис. 2.4 – 2.5).

Нами була виготовлена установка для визначення порізності шару змодельованого за допомогою ультразвуку (рис. 2.4), яка складається з ультразвукового випромінювача 1; ультразвукового приймача 4 (датчик ехолокації HC-SR04), встановлених у короб 2 зі звукопоглинаючими стінками, кульок 3; керуючого контролера STM32F100C4T6B 5; рідкокристалічного екрану 6.

Для визначення діапазонів застосування ультразвуку при контролі зміни порізності псевдозріженого шару зерна і насіння трав розроблена та виготовлена установка (Рис. 2.2, 2.3), що включає: блок вимірювання 7 (керуючий контролер STM32F100C4T6B), ультразвуковий випромінювач 6 SR04), встановлені на парусному класифікаторі 3 РПП-30 з циклоном 1 (повітропроводи та вентилятор умовно не показані), заслінку для регулювання витрати повітря 2 і лінійку 4 для визначення висоти підйому сипучого матеріалу.

Відповідно до завдань наукового дослідження було розроблено та виготовлено мобільну універсальну шахтну аерожолобну сушарку СУША-М [9], [10] із замкнуто-розімкнутою аеродинамічною системою, ультразвуковою системою управління подачею агента сушіння в сушильні камери, призначена для сушіння насіннєвого, продовольчого зерна колосового та насіння дрібнонасіннєвих культур. У ході пошукових дослідів [9] нами було вивчено аеродинаміку сушарки з двома вентиляторами замість п'яти, на підставі яких прийнято наступну конструкцію.

Сушарка містить дві шахти 2, що складаються з восьми сушильних камер, в яких встановлені аеродинамічні короби 6 з перфорованими перегородками 4. Зверху встановлений конфузур 3 системи рециркуляції відпрацьованого агента сушіння. Система рециркуляції містить повітроводи 12, що направляють відпрацьованого агента сушіння спочатку на відчистку від легких і дрібних домішок циклон 18, а потім через вентилятор 17 в повітрообмінник 15, де відбувається повна або часткова зміна агента сушіння, або багаторазове використання відпрацьованого агента сушіння. Вентилятор 16 направляє суміш частково відпрацьованого агента сушіння і свіжого повітря в повітропровід 12, усередині якого встановлений теплогенератор прямої дії, де відбувається підігрів агента сушіння до необхідної температури [10].

На бокових сторонах шахт закріплені повітророзподільні короби 9 із заслінками 8, керованими сервоприводами 11 ультразвуковою системою управління подачею агента сушіння в сушильні камери. Над кожною шахтою



встановлений надсушильний бункер 5, а під шахтою закріплений підсушильний бункер 10. Транспортування матеріалу шахти і вивантаження висушеного матеріалу з охолоджувача 20 здійснюється гнучкими безвальними шнеками [10].

Діяльність М.С. Волхонова [8] встановлено, що з умов рівномірного руху матеріалу по перфорованій перегородці її ширина має перевищувати 400 мм, конструктивно прийняли 370 мм. Довжина перфорованої перегородки 640 мм, отримана виходячи із відношення до її ширини та продуктивності сушарки.

Виходячи з розмірів перфорованої перегородки, щоб не відбувалося підтискання та гідроударів повітряних потоків, були отримані розміри сушильних камер, повітророзподільних коробів, повітроводів тепловентиляційної системи, повітрообмінника та циклону.

Висота шахти 2 сушарки становить 840 мм, довжина 726 мм, ширина 370 мм, висота сушильної камери 210 мм, перфоровані перегородки 4 встановлені під кутом 4 градуси з живим перерізом 8%.

Габаритні розміри дослідного зразка мобільної універсальної шахтної аерожолобної сушарки СУША-М з удосконаленою конструктивно-технологічною схемою (Рис. 2.4) становлять 6000×2000×3500 мм.

В ультразвуковій системі управління подачею агента сушіння в сушильні камери використані ультразвукові далекоміри HC-SR04, що мають діапазон вимірювання відстаней 20 - 3000 мм, що забезпечують інтервал між вимірами не менше 50 мс. Як виконавчі механізми для управління заслінками використовували електронні сервоприводи Tower Pro MG 995, що мають крутний момент до 12 кг/см з часом повороту валу 4 мс/град, кут повороту валу в діапазоні 0 - 180 ° з утриманням встановленого положення, вал сервоприводу з'єднаний з віссю заслінки через м'яку муфту [9].

У теплогенераторі використана паливоподаюча апаратура високого тиску (Рис. 2.4), що складається з гідромеханічної форсунки високого тиску 13 і приводу насоса 14 (електродвигун, ланцюгова передача та насос високого тиску Д - 144 4УТНІ-Е-1111005) [6], [8], [9], [10].

Теплогенератор працює на дизельному паливі. Температура агента сушіння, створювана теплогенератором - трохи більше  $140^{\circ}\text{C}$ . Витрата палива регулюється в межах від 0 до 6 кг/год. Прогрів агента сушіння та вихід сушарки на заданий температурний режим відбувався за 1-2 хв. Габаритні розміри теплогенератора: довжина 1220 мм, ширина 280 мм, висота 350 мм. Довжина камери згоряння 500 мм, радіус вершини зрізаного конуса камери згоряння 0,09 м, радіус основи зрізаного конуса камери згоряння 0,12 м, об'єм камери згоряння 0,0174 м<sup>3</sup>. Маса теплогенератора (разом із насосом та його приводом) 40 кг.

Повітрообмінник виготовлений з листової сталі (Рис. 3.8), вісь рухомої заслінки 1 (малюнок 2.8, 2.9) встановлена на підшипниках кочення. Отвори патрубків 2 (Рис. 2.8) повітрообмінника мають розміри  $280 \times 280$  мм, радіус і висота циліндричного корпусу 280 мм.

