

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Онищук Віталій Олександрович

УДК 631.365

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Удосконалення системи управління експозицією
сушки зерна в аерожолобній сушарці**

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

_____ Онищук В.О.

Керівник роботи

Дерев'янку Д.А.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Онищук Віталій Олександрович. Удосконалення системи управління експозицією сушки зерна в аерожолобній сушарці. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

В магістерській роботі розроблено спосіб управління експозицією сушіння зерна без використання вологомірів, що ґрунтується на постійному контролі температури насіння і пошуку ділянки на кривій зміни температури, на якій відбувається температурний стрибок через зневоднення насіння. Лабораторні дослідження засвідчили, що інтенсивне підвищення температури зерна колосових культур відбувається при досягненні ним вологості 15...16%, близької до кондиційної.

Розроблено пристрій керування експозицією сушіння зерна, який містить корпус із датчиками, з'єднаними з вимірювальною схемою індикаторного блоку, мікропроцесор, блок корекції, зворотні зв'язки мікропроцесора, пов'язані з приводом дозатора зерносушарки, та дисплей із блоком вибору контрольованої зернової культури, пов'язаний із мікропроцесором.

У виробничих умовах під час сушіння високовологого насіння сої в аерожолобній сушарці щільного шару за допомогою розробленого пристрою визначається час закінчення теплового впливу на насіння під час досягнення ним вологості 11,4...12,0%, що відповідає вимогам міждержавного стандарту. Сушіння, з метою унеможливлення псування зерна від перегріву, рекомендується припинити, а 1...2 % вологи, що залишилися, знімати під час охолодження, при цьому схожість зерна підвищується на 4,5% і унеможлиблюється перевитрата енергії на пересушування матеріалу.

Ключові слова: сушіння, зерно, насіння, продуктивність, аерожолобна сушарка.

ANNOTATION

Onyshchuk Vitalii Oleksandrovysh. Improvement of the control system of grain drying exposure in an air-roll dryer. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

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

In his master's thesis, he developed a method for controlling the exposure of grain drying without the use of moisture meters, based on constant monitoring of seed temperature and searching for a section on the temperature change curve where a temperature jump occurs due to dehydration of the seeds. Laboratory studies have shown that an intense increase in the temperature of spiked grain occurs when it reaches a moisture content of 15...16%, close to the conditioned moisture content.

A grain drying exposure control device has been developed, which contains a housing with sensors connected to the measuring circuit of the indicator unit, a microprocessor, a correction unit, microprocessor feedback connected to the grain dryer metering drive, and a display with a controlled grain crop selection unit connected to the microprocessor.

In production conditions, during the drying of high-moisture soybean seeds in a dense layer air-roof dryer, the developed device determines the time of termination of thermal exposure to the seeds when they reach a moisture content of 11.4...12.0%, which meets the requirements of the international standard. In order to prevent grain spoilage due to overheating, it is recommended to stop drying, and remove 1...2 % of the remaining moisture during cooling, while grain germination increases by 4.5 % and energy consumption for overdrying the material is prevented.

Keywords: drying, grain, seeds, productivity, air blade dryer.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ СУШІННЯ ЗЕРНА ТА АНАЛІЗ ВІДОМИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕКСПОЗИЦІЄЮ СУШІННЯ.....	9
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ЗАКІНЧЕННЯМ СУШІННЯ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ КОЛОЇДНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	22
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	33
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Великий вплив на економіку, продовольчу безпеку країни має виробництво зерна. У Китаї, Індії, Україні, США, Франції, Канаді виробляється 55,4% світового обсягу зерна. Згідно з останнім повідомленням ФАО до 2050 року в усьому світі буде потрібен приріст сільськогосподарського виробництва на рівні 48,6%, зокрема на південь від Сахари та в Південній Азії – на 112,4%, і в решті світу – на 34,2%.

Виробництво зерна становить основу агропромислового комплексу Російської Федерації і є найбільшою підгалуззю сільського господарства, від розвитку якої значною мірою залежить продовольча безпека країни, забезпеченість населення продуктами харчування та його рівень життя, фінансовий стан сільськогосподарських товаровиробників. Відповідно до положень Доктрини продовольчої безпеки України: порогове значення питомої ваги зерна вітчизняного виробництва в загальному обсязі ресурсів зерна внутрішнього ринку має становити не менше 98 відсотків. Останніми роками цей показник не опускався нижче зазначеного рівня.

Виробництво зерна має бути нерозривно пов'язане з підвищенням його якості, одним із головних показників якої є вологість. За нею визначають початок збирання, встановлюють режим обмолоту та сушіння. Зберігання зерна за його вологості, вищої за критичну, призводить до значного погіршення його якості та втрат великих мас через самозігрівання.

Сушіння зерна – найенергоємніша і найдорожча операція під час його післязбиральної обробки, що потребує великих витрат палива та електричної енергії для роботи сушарок. При виробництві зерна прямі енерговитрати на його сушіння становлять до 35% і в собівартості сушіння 70...75% . Значення сушіння зростає зі збільшенням обсягів виробництва зерна.

Тільки в деяких південних регіонах країни під час післязбиральної обробки зерна не потрібне сушіння зерна. В інших регіонах ймовірність сприятливих

погодних умов під час збирання коливається від 20-30% у північній частині зони та 40-60% у центральній частині. Велика кількість опадів, висока відносна вологість повітря та низькі температури зумовлюють малу ймовірність кондиційної вологості зерна. Близько 50...70% валового збору зерна потребує сушіння. Зернова маса, що надходить із поля, може мати підвищену вологість, що призводить до збільшення інтенсивності дихання маси, внаслідок чого відбувається втрата життєздатності зерна. Тому важливо забезпечити активне вентилявання вологого зернового вороху перед його зневодненням до кондиційної вологості.

Нині понад 50% отриманого врожаю зернових піддається тепловій обробці, тому правильно організоване сушіння, яке вчасно проводять, дає змогу не тільки знизити вологість сирого зерна, а й прискорити післязбиральне дозрівання, а також вирівняти зернову масу за вологістю та ступенем зрілості. При цьому підвищуються енергія проростання і схожість, поліпшуються технологічні властивості зерна.

Наразі в усьому світі існує проблема для точного визначення вологості зерна під час його сушіння як у потоці, так і на портативних пристроях. Усім вологомірам притаманні однакові недоліки, як-от складність конструкції, висока похибка вимірювань, труднощі встановлення в технологічну схему сушарки та висока вартість.

Високі похибки вимірювань спричинені особливостями процесу сушіння. Фізико-механічні властивості зернової купи, що надходить на сушіння, мають стохастичний характер, сильно залежать від параметрів навколишнього середовища, особливо в зонах підвищеного зволоження.

Під час експлуатації сушарок, оснащених кондуктометричними або діелькометричними потоковими вологомірами, через похибку їхніх вимірів на виході із сушарки спостерігається розкид вологості зерен від 11 до 17%, за умови кондиційної – 14%. За пересушування зерна нераціонально витрачається велика кількість теплової енергії - близько 58,3 МДж на 1% зайво випаруваної вологи

висушеної тонни зерна. При недосушуванні оператор змушений здійснювати повторний пропуск зерна через сушарку, при цьому значно знижується її продуктивність і підвищується травмування вологих зернівок від їхньої надмірної взаємодії з робочими органами транспортерів і сушарки. Тому нині використання наявних потокових вологомірів у зерносушарках неминуче призводить до зниження якості та підвищення собівартості готової продукції [5].

Технічна реалізація засобів вимірювання вологості зерна в потоці з метою вдосконалення систем управління експозицією сушіння зерна потребує розроблення нових способів визначення закінчення сушіння, які реалізуються автоматичними системами.

Об'єкт наукового дослідження: спосіб і пристрій своєчасного виведення зерна із сушильної камери.

Предмет наукового дослідження: закономірності та взаємозв'язок зміни вологості й температури зерна в процесі його сушіння.

Метою роботи є розробка пристрою, що визначає необхідність закінчення сушіння за характером зміни температури зерна в процесі його зневоднення.

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

- розробити пристрій керування експозицією сушіння зерна у високотемпературних сушарках;
- отримати аналітичні вирази для визначення закінчення сушіння зерна.

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

Дослідження проведено на основі системного підходу до комплексу теоретичних і експериментальних результатів, отриманих за допомогою

класичних математичних, фізичних, статистичних методів, а також експериментальних досліджень у лабораторних і виробничих умовах.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Онищук В. О.** Аналіз способів сушіння зерна. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 208-210.

2. Дерев'янка Д. А., **Онищук В. О.** Аналіз відомих систем керування експозицією сушіння. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 290-293.

3. Дерев'янка Д. А., **Онищук В. О.** Обґрунтування способу контролю та керування закінченням сушіння капілярно-пористих колоїдних матеріалів. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для виробництва представляє розроблений пристрій керування експозицією сушіння зерна в аерожолобній сушарці для визначення закінчення процесу сушіння замість потокових вологомірів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 42сторінки комп'ютерного тексту, містить 25 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СПОСОБІВ СУШІННЯ ЗЕРНА ТА АНАЛІЗ ВІДОМИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕКСПОЗИЦІЄЮ СУШІННЯ

На сорбційних властивостях зерна і насіння засновані всі способи сушіння. Сушіння зерна є не тільки теплофізичним, а й технологічним процесом, основна мета якого отримати продукт з оптимальними властивостями. Цією метою і визначається вибір способу сушіння, конструкція сушильної установки та режим її роботи. Сушіння вологого зерна здійснюється різними способами і зводиться до двох основних принципів [15]:

- видалення вологи із зерна без зміни її агрегатного стану, тобто у вигляді рідини;
- видалення вологи із зерна зі зміною її агрегатного стану, тобто шляхом перетворення її на пару.

Використання окремих способів сушіння зумовлене енергією зв'язку вологи із зерном. Щоб видалити вільну вологу, не змінюючи її агрегатного стану, необхідно подолати лише гідравлічний опір твердого тіла. Під час видалення зв'язаної вологи зі зміною її агрегатного стану енергія витратиться на подолання сили цього зв'язку, а також на теплоту пароутворення. Таким чином, видалення вільної вологи без зміни її агрегатного стану потребує менших витрат енергії, ніж теплове сушіння. Недоліком цього принципу зневоднення є його обмежена застосовність [15].

Перший принцип зневоднення можна здійснити механічним способом і шляхом фільтрації, пресування, центрифугування, сорбційним способом за безпосереднього контакту вологого матеріалу з більш гігроскопічними речовинами, такими як силікагель, тирса, сухе зерно, та акустичним способом.

При сорбційному способі вологе зерно змішують із вологопоглиначем силікагелем, хлоридом калію, тирсою, який вбирає в себе вологу. Потім сорбент відокремлюють від зерна, висушують і знову використовують. Сорбційний

спосіб застосовують для сушіння насіння з низькою терmostійкістю, такого як горох, боби тощо. При сорбційному сушінні не потрібна теплота для нагріву та енергія для вентиляції, воно забезпечує збереження якості матеріалу, особливо насінневого. Однак, таке сушіння потребує додаткових приміщень для виділення та висушування вологопоглинача і дуже тривале – 1-2 тижні [15].

Під час акустичного сушіння волога екстрагується з оброблюваного зерна під дією ультразвукових хвиль. Зерно зберігає вихідні біологічні властивості, якщо сушіння протікає без підвищення температури [15].

Для того щоб видалити міцно зв'язану вологу, застосовують теплове сушіння. Виходячи з цього, під час використання теплового сушіння витрачається теплота на зміну агрегатного стану води, відбувається процес переходу її з рідкого стану в газоподібний [15].

Спосіб, у якому відбувається зіткнення вологого матеріалу і нагрітої поверхні при отриманні теплоти безпосередньо від цієї поверхні, називають контактним або кондуктивним. За цього способу нагрівання зерна в шарі відбувається нерівномірно. Насіння, що контактує з гарячою поверхнею, нагрівається сильніше, ніж віддалене. Високий коефіцієнт тепловіддачі забезпечує перевагу контактного сушіння перед конвективним. Контактним способом можна сушити за нормального тиску або у вакуумі. Що більший вакуум, то інтенсивніше випаровування вологи з матеріалу [15].

Для сушіння рослинних харчових матеріалів практичного застосування набули короткохвильові інфрачервоні промені (ІКП) з довжиною хвилі 1,6...2,5 мкм. За характером випромінювачів ІКЛ розрізняють сушарки з електричним і газовим обігрівом. Сушарки, в яких встановлений електричний обігрів, мають перевагу в тому, що вони компактні, прості в обігу та експлуатації, безінерційні, але їхнє застосування обмежується високими витратами електроенергії та нерівномірністю сушіння. Найбільш економічними є сушарки з газовими панельними випромінювачами, вони забезпечують більш рівномірне сушіння.

Під час переміщення вологи з товщі матеріалу до поверхні в результаті сушіння ІКЛ створюється перешкода у вигляді температурного градієнта. Доцільно застосовувати переривчасте опромінення - імпульсне сушіння, за якого в період опромінення поверхня матеріалу швидко нагрівається і зневоднюється, а в період відволожування волога від внутрішніх шарів матеріалу переміщається до зовнішніх. Не зважаючи на низку переваг, сушіння ІКЛ не набуло широкого розповсюдження через нерівномірне нагрівання матеріалу, низький ККД генераторів інфрачервоного випромінювання та значну витрату електричної енергії - щонайменше 1,5 кВт·год на 1 кг випаровуваної вологи

Сублімація або молекулярне сушіння здійснюється в умовах глибокого вакууму – 13,3...133,3 Па. Спочатку теплота, яка потрібна для випаровування вологи, відводиться від висушеного матеріалу, внаслідок чого температура його знижується, а волога, що залишилася в ньому, заморожується і виходить на поверхню у вигляді кристаликів льоду. Далі, під дією теплового потоку, лід випаровується і перетворюється на водяну пару, минаючи рідку фазу. Молекулярна структура і початкові властивості матеріалу при цьому повністю зберігаються. Цей спосіб застосовують для сушіння фруктів, овочів, м'яса, різних біологічних препаратів. З причин порівняно низької продуктивності сублімаційних сушарок, високої вартості сушіння і складності обладнання великого поширення цей спосіб не набув [15].

Відоме сушіння струмами високої та надвисокої частот (ТВЧ і НВЧ). Матеріал, який є діелектриком, поміщається в електричне поле між двома пластинами – обкладками конденсатора. Молекули матеріалу поляризуються і приводяться в коливальний рух, що супроводжується тертям частинок і нагріванням. Волога, яка виділяється внаслідок нагрівання і випаровування, видаляється разом із повітрям, що поглинуло її. Оскільки нагрівання починається в центрі, температурний градієнт збігається з градієнтом вологості, посилюючи міграцію вологи до периферії. Протягом кількох секунд відбувається нагрівання матеріалу рівномірно по всій товщині. Сушіння зерен струмами СВЧ

і ВЧ не знайшло широкого застосування з причин великої витрати електроенергії - 2,5 ... 5 кВт·год на 1 кг випаровуваної вологи і складністю обслуговування установок з високою напругою, не дивлячись на перераховані переваги [15].

За конвективного способу сушіння теплота, необхідна для нагріву зерна, передається йому конвекцією від рухомого нагрітого повітря або його суміші з продуктами горіння, що називається агентом сушіння. Взаємодіючи із зерною масою, агент сушіння забезпечує тепло і масообмін, зерно нагрівається, волога випаровується, поглинається газами і виноситься в навколишнє середовище. Агент сушіння може рухатися в різних напрямках: у разі збігу з напрямком руху матеріалу прямотоком, у разі руху в протилежному напрямку - протитечією, у разі напрямку, перпендикулярного до руху матеріалу, - перехресним потоком.

Відома конвективна сушка в розпушеному або "киплячому" шарі, коли зерно продувається потоком агента сушіння зі швидкістю 10...12 м/с. У таких сушарках процес сушіння протікає інтенсивно, проте більшу частину часу процес протікає неефективно, тому що сушильний агент відпрацьовується не повністю – викидається з сушарки з високою температурою і низькою відносною вологістю. Тому сушарки киплячого шару на практиці не знайшли широкого застосування для сушіння зерна [15].

Конвективне сушіння шару зерна, що пересипається, проводять у сушарках барабанного типу, в яких зерно піднімається лопатями в барабані, що повільно обертається. Продуктивність таких сушарок не більше 8 планових т/год, а знімання вологи за один пропуск становить 3...5 %. Основним недоліком таких сушарок є високі питомі енерговитрати – до 12 МДж на кг випаровуваної вологи [15].

Конвективне сушіння реалізують у падаючому шарі. При використанні сушарок такого типу агент сушіння використовують із температурою 350...400°C. Зерно в камері нагрівання перебуває лише кілька секунд і встигає нагрітися до температури 50...60°C, вологість його при цьому зменшується на 0,7% [15].

За конвективного сушіння застосовують рециркуляцію - повертають частину підсушеного зерна назад у камеру нагрівання для перемішування з вологим зерном. Такі цикли нагрівання, відлежування та охолодження багаторазово повторюються [15].

Нині широкого поширення став набувати рециркуляційно-ізотермічний спосіб сушіння, як найбільш передовий. Тут також застосовують тимчасове нагрівання зерна, що надходить. Такий спосіб сушіння скорочує число циклів рециркуляції, це веде до зменшення витрат електроенергії на транспортування зерна. Крім того, при використанні такого способу зменшується ризик травмування поверхні зерна, що особливо важливо для насінневого зерна, рису, бобових культур. Застосування рециркуляційно-ізотермічного сушіння допомагає поліпшити якість зерна, разом із цим, зменшуються витрати на паливо та електроенергію порівняно з іншими різновидами конвективного сушіння.

Конвективне сушіння можна вести на майданчиках і складах атмосферним повітрям з використанням пристроїв активного вентилявання [15].

Останніми роками, безперечно, виокремлюють переваги комбінування різних способів сушіння, як правило, конвективний поєднують з контактним, променистий з електричним, сублімаційний з променистим. Застосування змішаних способів сушіння дає змогу прискорити його процес, скорочує витрату енергії та дає змогу домогтися більш гнучкого управління процесом, а також зберігає цінні якості висушеного зерна. Наприклад, застосування конвективно-високочастотного способу підведення теплоти, що поєднує швидкий нагрів у полі ТВЧ з інтенсивним випаровуванням вологи, яку забирає потік нагрітого повітря, дає змогу більш ніж удвічі скоротити витрату електроенергії, якщо порівнювати з конвективним способом сушіння, за умови зниження градієнта температури, який зумовлює збереження, а іноді й поліпшення властивостей матеріалів, що висушуються [15].

Автоматизоване керування процесом сушіння підвищує культуру експлуатації та ККД сушильної установки, збільшує її продуктивність, покращує

якість сушіння, підвищує надійність роботи, полегшує умови праці та дає змогу скоротити кількість персоналу, що обслуговує сушарку [16].