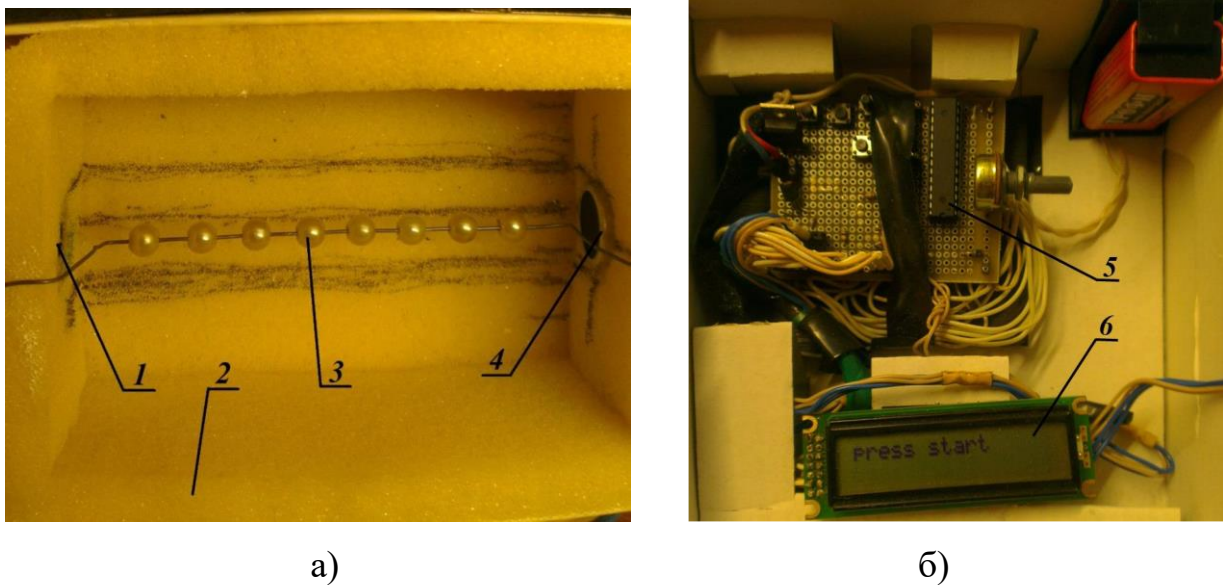


Рис. 2.4. Встановлення визначення порізності змодельованого шару за допомогою ультразвуку: а – модель псевдозрідженого шару; б – блок виміру; 1 – ультразвуковий випромінювач; 2 – короб із звукопоглинаючими стінками; 3 – кульки; 4 – ультразвуковий приймач; 5 – керуючий контролер STM32F100C4T6B; 6 – рідкокристалічний екран

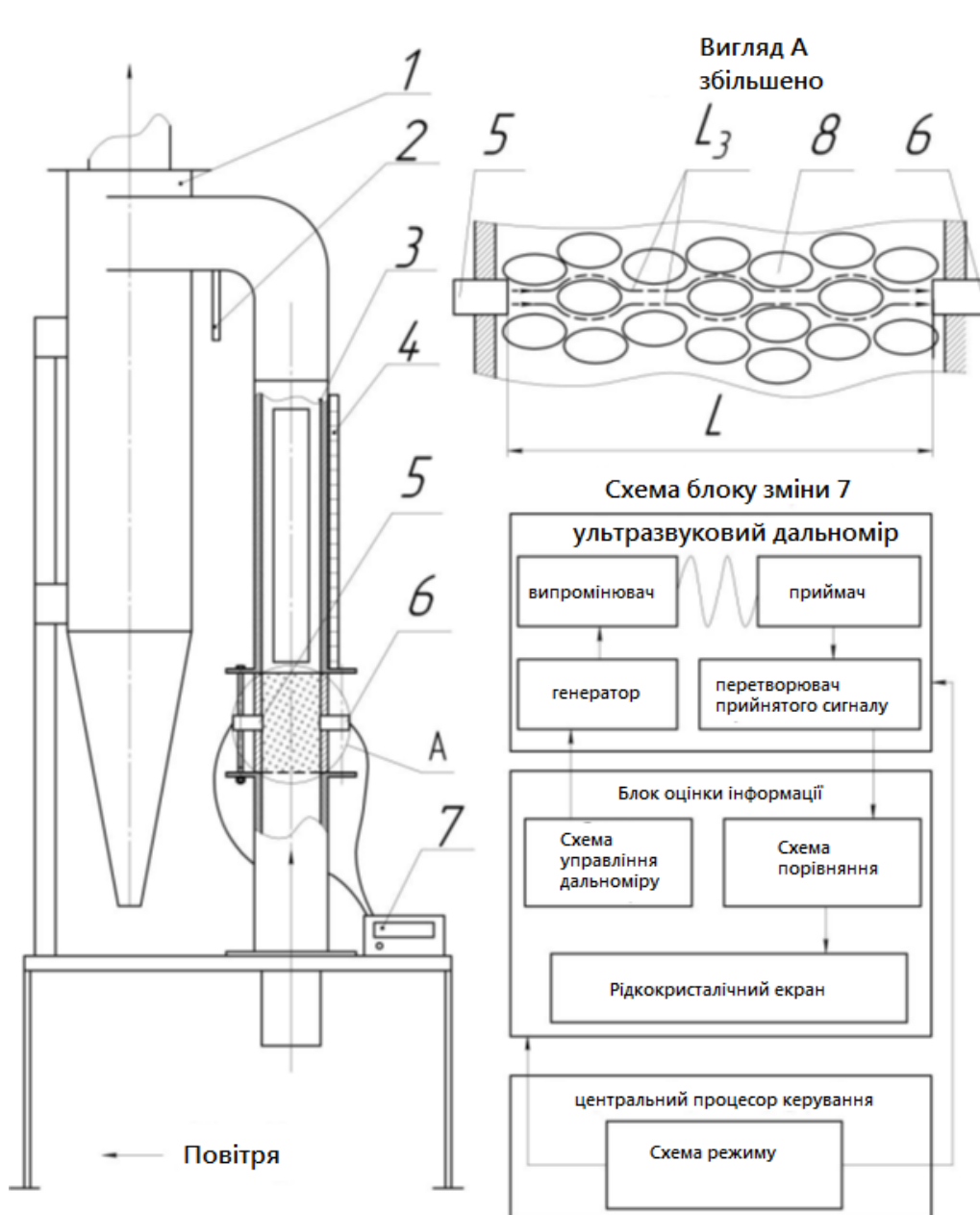


Рис. 2.5. Конструктивно-технологічна схема лабораторної установки для визначення діапазонів застосування ультразвуку при контролі зміни порізності псевдозрідженого шару зерна та насіння трав: 1 – циклон; 2 – заслінка; 3 – вітрильний класифікатор РПП-30; 4 – лінійка; 5 – ультразвуковий випромінювач; 6 – ультразвуковий приймач; 7 – блок виміру; 8 – досліджуваний матеріал.