Автоматизацію шахтної сушарки розглянемо на прикладі сушарки СЗШ-16. Усі сушарки відрізняються від інших об'єктів керування великою кількістю вхідних і вихідних параметрів і складністю зв'язків між ними (рис. 1.1).

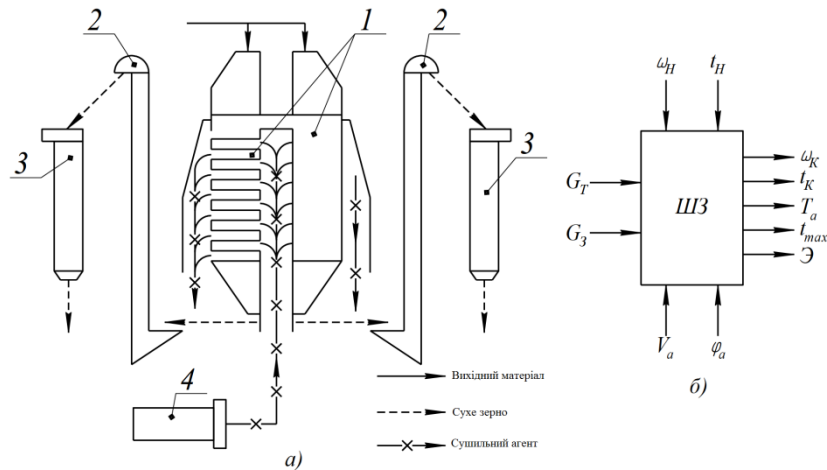


Рис. 1.1. Схема шахтної зерносушарки: а – функціональна; б – параметрична [16].

Головні вихідні параметри процесу – вологість і температура на виході із сушарки, а також деякий показник E , що характеризує роботу зерносушарки. До числа параметрів, які безпосередньо впливають на регульовані параметри, відносять також температуру сушильного агента. Як регульовальні впливи використовують зміну подачі палива і зерна. Решта вхідних параметрів, зокрема початкові вологість і температура зерна, витрата сушильного агента і його вологість належать до групи збурливих впливів.

Шахтна сушарка, як об'єкт автоматизації, характеризується складною системою взаємних зв'язків між вихідними, регульовальними і збуджувальними впливами та регульованими параметрами. Структурну схему об'єкта показано на рис. 2. Керування сушаркою має бути оптимальним з погляду обраного показника ефективності E .

Автоматичне регулювання температури сушильного агента здійснюють шляхом зміни подачі палива у форсунку топкового блоку (рис. 1.3) або зміною

кількості зовнішнього повітря, що підсмоктується вентилятором. Передавальна функція об'єкта $W_1(p)$ за каналом Г-Т характеризується відносно невеликою постійною часу 260 с і запізненням 60 с [16].

Чутливий елемент регулятора може встановлюватися одразу після топкового блоку, тоді регулювати температуру сушильного агента по зонах сушіння можна здійснити зміною підсмоктування зовнішнього повітря.

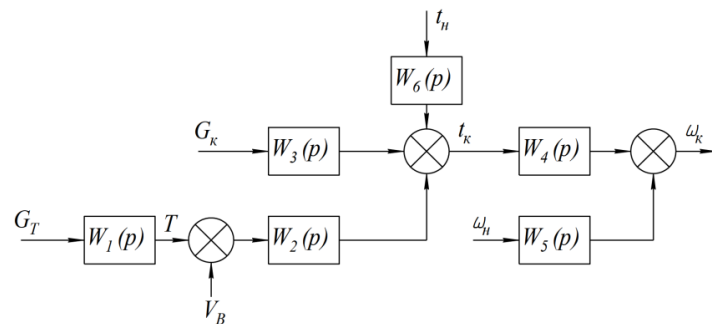


Рис. 1.2. Спрощена структурна схема шахтної зерносушарки, як об'єкта керування [16].

Завдання регулятора іноді доцільно коригувати залежно від вологості вихідного зерна.

Автоматично регулювати максимально допустиму температуру нагрівання зерна можна шляхом підтримання температури сушильного агента в останній зоні сушіння, тобто в передостанньому ряді коробів сушильної камери, за рахунок зміни об'єму зовнішнього повітря, що підсмоктується вентилятором (рис. 1.3) [16].

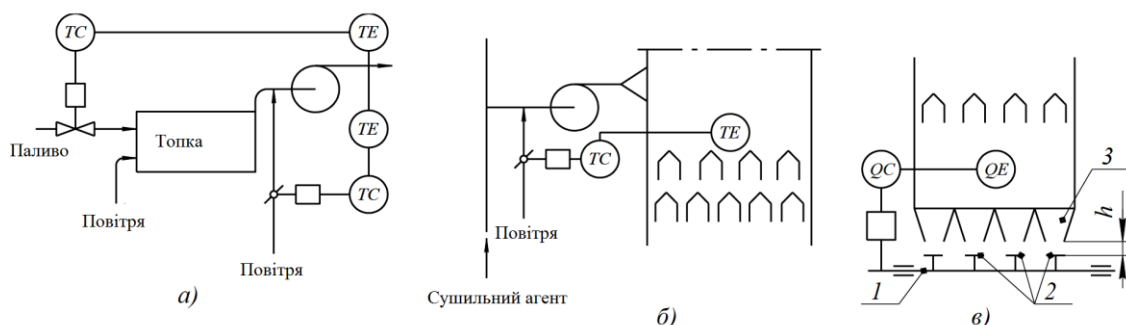


Рис. 3. Структурна схема систем регулювання температури: а – сушильного агента; б – максимальною температурою нагрівання зерна; в – кінцевою вологістю зерна [16].

Автоматичне регулювання вологості зерна можна здійснити шляхом зміни продуктивності сушарки, і зробити це можливо шляхом зміни положення випускного механізму (рис. 3). Найкращі можливості в цьому плані має випускний механізм сушарки СЗШ-16А, що розташований у нижній частині шахти. Він складається з таких елементів: каретки 1 із закріпленими на ній полицями 2, що перекривають перетин вихідних лотків 3 шахти. Продуктивність сушарки можливо регулювати таким чином, змінюючи зазор h між полицями та вихідними лотками. При цьому є потреба системи стабілізації рівня зерна в приймальному бункері за допомогою двопозиційного регулятора, що керує норією завантаження. Контроль рівня при цьому здійснюють на приймальному бункері двома датчиками рівня мембранного типу [16].

Контроль кінцевої вологості зерна здійснюється за допомогою діелькометричного та кондуктометричного вологоміра. В одному і в іншому випадках потрібне коригування отриманих даних приладу залежно від температури зерна. Комбінований перетворювач, який вимірює обидва параметри, встановлюється в потоці зерна нижче від зони нагрівання. Результати, отримані під час вимірювання вологості зерна на вході в сушарку, можуть використовуватися в системі комбінованого регулювання для корекції керуючого впливу. У вологомірів, що випускаються серійно, є складнощі в налаштуванні їх, необхідності проводити корекцію не тільки за температурою, а й за видом і сортом зернобобових культур [16].

Автоматизацію колонкових сушарок розглянемо на прикладі зерносушарки СЗК-8 з можливістю рекуперації тепла (рис. 1.4) [16].

Топкові агрегати АТ-0,3 у складі сушарки СЗК-8 мають автономне керування, що автоматично забезпечує пуск і здатне підтримувати температуру теплоносія на заданому рівні (у межах 40...100 °С). Перший агрегат з'єднаний із камерою нагрівання зерна, а другий - із камерою сушіння [16].

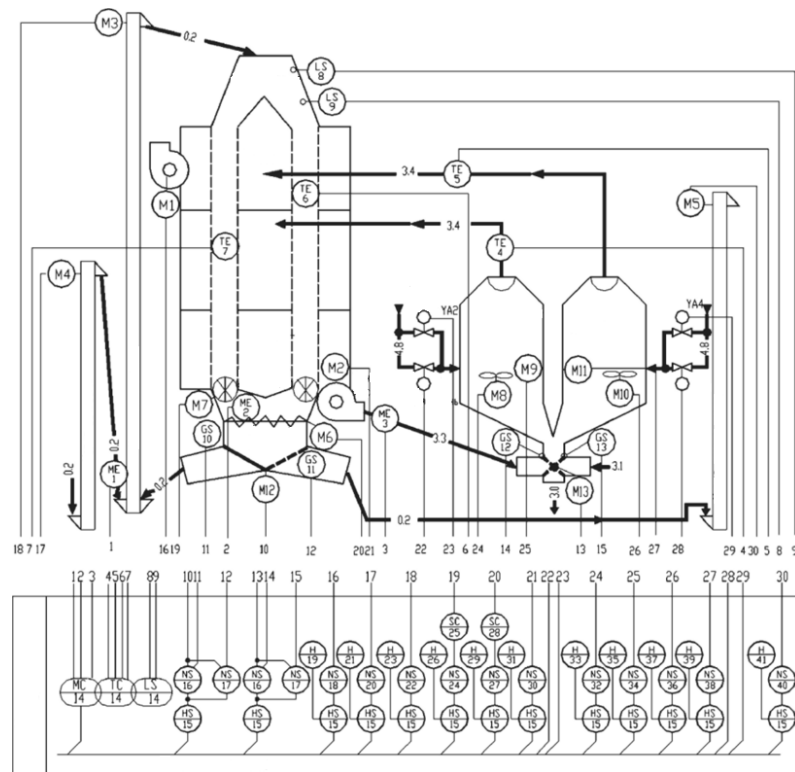


Рис. 1.4. Схема автоматизації сушарки СЗК-8: 0.2 – зерно; 4.8 – паливо.