Рис. 2.6. Лабораторна установка для визначення діапазонів застосування ультразвуку при контролі зміни порізності псевдозрідженого шару зерна та насіння трав: а – загальний вигляд установки; б – блок вимірювання та ультразвукові датчики

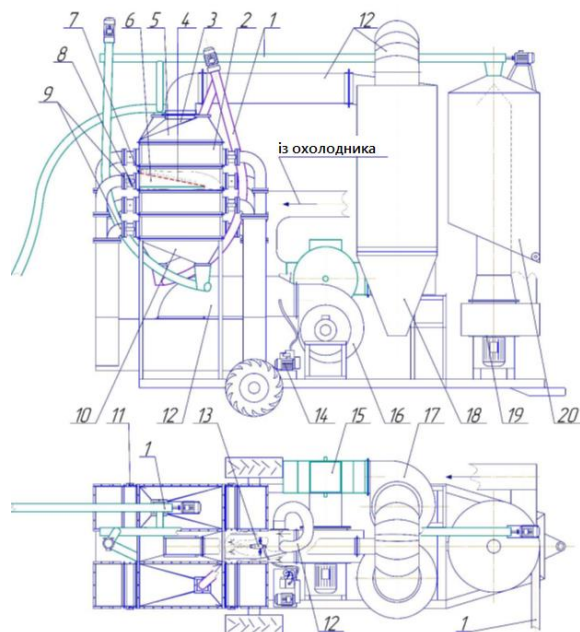


Рис. 2.7. Схема мобільної універсальної шахтної аерозолобної сушарки СУША-М із вдосконаленою конструктивно-технологічною схемою 1 – шнек; 2 – шахта; 3 – конфузор; 4 – перфорована перегородка; 5 – надсушительний бункер; 6 – аеродинамічні короби; 7 – ультразвуковий датчик; 8 – заслінка; 9 – повітророзподільні короби; 10 - підсушительний бункер; 11 - сервопривід; 12 – повітропровід; 13 – штифтова форсунка; 14 - привід насоса; 15 – повітрообмінник; 16 – вентилятор; 17 - вентилятор системи рециркуляції відпрацьованого агента сушіння; 18 – циклон; 19 – вентилятор охолоджувача; 20 – охолоджувач

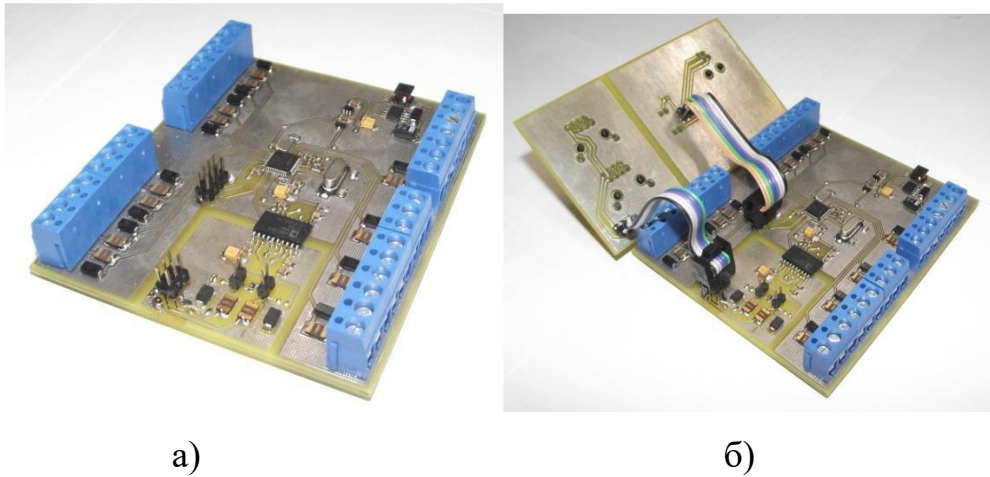


Рис. 2.8. Система управління подачею агента сушіння в сушильні камери: а – друкована плата мікроконтролера; б – з'єднання друкованих плат



Рис. 2.9. Шафа системи керування сушаркою: 1 – система управління подачею агента сушіння в сушильні камери; 2 – блоки живлення; 3 – блок силової комутації; 4 – блок керування теплогенератором; 5 – блок керування вентиляторами