Топкові агрегати АТ-0,3 у складі сушарки СЗК-8 мають автономне керування, що автоматично забезпечує пуск і здатне підтримувати температуру теплоносія на заданому рівні (у межах 40...100 °С). Перший агрегат з'єднаний із камерою нагрівання зерна, а другий - із камерою сушіння [16].

Мікропроцесорна система управління 14 змінює пропускну спроможність сушарки залежно від вихідної та кінцевої вологості зерна.

Є можливість візуально контролювати перебіг технологічного процесу і за потреби коригувати його за рахунок інформації про параметри сушіння, яка виводиться на панель оператора. Температура і подача теплоносія регулюються автоматично, окремо для кожної камери, залежно від температури нагріву зерна (ТЕ(6 і 7)). За вологості сирого зерна менше 22 %, вимірюваної вологоміром МЕ1, механізм М13 перемикає потоки теплоносія на рекуперацію. У разі відхилення від норми температури (ТЕ (6 і 7)) або вологості зерна на виході (МЕ2) пристрій управління 14 видає команду випускним пристроям М6 і М7 про збільшення або зменшення швидкості переміщення зерна по колонках за допомогою перетворювача частоти SC та/або зміну режиму роботи відповідного

теплогенератора (перейти з "великого" (клапани YA2 і YA4) на "малий" вогонь (клапани YA1 і YA2) і навпаки) [16].

На початковому етапі сушіння зерно пропускають на повторне сушіння через перекидний клапан M12. У разі стабілізації режиму сушіння до кондиційної вологості клапан встановлюється на вивантаження зерна з сушарки.

Безконтактні датчики рівня LS використовуються для контролю верхнього і нижнього рівня в бункері сушарки [16].

Від теплогенератора 2 в камеру нагрівання надходить теплоносіє. Пройшовши крізь шар зерна, теплоносіє віддає тепло, насичується вологою і далі вентилятором M1 викидається назовні. У камері сушіння зерно має меншу вологість, ніж у зоні нагріву, і піддається більшій температурі теплоносія, який, пронизуючи зерно, насичується вологою меншою мірою. Вентилятор рекуперації M2 подає повітряні потоки з камер сушіння та охолодження до розподільника M13, який залежно від вологості відпрацьованого теплоносія ME3 встановлює розподільник на викид теплоносія або на його повторне використання.

У теплогенераторах повітря підігрівається в теплообміннику. Паливо згорає в камері згоряння. Продукти згоряння не змішуються з теплоносієм і викидаються назовні. Для контролю температури теплоносія використовуються термометри опору TE (1 і 2) з уніфікованим аналоговим виходом 4...20 мА.

Принцип роботи автоматики барабанних сушарок: вологий матеріал із бункера 1 (рис. 1.5) дозатором 2 подається в барабан 5.

Під час обертання барабана частинки матеріалу переміщуються вздовж його осі під деяким кутом. У такому ж напрямку по барабану проходить сушильний агент, який нагріває висушуваний матеріал і відводить від нього випаровувану вологу. Висушений матеріал зсипається з барабана в бункер 6, а повітря через циклон 7 відсмоктується вентилятором 8 [16].

Весь процес сушіння може регулюватися за вологістю сушильного агента на виході з барабана. Регулятор вологості впливає на подачу палива в топку

сушарки. Через те, що температура сушильного агента по довжині барабана приблизно відповідає вологості висушеного матеріалу, подачу палива можна відрегулювати за температурою вологого повітря на виході з сушарки. Але за будь-якого розкладу, завдання регулятора необхідно коригувати за отриманими результатами лабораторного аналізу залишкової вологості висушеного матеріалу [16].

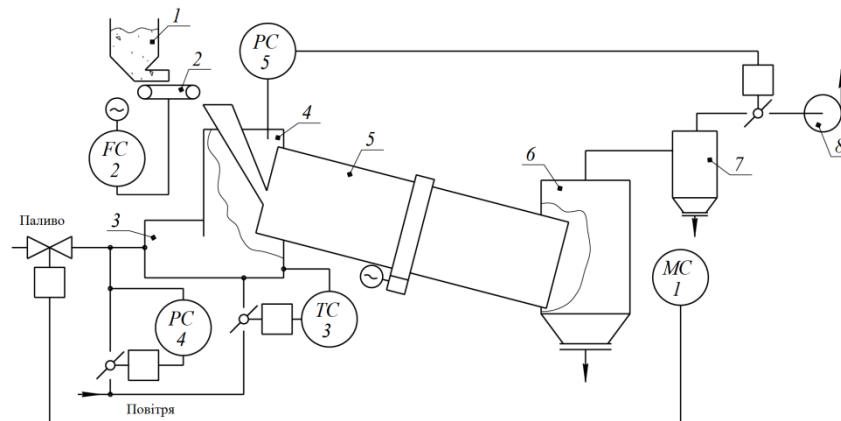


Рис. 1.5. Функціональна схема автоматизації барабанної сушарки [16].

Можлива стабілізація продуктивності сушарки дозатором стрічкового типу. У разі зміни кількості матеріалу на стрічці регулятор 2 виробляє сигнал, який прискорює рух стрічки або навпаки уповільнює [16].

Режим роботи топки контролюється регулятором 4, що стабілізує тиск повітря перед пальником, і регулятором 3, який стабілізує температуру повітря на вході в барабан. Також має бути стабілізована швидкість руху сушильного агента вздовж барабана. Цю величину встановлюють з урахуванням того, що за високих швидкостей хоча й збільшується швидкість сушіння, але при цьому й зростають втрати теплоти з відпрацьованим сушильним агентом. Завдання стабілізації цього параметра виконує регулятор 5, який підтримує розрідження в сушильній камері завдяки зміні положення регулювальної заслінки на всмоктувальній магістралі вентилятора 8.

У тому разі, якщо вихідна вологість висушеного матеріалу вельми змінюється, показана на малюнку 4 схема не забезпечує потрібної якості кінцевого продукту через велике запізнювання в об'єкті. Стандартне рішення під

час автоматизації об'єктів із незадовільними динамічними характеристиками - перехід до багатоконтурної системи автоматичного регулювання.

Велику увагу автоматизації сушарок також приділяють і за кордоном [46]. Більшість фірм виробляють сушарки, які забезпечуються досить великим комплектом приладів для контролю за роботою механізмів. Так, наприклад, фірма Stela розробила і поставляє прилади, які контролюють подачу вологого і вивантаження висушеного матеріалу, роботу двигунів і приводу вентилятора і транспортера, роботу пальника, температуру теплоносія.

Максимальний інтерес представляють використовувані за кордоном системи автоматичного регулювання технологічних параметрів процесу сушіння - температури агента сушіння, температури зерна і його вологості.

Термореле, за допомогою вмикання і вимикання насоса пальника, регулює температуру агента сушіння. Таким чином, зміна температури агента сушіння має коливальний характер, причому коливання температури залежать від динамічних характеристик сушарки.

Системи автоматичного регулювання температури зерна вимірюють температуру в зоні найбільшого нагрівання. Регулювання, як правило, здійснюють зміною швидкості вивантаження зерна із сушарки.

Системами автоматичного регулювання вологості зерна обладнуються сушарки безперервної та періодичної дії.

У сушарках безперервної дії вологість зерна в процесі сушіння вимірюється вимірювальним перетворювачем, який встановлюється в нижній частині сушильної камери. Регулятор підтримує задане значення вологості шляхом увімкнення та вимкнення розвантажувального пристрою. Таким чином, із сушарки вивантажується зерно тільки заданої вологості. Плавна зміна швидкості електродвигуна може допомогти в тому разі, якщо потрібне безперервне розвантаження.

Також за кордоном великого поширення набуває управління процесом сушіння за допомогою комп'ютерів. Наприклад, фірма Shivers використовує

пристрій Comp-U-Dry, який може встановлюватися в сушарки різного типу. Комп'ютер дає змогу контролювати, відповідно до заздалегідь введених даних, технологічні параметри процесу сушіння і, в разі їх виходу із зазначеного діапазону, формує сигнал керуючого впливу на відповідний виконавчий елемент.

На підставі викладеного можна стверджувати, що всі відомі системи управління експозицією сушіння зерна мають у своїй конструкції потокові вологоміри.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ЗАКІНЧЕННЯМ СУШІННЯ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ КОЛОЇДНИХ МАТЕРІАЛІВ

Проаналізувавши наявні конструкції потокових вологомірів і способи визначення вологості матеріалів, за допомогою якого можливе управління експозицією сушіння зерна в періодичному і безперервному режимах роботи сушарки [17].

Для пояснення ідеї розглянемо кінетику протікання процесу сушіння, властиву вологим капілярно-пористим колоїдним тілам, до яких належить зерно, насіння трав, олійних культур під час їхньої взаємодії з повітрям. Очевидно, що криві сушіння (рис. 1) корелюються, що дає змогу під час аналізу змін характеру однієї кривої об'єктивно судити про зміну інших. Особливий інтерес представляє точка "А", яка є точкою перегину, у цей момент відбувається температурний стрибок під час переходу зерна з періоду "сталого швидкості сушіння" до періоду "швидкості сушіння, що падає" - момент часу, в який необхідно завершити сушіння [17].

Пропонуємо використовувати ці закономірності для контролю та в управлінні процесом зміни вологості матеріалу за характером зміни його температури, що має яскраві відмітні особливості в кожному періоді сушіння.

Спосіб управління експозицією сушіння зерна у високотемпературних сушарках ґрунтується на одночасному контролі температури нагріву матеріалу по всій довжині сушильної камери датчиками температури, значення якої, передані в мікроконтролер, періодично апроксимуються поліномом третього ступеня. Далі знаходиться похідна функція другого порядку, і визначається критична точка другого порядку, водночас перевіряється дотримання умови - у точці перегину функції її друга похідна дорівнює нулю. Для того щоб переконатися в тому, що знайдена точка є точкою перегину, перевіряють ще

одну умову - третя похідна не повинна дорівнювати нулю. Отримані дані про місцезнаходження зерна, що має кондиційну вологість, зіставляються з максимальною довжиною шляху зерна по сушильній камері для подальшого впливу на вивантажувальний пристрій [17].

Розроблений спосіб забезпечує постійний контроль температури зерна, унеможливлуючи його перегрівання, а також необхідний час температурного впливу агента сушіння на зерно, підвищення надійності, якості процесу сушіння та зниження енерговитрат [17].

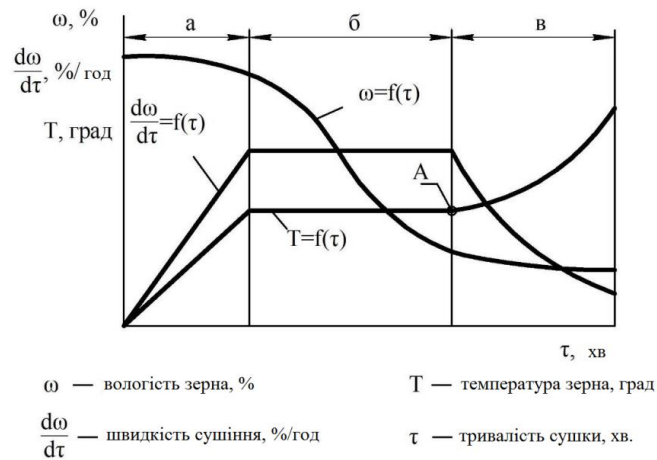


Рис. 2.1. Типові криві сушіння капілярно-пористих колоїдних матеріалів: а – період прогрівання; б – період постійної швидкості сушіння; в – період падаючої швидкості сушіння; А – критична точка [17].

Розроблено пристрій контролю вологості зерна в потоці зерносушарки, що містить корпус із датчиком, сполученим із вимірювальною схемою індикаторного блоку, мікропроцесор і блок корекції, зворотні зв'язки мікропроцесора, пов'язані з приводом зерносушарки, дозатор і дисплей із блоком вибору контрольованої зернової культури, пов'язаний із мікропроцесором. Для роботи системи використовують температурні датчики, що слідкують за зміною температури зерна на шляху зерна сушильною камерою, водночас дозатор регулює швидкість зсуву зерна в сушильній камері, а дозатор - швидкість зсуву зерна в сушильній камері [17].

Під час роботи пристрій керування експозицією сушіння зерна надсилає вимірювальним датчикам команду на виконання вимірювання (рис. 2.2) [17].

Через час, який необхідний для перетворення температури в цифровий код, пульт по черзі здійснює зчитування з датчиків результатів вимірювання. Отримані дані піддаються математичному опрацюванню, за результатами якого здійснюється керувальний вплив на дозатор, що регулює швидкість зміщення зерна в сушильній камері - час температурного впливу агента сушіння на зерно. Потім, через певний інтервал часу, процес повторюється заново [17].

Контроль температури здійснюється пірометричними датчиками інтегрованими в сушильні короби. Датчики розташовані (рис. 2.2) у місцях з найменшим впливом агента сушіння на зерно [17].

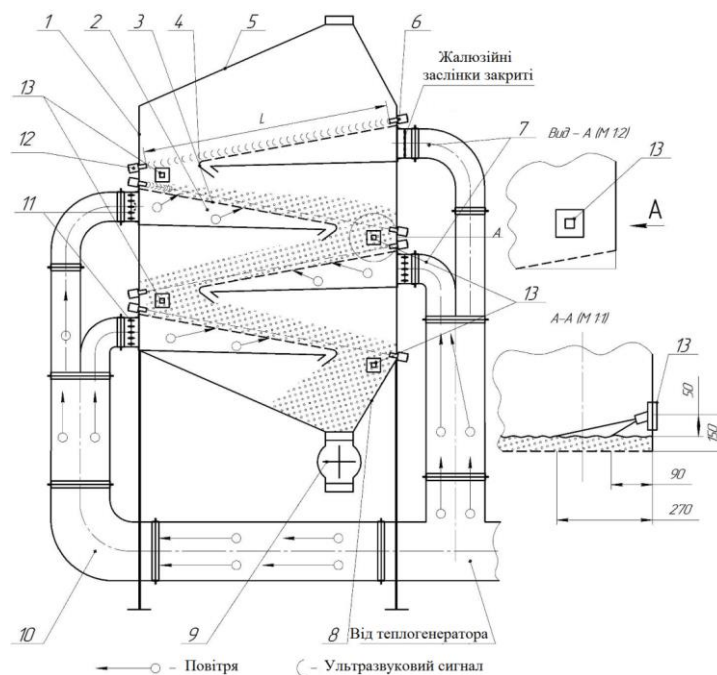


Рис. 2.2. Місця встановлення датчиків у шахти аерожолобної сушарки: 1 – шахта; 2 – аеродинамічні короби; 3 – перфоровані перегородки; 4 – переливний поріг; 5 – надсушильний бункер; 6 – ультразвуковий випромінювач; 7 – повітророзподільні короби; 8 – підсушувальний бункер; 9 – дозатор; 10 - розподільник; 11 – жалюзійні заслінки; 12 – ультразвуковий приймач; 13 – пірометричний датчик [17].

Принцип роботи нового пристрою забезпечує необхідний час температурного впливу агента сушіння на зерно, зниження енерговитрат на сушіння і як наслідок підвищення якості зерна [17].

Для визначення закінчення процесу сушіння були створені принципові (рис. 2.3, 2.4) схеми пристрою, написана керувальна програма для роботи пульта керування та пірометричних датчиків мовою програмування С, створено пристрій, що працює на основі розробленого способу. Пристрій складається з: корпусу з дисплеєм (рис. 2.5), мікропроцесора, блока корекції, вимірювальної схеми індикаторного блока, виносних оптичних температурних датчиків (рис. 2.6), зворотних ліній зв'язку мікропроцесора з приводом дозатора сушарки.

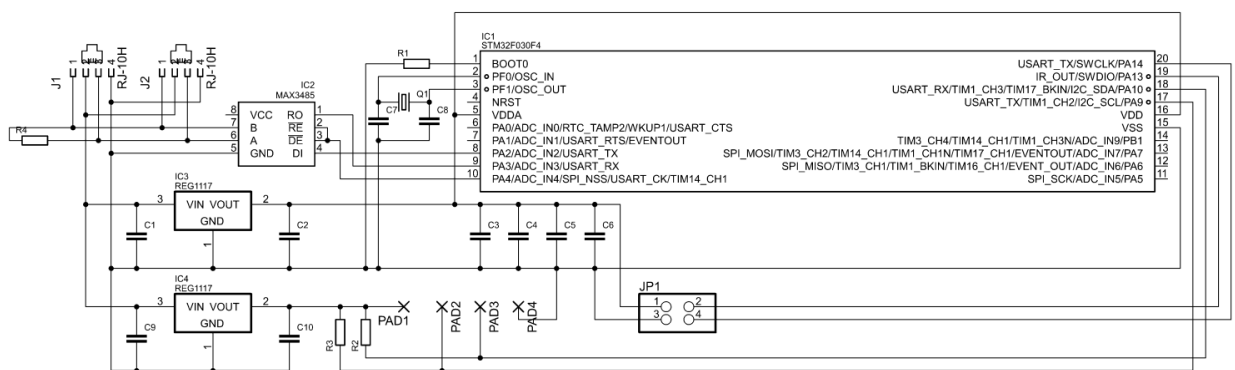


Рис. 2.3. Принципова схема пірометричного датчика температури.

Лабораторні дослідження проводили під час сушіння ярої пшениці (рис. 2.7...2.8). У лабораторії кафедри "агроінженерії і технічного сервісу" Поліського національного університету розроблено та виготовлено дослідний зразок аерожолобної сушарки з удосконаленою тепловентиляційною системою та автоматичним керуванням процесу на основі мікроконтролерів, який складається з двох шахт, у яких встановлено аеродинамічні коробки з перфорованими перегородками, повітророзподільних коробів із заслінками, керованими сервоприводами та системою управління подачею агента сушіння в сушильні камери. Сушарка оснащена системою рециркуляції відпрацьованого агента сушіння і теплогенератором прямої дії, інтегрованим у тепловентиляційну систему сушарки. Сушарка працювала під управлінням автоматизованої системи, побудованої за модульним принципом, відповідно до якого кожному елементу сушарки відповідає свій електронний модуль управління.