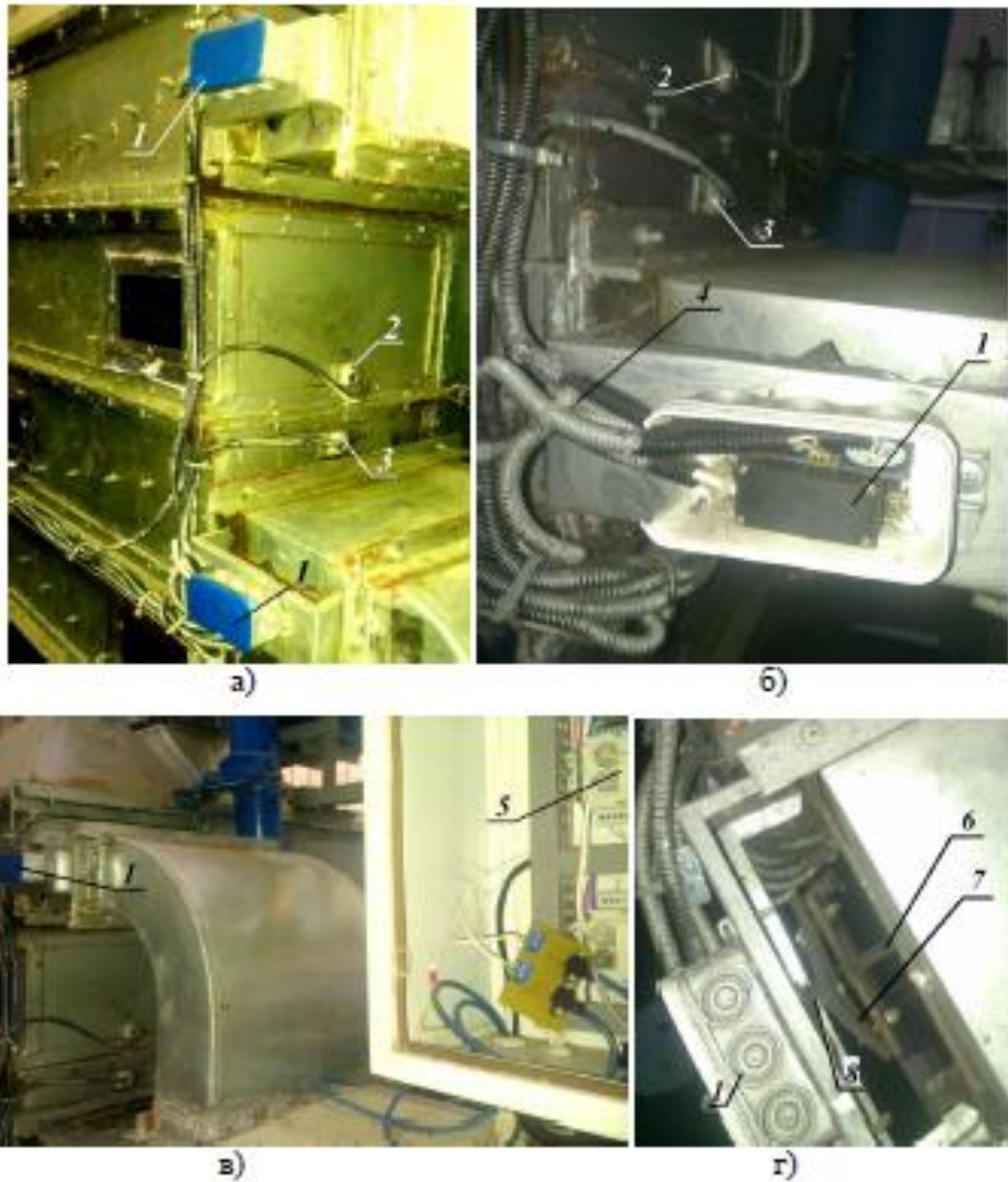


Рис. 2.10. Ультразвукова система керування подачею агента сушіння в сушильні камери: а, б – шахта аерожолобної сушарки із встановленими ультразвуковими датчиками та сервоприводами; в – шахта аерожолобної сушарки та шафа системи управління; г – привід заслінки. 1 – сервопривід Tower Pro MG995; 2 – ультразвуковий приймач; 3-ультразвуковий випромінювач; 4 – контрольний кабель; 5 – система управління подачею агента сушіння в сушильні камери; 6 – вісь заслінки; 7 – м'яка муфта; 8 – вал сервоприводу

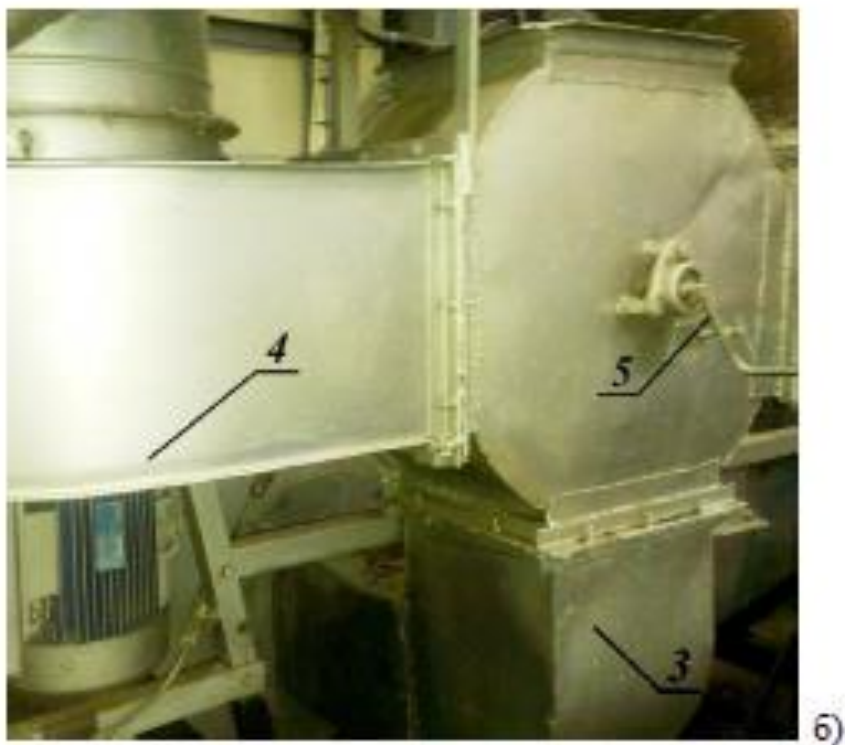


Рис. 2.11. Повітрообмінник: а – вид із боку; б – з'єднання повітрообмінника з вентилятором, 1 – повітропровід з охолоджувача; 2 – повітрообмінник; 3 – повітропровід; 4 – вентилятор системи рециркуляції відпрацьованого агента сушіння; 5 – механізм повороту та фіксації рухомої заслінки повітрообмінника.



Рис. 2.12 Дослідний зразок мобільної універсальної шахтної аерожолобної сушарки СУША-М із вдосконаленою конструктивно-технологічною схемою

#### **2.4 Методика лабораторного експерименту щодо визначення діапазонів застосування ультразвуку при контролі зміни порізності псевдозрідженого шару зерна та насіння трав**

Нами був проведений експеримент щодо визначення діапазонів застосування ультразвуку при контролі зміни порізності псевдозрідженого шару зерна та насіння трав за допомогою розробленого та виготовленого вимірювального приладу

Як основний фактор (рис. 2.13) була прийнята витрата повітря  $Q$ , м<sup>3</sup>/год, регулювався механічною заслінкою, встановленою на вітрильному класифікаторі РПП-30.