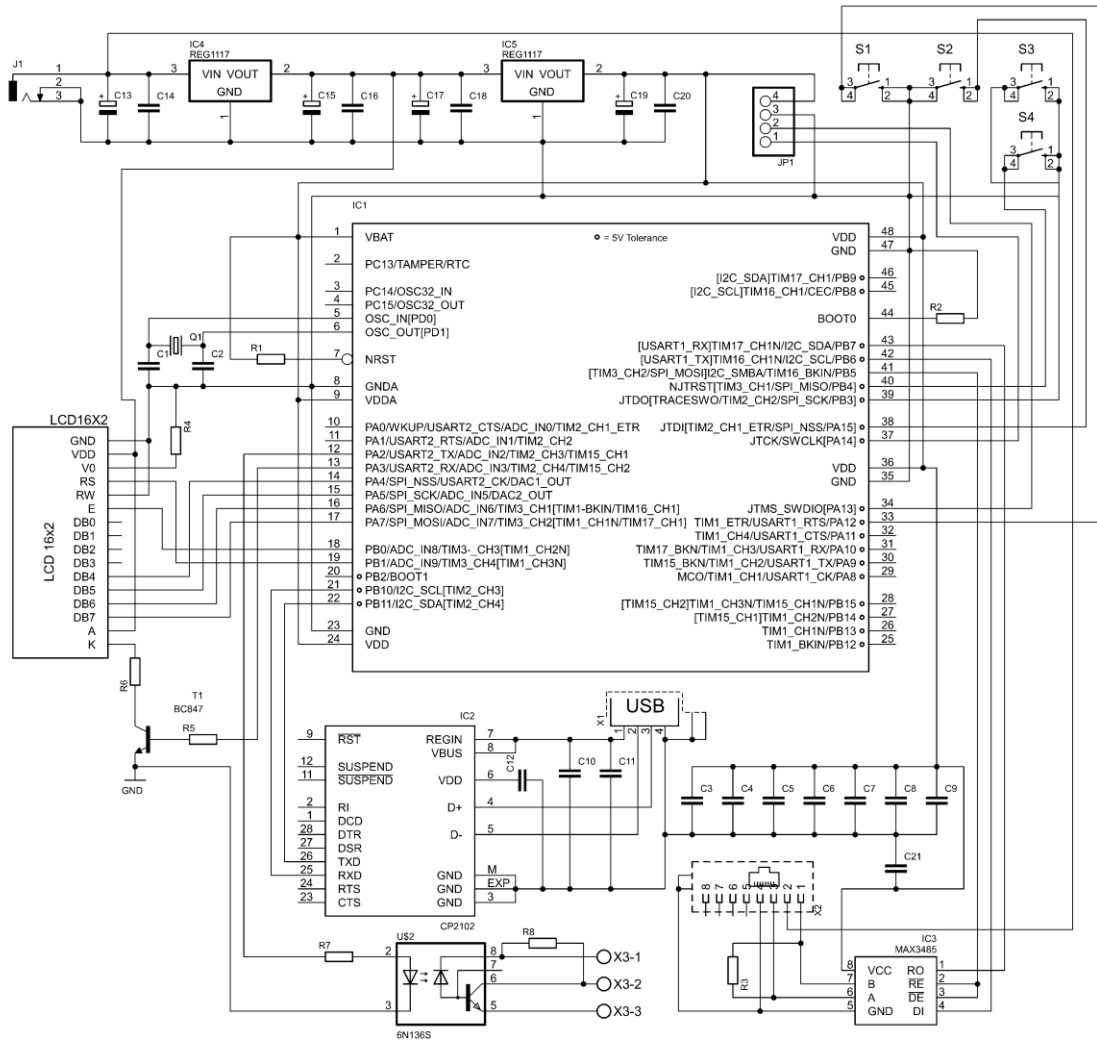


Рис. 2.4. Принципова схема пульта керування датчиками температури

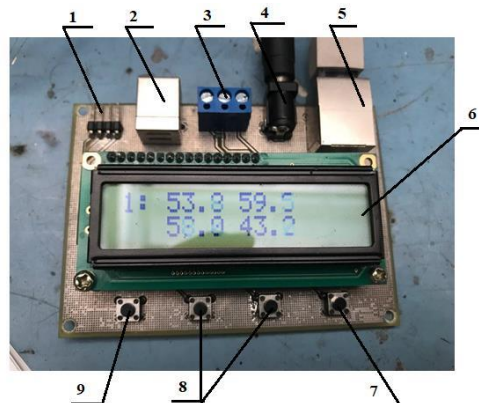


Рис. 2.5. Пульт керування пристроєм: 1 – SWD порт; 2 – USB порт; 3 – вихід для керування перетворювачем частоти електродвигуна електродвигуна вивантаження; 4 – роз'єм живлення виготовленого пристрою; 5 – порт RS-485; 6 – дисплей; 7 – кнопка підтвердження (введення); 8 – кнопки навігації та зміни параметрів; 9 – кнопка входу в меню налаштувань.

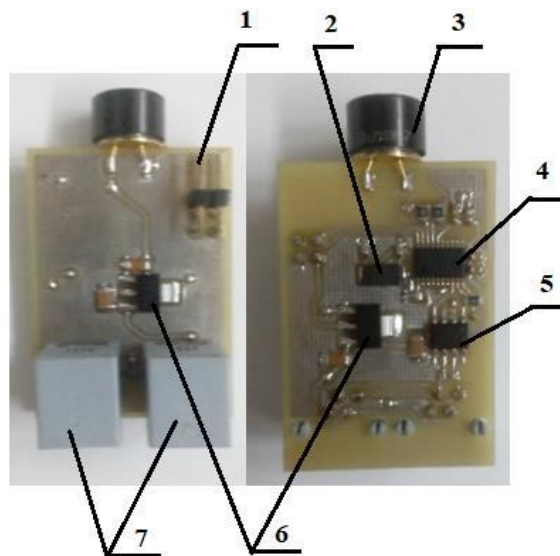


Рис. 2.6. Оптичний датчик температури: 1 – SWD порт; 2 – кварц; 3 – пірометричний датчик MLX-90614; 4 – мікроконтролер SMT-32F030; 5 – драйвер RS-485; 6 – стабілізатор живлення; 7 – порт RS-485; 8 – кнопки навігації та зміни параметрів; 9 – кнопка входу в меню налаштування



Рис. 2.7. Встановлення та під'єднання виготовленого пристрою в аерожолобній сушарці киплячого шару 1 – пірометричні датчики, 2 – електродвигун вивантажувального пристрою, 3 – пульт керування сушаркою, 4 – пульт керування експозицією сушіння зерна, 5 – частотний перетворювач системи керування електродвигуном вивантаження, 6 – персональний комп'ютер.



Рис. 2.8. Пірометричний датчик встановлений в аерожолобну сушарку киплячого шару 1 – інформаційний кабель, 2 – пірометричний датчик.



Рис. 2.9. Встановлення та під'єднання виготовленого пристрою в аерожолобну сушарку киплячого шару 1 – інформаційний кабель, 2 - пірометричний датчик, 3 – шнек вивантаження, 4 – електродвигун вивантажувального пристрою, 5 – привід шнека вивантаження

Система охолодження сипучих матеріалів після сушіння складалася із зовнішньої та внутрішньої перфорованих циліндричних стінок 3, розсікача 2, повітряного клапана 4, датчика підтримання заданого рівня зернового шару 5, пристрою вивантаження 7, вентилятора 8. З метою зменшення нерівномірності та поліпшення процесу охолодження зерна в конструкції передбачено додатковий вентиляційний канал 6. Завдання випробувань полягало в перевірці працездатності розробленого пристрою своєчасного виведення зерна із сушильної камери дослідного зразка на лабораторній установці та визначенні техніко-енергетичних показників сушарки.

Експериментальне дослідження проводилося за такою методикою. Готували дві партії зерна, одну кондиційної вологості для швидкості прогрівання зернового матеріалу та одну зволожену з вологістю 21,5...22%. Завантажували шахтну аерожолобну сушарку сухим зерном. Потім запускали теплогенератор зі встановленою температурою агента сушіння 100°C. Як тільки пірометричні датчики починали показувати температуру близьку до температури агента сушіння, починали процес завантаження зволоженого зерна. Температура зовнішнього повітря становила 14+/-2°C, його відносна вологість 55...65%. Періодично брали проби зерна на виході з сушарки для визначення вологості. При цьому проводили підстроювання частотного регулятора приводу дозатора вивантаження домагаючись, щоб на виході з сушарки зерно мало вологість 15-16%. Під час процесу сушіння пристрій зчитував дані про температуру зерна в сушарці з періодичністю 1 сек для отримання точної картини зміни температури зерна під час руху сушильною камерою, часу процесу сушіння і визначення місця знаходження точки перегину [1]. Пристрій при цьому визначав точку перегину за написаною програмою, порівнював значення з довжиною сушильної камери, керував за допомогою частотного регулятора частотою обертання ротора дозатора вивантаження. При цьому систему "підлаштовували" щоб шлях зерна і довжина сушильної камери збігалися.



Рис. 2.10. Шахта і шафа системи автоматики дослідного зразка мобільної універсальної шахтної аерожолобної сушарки СУША-М із пристроєм своєчасного виведення зерна із сушильної камери.

Виробничі випробування проводили на підприємстві ТОВ "Сігнета" Бердичівського району Житомирської області під час сушіння ярої пшениці.



Рис. 2.11. Мобільна універсальна шахтна шахтна аерожолобна сушарка СУША-М із пристроєм своєчасного виведення зерна із сушильної камери на виробничих випробуваннях

Методикою передбачалося також дослідження на нерівномірність охолодження та розподілу вологи під час охолодження зернового вороху в бункері-охолоджувачі (рис. 2.12).

Після проведення лабораторних і виробничих випробувань аерожолобної сушарки зі встановленим пристроєм визначення закінчення процесу сушіння отримані дані було проаналізовано графоаналітичним методом з метою визначення ефективності роботи пристрою.