Вихідними величинами (відгуками) були: порізність шару сипучого матеріалу,  $E_{сл}$ , %, визначали непрямым методом через висоту підйому сипучого матеріалу,  $H_{сл}$ , мм; свідчення теоретичного найкоротшого «шляху» ультразвукової хвилі через шар матеріалу,  $L_{з.пр.}$ , мм, визначали за приладом.



Контрольовані фактори: початкова висота шару сипучого матеріалу  $H_{нач} = 35$  мм, атмосферний тиск повітря  $P_{атм}$ , Па, температура зовнішнього повітря  $t_{н.в.}$  мм, та частота ультразвукової хвилі  $\nu$ , кГц.

Дослід проводився так. Після встановлення рівнів основних факторів протягом 8 хвилин проводилися запис вимірів висоти киплячого шару однієї з культур і показань приладу на відеокамеру, причому через кожну хвилину збільшували витрату повітря від 0 до 80 м<sup>3</sup>/год з інтервалом 10 м<sup>3</sup>/год.

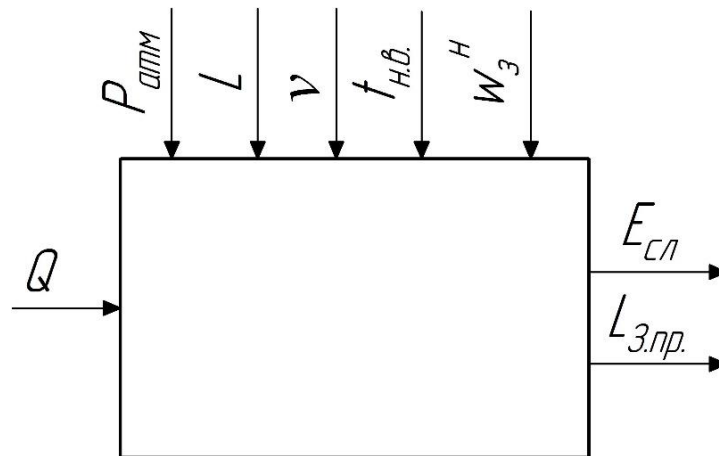


Рис. 2.13. Моделювання процесу визначення порізності шару

Після чого проводилося покадрове розшифрування запису та визначення порізності киплячого шару за відомою залежністю (2.1):

$$E_{сл} = 1 - \frac{1 - E_0}{K} \cdot 100, \quad (2.1)$$

де  $E_{сл}$  - порізність шару, %;

$E_0$  - початкова порізність шару;

$K$  - коефіцієнт, що залежить від висоти підйому шару;

$$K = \frac{H_{сл}}{H_0}, \quad (2.2)$$

де  $H_{сл}$  – висота шару, мм;

$H_0$  - висота шару без порожнеч, мм.

Початкову порізність шару визначили дослідним шляхом. У мірну колбу заливалася вода до певного рівня, після чого на неї засипався матеріал.

Збільшення рівня води показувало обсяг твердої фази матеріалу без пір. Далі за відомою залежністю (2.3) розраховувалася початкова порізність:

$$E_0 = \frac{V_{сл} - V_{ТВ}}{V_{сл}} \quad (2.3)$$

де  $V_{сл}$  - обсяг матеріалу, мм<sup>3</sup>;

$V_{ТВ}$  - обсяг твердої фази матеріалу, мм<sup>3</sup>.

Знаючи обсяг твердої фази матеріалу та розміри експериментальної установки, що знаходили висоту шару без порожнеч.

Експеримент проводився на насінні конюшини, та пшениці.

Після проведення експерименту було розраховано основні статистичні характеристики за методикою, наведеною у роботі авторів Волхонova М.С., Зудіна С.Ю., Зіміна І.Б., Зиріна І.С.

Дисперсія  $S$  розраховувалася за наступною залежністю:

$$S = \frac{\sum(Y_i - Y_{cp})^2}{n-1}, \quad (2.4)$$

де  $Y_i$  -  $i$ -й елемент вибірки;

$Y_{cp}$  - середнє арифметичне;

$n$  – кількість повторностей.

Середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  розраховувалося за такою формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - Y_{cp})^2}{n-1}}, \quad (2.5)$$

Коефіцієнт варіації  $v$  рассчитывался по следующей формуле:

$$v = \frac{S}{Y_{cp}} \cdot 100, \quad (2.6)$$

де  $S$  – середньоквадратичне відхилення.

Довірча гарантійна помилка  $m_D$  розраховувалася за такою формулою, при числі повторностей дослідів  $n > 20$ :

$$m_D = \pm \frac{\sigma \cdot t_{табл}}{\sqrt{n}}, \quad (2.7)$$

де  $t_{табл}$  - табличний критерій Стюдента.

Відносна гарантійна помилка  $m_{Д}^{\text{відн}}$  розраховувалася за такою формулою:

$$m_{Д}^{\text{відн}} = \frac{t_{\text{табл}} \cdot \nu}{Y_{\text{ср}}}, \quad (2.8)$$

де  $m_{Д}$  – гарантійна помилка.

## 2.5 Методика проведення лабораторних випробувань аерожолобної сушарки з удосконаленою конструктивно-технологічною схемою

Лабораторні випробування розробленого дослідного зразка мобільної універсальної шахтної аерожолобної сушарки СУША-М (Рис. 3.4 – 3.9) проводили на базі дослідного поля та лабораторії. Завдання випробувань полягало у визначенні режимних параметрів сушіння та техніко-енергетичних показників дослідного зразка.

Як основні фактори були прийняті: температура агента сушіння,  $t_{a.c.}$ , °С, встановлювали відповідно до теоретичних передумов, викладених у першому розділі; витрата агента сушіння,  $Q_{a.c.}$ , м<sup>3</sup>/с, встановлювався максимальним, але виключає винесення матеріалу з сушильних коробів; вологість відпрацьованого агента сушіння,  $\varphi_{o.a.c.}$  %.

Вихідними величинами (відгуками) були: продуктивність сушарки,  $G$ , кг/год; температура відпрацьованого агента сушіння,  $t_{o.a.c.}$ , °С; витрата відпрацьованого агента сушіння,  $Q_{o.a.c.}$ , м<sup>3</sup>/с; вологість матеріалу після сушіння,  $w_{зк}$ , %; витрата палива,  $q_m$ , кг/год; споживана потужність електроенергії,  $N_{el.}$ , кВт·год; температура зерна на виході із сушарки,  $t_{з.к.}$ , °С.

Контрольовані фактори: атмосферний тиск повітря  $P_{атм}$ ; початкова вологість партії пшениці  $w_{зн}$ ; температура зерна на вході в сушарку  $t_{з.н.}$ ; температура зовнішнього повітря  $t_n$  та вологість повітря  $\varphi_{н.в.}$ .

У кожному досліді проводили відбір проб насіння до і після сушіння масою по 1 кг, яке поміщалося в полотняний мішок, після чого виділялася середня проба для аналізу насіння на схожість в лабораторії.

## 2.6 Методика проведення виробничих випробувань аерожолобної сушарки з удосконаленою конструктивно-технологічною схемою

Виробничі випробування проводили при сушінні насіння ярої пшениці та конюшини (Рис. 2.13). Завдання випробувань полягало у перевірці отриманих даних під час лабораторних випробувань дослідного зразка та визначенні техніко-енергетичних показників сушарки.



Рис. 2.13. Дослідний зразок мобільної універсальної шахтної аерожолобної сушарки СУША-М

Як основні фактори були прийняті: температура агента сушіння,  $t_{a.c.}$ , °С; витрата агента сушіння  $Q_{a.c.}$ , м<sup>3</sup>/с, встановлювався максимальним, але виключає винесення матеріалу з сушильних коробів; вологість відпрацьованого агента сушіння,  $\varphi_{o.a.c.}$ , %.

Вихідними величинами (відгуками) були: продуктивність сушарки,  $G$ , кг/год; температура відпрацьованого агента сушіння,  $t_{o.a.c.}$ , °С; витрата відпрацьованого агента сушіння,  $Q_{o.a.c.}$ , м<sup>3</sup>/с; вологість матеріалу після сушіння,  $w_{зк}$ , %; витрата палива,  $q_m$ , кг/год; споживана потужність електроенергії,  $N_{el.}$ , кВт-год; температура зерна на виході із сушарки,  $t_{з.к.}$ , °С.

Контрольовані фактори: атмосферний тиск повітря  $P_{атм}$ ; початкова вологість партії пшениці  $w_{зн}$ ; температура зерна на вході в сушарку  $t_{з.н.}$ ; температура зовнішнього повітря  $t_n$  та вологість повітря  $\varphi_{н.в.}$

До і після сушіння проводили відбір проб насіння пшениці та конюшини масою по 1 кг. Насіння конюшини містилося в полотняний мішок, після чого було виділено середню пробу для проведення аналізу насіння на схожість та енергію проростання фахівцями насінневої інспекції.

Після проведення лабораторних та виробничих випробувань дослідного зразка аерожолобної сушарки отримані дані були узагальнені та проаналізовані графоаналітичним методом з метою визначення галузі раціональних значень основних технологічних факторів при сушінні зерна на насінневому, продовольчому та фуражному режимах.

### **Висновки по розділу**

В другому розділі магістерської роботи розроблена методика проведення досліджень та представлено обладнання яке використовувалось в процесі досліджень.

### РОЗДІЛ 3

## РЕЗУЛЬТАТИ ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ АЕРОЖОЛОБНОЇ СУШАРКИ З УДОСКОНАЛЕНОЮ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЮ СХЕМОЮ

Виробничі випробування проводили на базі СТОВ «Нива Полісся» Коростенського району Житомирської області. Атмосферний тиск зовнішнього повітря під час проведення випробувань становив  $P_{атм} = 101058$  Па; початкова вологість партії пшениці сорту Злата  $w_{зн} = 20,4\%$ ; температура зерна на вході в сушарку  $t_{з.} = 14$  ° С; температура зовнішнього повітря  $t_{н.} = 20$  ° С; вологість повітря  $\varphi_{н.в.} = 46\%$ .

Також були проведені випробування сушарки при сушінні вороху конюшини сорту Вінницький, щоб не перегріти насіння конюшини, температуру агента сушіння підтримували на рівні 65°С. Атмосферний тиск зовнішнього повітря під час проведення випробувань становив  $P_{атм} = 101058$  Па; початкова вологість партії вороха конюшини  $w_{з.н} = 20,5\%$ ; температура насіння на вході до сушарки  $t_{з.н.} = 15$  ° С; температура зовнішнього повітря  $t_{н.} = 20,1$  ° С; вологість повітря  $\varphi_{н.п.} = 41\%$ .

В результаті проведення випробувань відповідно до ДСТУ 55262-2012 було отримано техніко-енергетичні показники процесу сушіння, подані в табл. 3.1.

Досліджувані режими роботи відрізнялися від лабораторних випробувань лише на: 5% для фактичної витрати теплоти; 6% для наведеної витрати теплоти; 6% для інтегральної витрати енергії.

За результатами лабораторно-виробничих випробувань дослідного зразка аержолобної сушарки СУША-М за допомогою додатка редактора електронних таблиць MS Excel були побудовані графіки впливу температури агента сушіння  $t_{а.с.}$ , на продуктивність сушарки  $G_{пл.т.}$ , схожість насіння ярої пшениці після сушіння  $U_2$  і температури зерна на виході із сушарки  $t_{з.к.}$  (рис. 3.2), а також вплив

вологості відпрацьованого агента сушіння  $\varphi_{o.a.c.}$ , на фактичний  $g_{ф.}$ , і наведений  $g_{пр.}$ , витрати теплоти та інтегральна витрата енергії  $g_{ін.е.}$  (рис. 3.3).