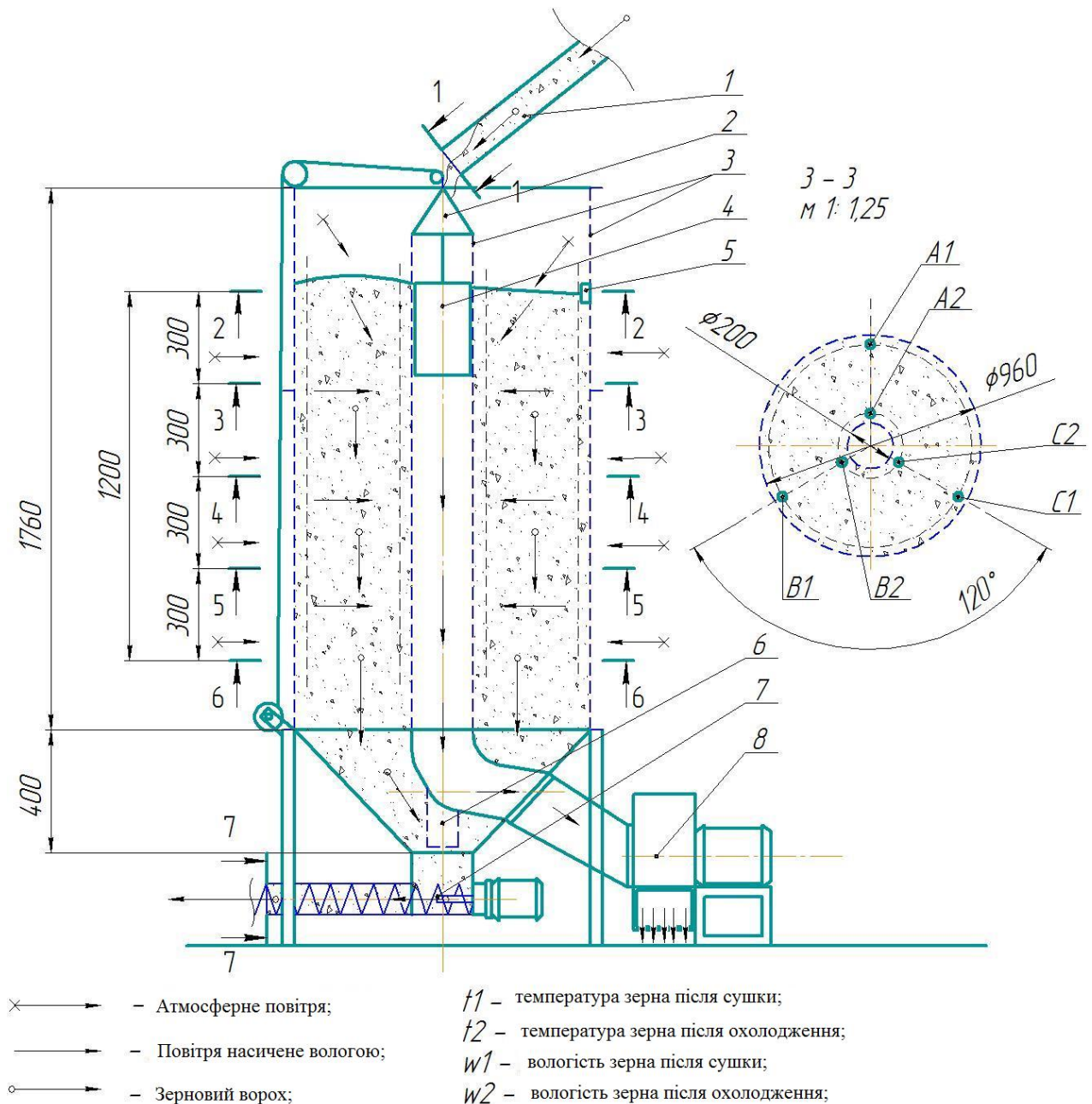


Рис. 2.12. Схема бункерного пристрою для охолодження сипучих матеріалів після сушіння: 1 – самопливний трубопровід; 2 – розсікач; 3 – зовнішня і внутрішня перфоровані стінки; 4 – повітряний клапан; 5 – датчик підтримки рівня зернового шару; 6 – додатковий вентиляційний канал; 7 – пристрій вивантаження; 8 – вентилятор.



Рис. 2.13. Виробничі випробовування сушарки.

Досліджувалася робота системи охолодження зерна за такою методикою: Спочатку заповнювали бункер зерном і виводили на потоковий режим роботи охолоджувача. Брили проби зерна за допомогою пробовідбірника.

За допомогою пірометра проводили замір температури зерна, при цьому пробу висипали на рівну поверхню на 15 хвилин для охолодження, з метою подальшого виміру її відносної вологості. В 1...7 перерізах, у кожному перерізі брали по шість проб - по три проби в перерізі біля зовнішнього і по три проби в перерізі біля внутрішнього перфорованого циліндра у вертикальних площинах, розташованих під кутом у 120° .

Проводили сушіння насіння ячменю за температури довкілля 16°C , вологості повітря 62%, атмосферного тиску 99,3 кПа, вологість зернового матеріалу до сушіння становила $18\% \pm 1\%$.

Далі проводили статистичне опрацювання отриманих вимірів температури і вологості зерна за перерізами бункера з використанням редактора електронних таблиць MS Excel, будували графічні залежності зміни вологості зерна і його температури за перерізами і висотою бункера.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Згідно з методикою, було проведено трифакторний експеримент. Вимірювання проводили з чотириразовою повторністю. Температура агента сушіння становила $t_{a.c.} = 100 \pm 5^\circ\text{C}$, витрата агента сушіння $Q_{a.c.} = 1,4 \text{ м}^3/\text{с}$. Експозицію сушіння, T , змінювали з інтервалом у дві хвилини – з 2 до 30 хв, при цьому в установку поміщали бюкси з початковою вологістю матеріалу – 40%. Результати проведеного експерименту графічно зображені на рис. 3.1 – 3.5.

Після опрацювання даних у Microsoft Excel будували залежності температури нагріву та вологості зерна від експозиції сушіння. Потім, використовуючи функцію апроксимації, знаходили рівняння регресії та похідну функції другого порядку - точку перегину або температурного стрибка.

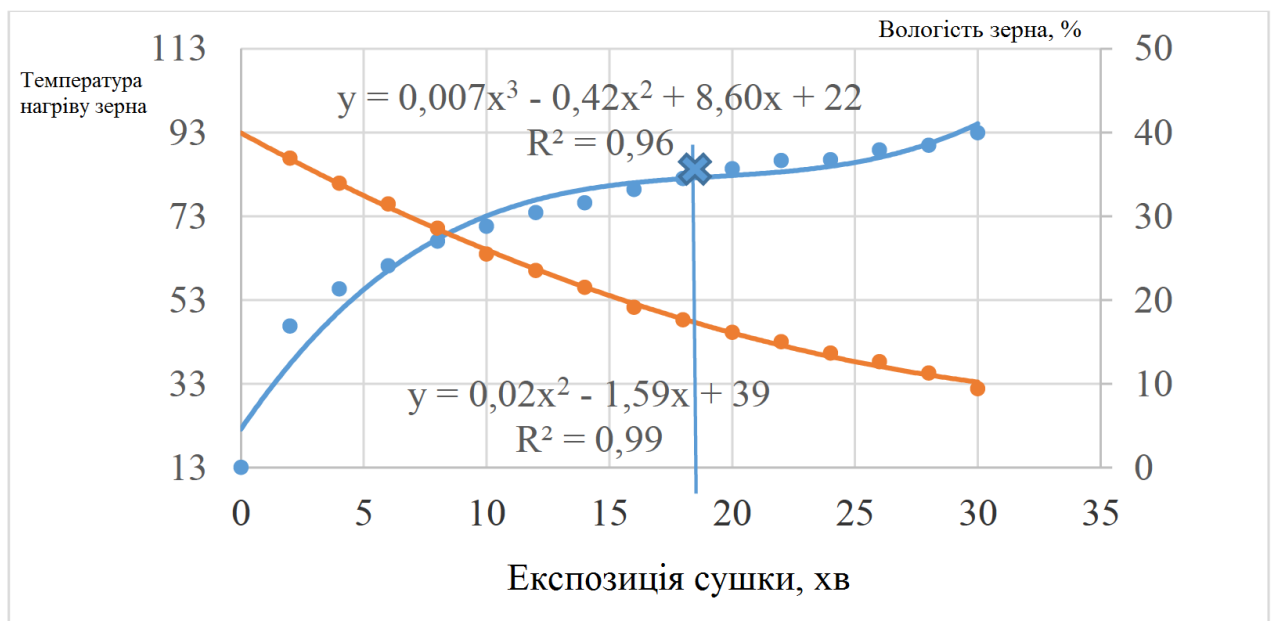


Рис. 3.1. Зміна температури нагріву зерна, його вологості від експозиції сушіння в лабораторній установці

За допомогою програми Microsoft Excel і математичних залежностей знаходили точку перегину, експозицію сушіння – 19,39 хв. Після закінчення зазначеного часу температурного впливу агента сушіння, відповідно до розрахунку, вологість зерна становила 15...16% і відповідає реальному значенню