Таблиця 1. - Техніко-енергетичні показники процесу сушіння (за результатами виробничих випробувань)

№	Температура агента сушки, тас, ° С	Витрата агента сушарки	Вологість відпрацьованого агенту сушарки	Температура відпрацьованого агента сушарки	Витрата відпрацьованого агента сушарки	Температура зерна на виході з сушарки	вологість матеріалу після сушарки	Витрата палива	Споживана потужність електроенергії	Продуктивність сушарки	Продуктивність сушарки в планових тонах	Кількість вологи, яка випарувалася	Фактична витрата теплоти	Приведена витрата теплоти	Інтегральна витрата енергії	Схожість насіння після сушарки	Схожість насіння до сушки
При сушці насіння ярової пшениці																	
1	115	2,6	72	43,3	0,08	76	13	2,7	2,7	434	0,6	33,8	3,5	3,8	4,5	44	85
2	135	2,9	85	53,4	0,06	78	10,6	4,6	3,0	681	1,0	44,2	4,5	4,8	5,4	-	85
При сушці насіння конюшини																	
3	66,6	2,4	55	33,2	0,07	37	13,5	2,0	2,7	150	0,2	13,4	6,6	6,8	7,9	85	84

Після апроксимації експериментальних даних отримано наступні математичні вирази:

- залежність продуктивності сушарки від температури агента сушіння:

$$G_{пл.т.} = 0,062e^{0,019a.c.} \quad (3.1)$$

- залежність схожості насіння після сушіння від температури агента сушіння:

$$U_2 = 307,93 + 0,015 \times t_{a.c.}^2 - 4,075 \times t_{a.c.} \quad (3.2)$$

- залежність температури зерна на виході з сушарки від температури агента сушіння:

$$t_{з.к.} = -64,345 - 0,008 \times t_{a.c.}^2 + 2,143t_{a.c.} \quad (3.3)$$

- залежність фактичної витрати теплоти від вологості відпрацьованого агента сушіння:

$$g_{\phi} = 292,97 - 0,0006 \times \varphi^3 + 0,14 \times \varphi^2 - 11,23 \times \varphi \quad (3.4)$$

- залежність приведеної витрати теплоти від вологості відпрацьованого агента сушіння:

$$g_{\text{пр}} = 310,45 - 0,0006 \times \varphi^3 + 0,15 \times \varphi^2 - 11,86 \times \varphi \quad (3.5)$$

- Залежність інтегральної витрати енергії від вологості відпрацьованого агента сушіння

$$g_{\text{ін}} = 381,35 - 0,0007 \times \varphi^3 + 0,17 \times \varphi^2 - 13,85 \times \varphi \quad (3.6)$$

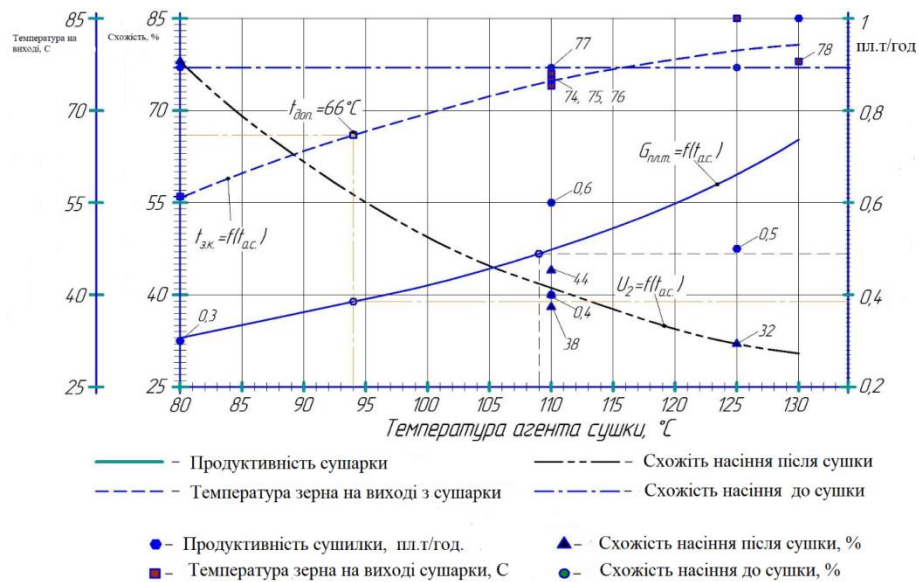
За даними досліджень допустима температура нагрівання при початковій вологості 20%, кінцевій вологості насіння пшениці 14% та тривалості сушіння 25 хвилин для насіння продовольчого призначення 66°C.

На підставі отриманих даних, математичних виразів та графічних залежностей визначено режимні параметри сушіння:

– на насіннєвому режимі температура агента сушіння становить 80°C, витрата агента сушіння – 2,3 м<sup>3</sup>/с, при цьому продуктивність становитиме 0,3 пл.т/год, схожість насіння після сушіння – 78% при початковій схожості 77%;

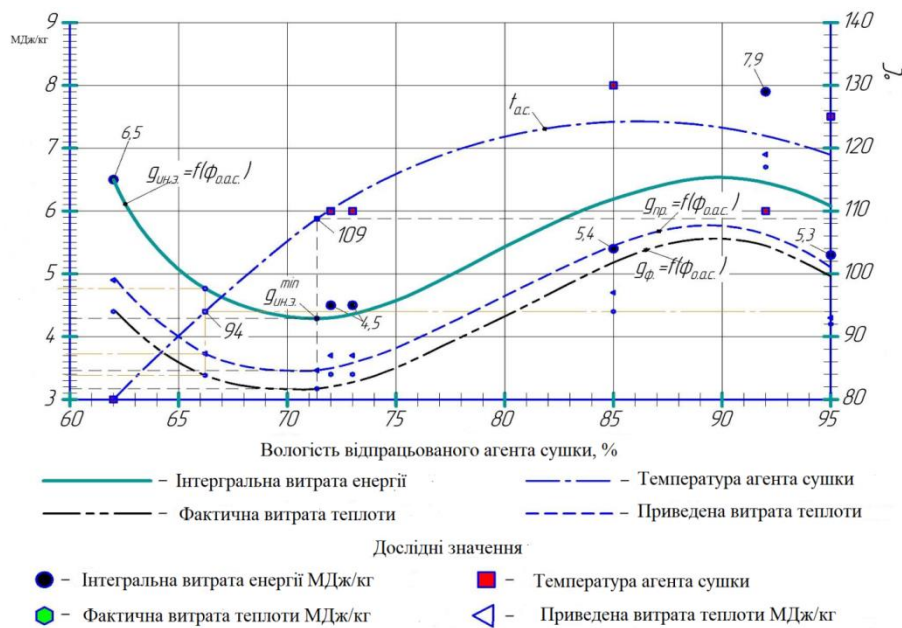
– на продовольчому режимі роботи сушарки температура агента сушіння становить 94 ° С, витрата агента сушіння – 2,5 м<sup>3</sup>/с, при цьому продуктивність складає 0,39 пл.т/год, схожість насіння після сушіння – 56% (рис. 3.1), фактична витрата теплоти – 3,4 МДж/кг<sub>вик•вл</sub>, наведена витрата теплоти – 3,7 МДж/кг<sub>вик•вл</sub>, інтегральна витрата енергії – 4,8 МДж/кг<sub>вик•вл</sub>, (рис. 3.2);





$t_{\text{доп}}$  – допустима температура нагріву зерна

Рис. 3.1. Вплив температури агента сушіння  $t_{\text{а.с}}$  на продуктивність сушарки  $G_{\text{пл.т}}$ , схожість насіння ярої пшениці після сушіння  $U_2$  та температуру зерна на виході з сушарки  $t_{\text{з.к}}$ .



$t_{\text{а.с}}$  - температура агента сушіння

Рис. 3.2. Вплив вологості відпрацьованого агента сушіння  $\phi_{\text{о.а.с}}$  на фактичний  $g_{\text{ф.}}$ , та наведений  $g_{\text{пр.}}$ , витрати теплоти та інтегральна витрата енергії  $g_{\text{ін.с}}$ .

– при сушінні зерна на фураж температура агента сушіння становить  $109^{\circ}\text{C}$ , витрата агента сушіння –  $2,5 \text{ м}^3/\text{с}$ , продуктивність становить  $0,49 \text{ пл.т/год}$

(рис. 1), фактична витрата теплоти – 3,2 МДж/кг<sub>вик.вл.</sub>, наведена витрата теплоти – 3,45 МДж/кг<sub>вик.вл.</sub>, інтегральна витрата енергії дорівнює 4,3 МДж/кг<sub>вик.вл.</sub> (рис. 2).

### **Висновки по розділу**

Виявлено, що повторне використання енергії частково відпрацьованого агента сушіння дозволяє значно знизити енерговитрати на сушіння (рис. 2), при цьому контроль даного параметра необхідно здійснювати за вологістю відпрацьованого агента сушіння і підтримувати на рівні 71,5%.

В результаті проведення аналізу насіння конюшини на схожість та енергію проростання фахівцями насінневої інспекції виявлено, що схожість після сушіння збільшилася на 1%, енергія проростання на 10%, вологість насіння після сушіння склала 10,8%.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблено спосіб керування порізністного шару, а також пристрій для здійснення даного способу на основі ультразвукових датчиків ехолокації, керуючого контролера та електроприводу керування заслінками. На основі розробленого пристрою удосконалено конструктивно-технологічну схему аерожолобної сушарки.

Розроблено аерожолобну сушарку із замкнуто-розімкнутою аеродинамічною системою та ультразвуковою системою управління подачею агента сушіння в сушильні камери, та теплогенератором прямої дії, інтегрованим у тепловентиляційну систему сушарки. Удосконалена аерозелобна сушарка має досить високі теплотехнічні показники роботи.

Отримано математичні вирази впливу температури агента сушіння на продуктивність сушарки, схожість насіння ярої пшениці після сушіння та температуру зерна на виході з сушарки, а також вираження впливу вологості відпрацьованого агента сушіння на фактичну та наведену витрати теплоти та інтегральну витрату енергії, які можуть використовуватися в системі керування процесом сушіння.

Визначено режимні параметри сушіння:

- на насінневому режимі температура агента сушіння становить  $80^{\circ}\text{C}$ , витрата агента сушіння -  $2,3\text{ м}^3/\text{с}$ ;
- на продовольчому температур агента сушіння становить  $94^{\circ}\text{C}$ , витрата агента сушіння -  $2,5\text{ м}^3/\text{с}$ ;
- при сушінні зерна на фураж температуру агента сушіння слід встановити  $109^{\circ}\text{C}$ , витрата агента сушіння –  $2,5\text{ м}^3/\text{с}$ .

Вологість відпрацьованого агента сушіння на всіх режимах необхідно підтримувати на рівні 71,5%.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дацишин О. В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв. Навчальний посібник. Вінниця: Нова Книга, 2008. 488с.
2. **Консевич С. М.** Результати виробничих випробувань аерожолобної сушарки з удосконаленою конструктивно- технологічною схемою. Студентські читання–2022: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 30 листопада 2022 р. Житомир: Поліський національний університет 2022. С. 21-24
3. Кухарець С. М., **Консевич С. М.** Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми повітрообмінника. *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. 301-302.
4. **Консевич С. М.** Аналіз вітчизняних та зарубіжних конструкцій аерожолобних сушарок. *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. 267-270.
5. Боуманс Г. Эффективная обработка и хранение зерна. Москва : Агропромиздат, 1991. 608 с.
6. Юдаев Н. В. Элеваторы, склады, зерносушилки. СПб.: ГИОРД, 2008. 128с.
7. Гулий І.С. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Вінниця. Нова книга 2001. 526 с
8. Мельник Б. Е. Технология приемки, хранения и переработки зерна. Москва : Агропромиздат, 1990.

9. Боуманс Г. Эффективная обработка и хранение зерна. Москва : Агропромиздат, 1991. 608 с.
10. Стародубцева А.И. Практикум по хранению зерна. -3-є изд., перераб. и доп. Москва : Агропромиздат, 1987. 192с.
11. Мирончук В.Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Вінниця 2004. 288с.
12. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Самойленко К.М. Эффективні технології сушіння насіння овочів. Монографія. Вінниця: видавництво «РВВ ВНАУ», 2019. 129 с.
13. Фесенко А.В. Теоретическое исследование процесса сушки зерна в псевдооживленном слое с прерывистой подачей теплоносителя. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. Харків, 2005. – Вип. 40. С. 157–161.
14. Сільське господарство України : Стат. щоріч. за 2021 рік за заг. кер. Ю. М. Остапчука ; Держкомстат України. Київ, 2012. 386с.
15. Matkivska I. Ja., Atamanyuk V. M., Symak D.. Basic regularities of the filtration drying of wheat grain. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. №5/5(71). P. 14-18.
16. Берегова О. М., Станкевич Г. М. Дослідження процесу сушіння насіння ріпаку. *Вісник харківського державного університету сільського господарства*. 2001. Вип. 5. С. 282 – 287.