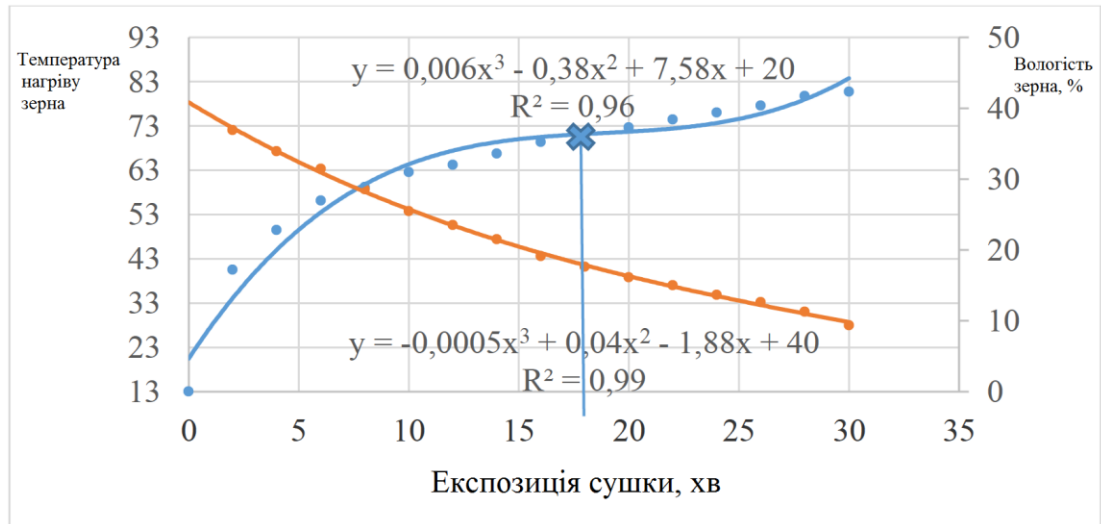


Рис. 3.2. Зміна температури нагріву зерна, його вологості від експозиції сушіння через 1 хвилину його охолодження на відкритому повітрі.

Аналізуючи рис. 3.2, слід зазначити, що після охолодження зерна через 1 хвилину експозиція сушіння згідно з моделюванням процесу за визначенням точки перегину становить 18,76 хв., а відхилення від реальної вологості зерна – 1...1,5%.

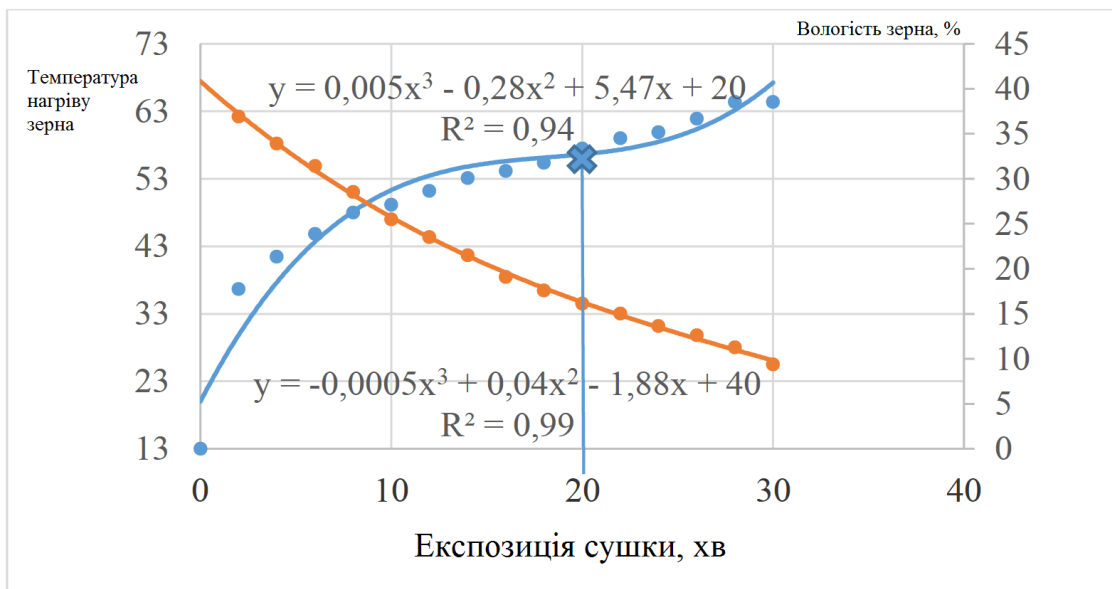


Рис. 3.3. Зміна температури нагріву зерна, його вологості від експозиції сушіння через 3 хвилини його охолодження на відкритому повітрі.

З аналізу рис. 3.3 очевидно, що через 3 хвилини після охолодження зерна експозиція сушіння згідно з прийнятою методикою моделювання та визначення

закінчення сушіння складає 18,37 хв, точність визначення закінчення сушіння ще більше знижується, тому що відхилення від реальної вологості зерна становить 1,5...2%.

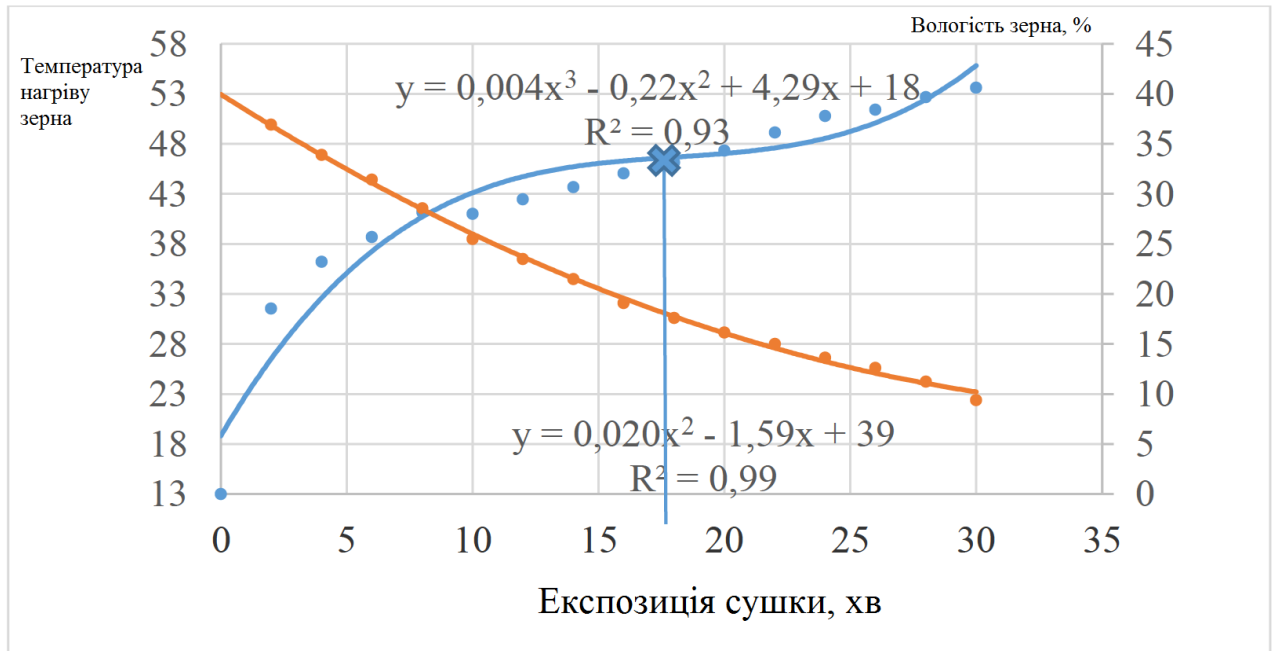


Рис. 3.4. Зміна температури нагріву зерна, його вологості від експозиції сушіння через 5 хвилин його охолодження на відкритому повітрі.

Після охолодження зерна протягом 5 хвилин (рис. 3.4) змодельована експозиція сушіння становить 18,1 хв, відхилення від реальної вологості - 2...2,5%.

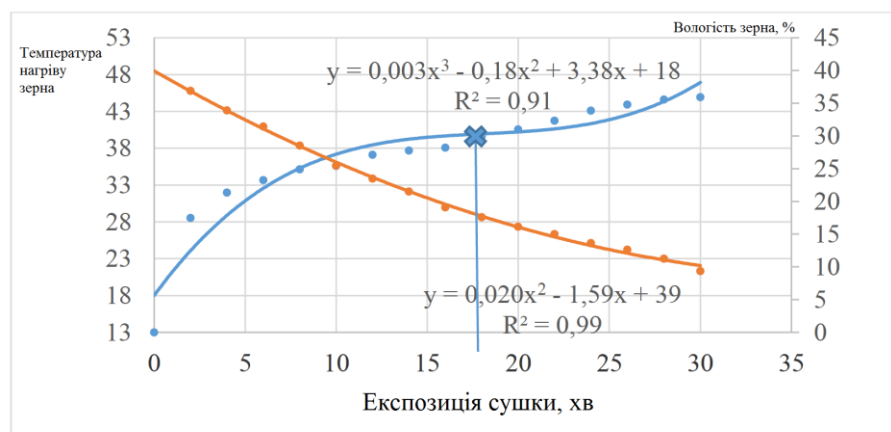


Рис. 3.5. Зміна температури нагріву зерна, його вологості від експозиції сушіння через 7 хвилин його охолодження на відкритому повітрі

Після 7 хвилин охолодження зерна (рис. 3.5) експозиція сушіння становила 18,18 хв, відхилення від реальної вологості – 3...3,5%.

Характер математичних залежностей, отриманих у результаті опрацювання експериментальних даних високотемпературного сушіння зерна пшениці (рис. 3.1-3.5), підтверджує наявні в літературі відомості про кінетику сушіння капілярно-пористих колоїдних тіл.

Отримані залежності температури від часу сушіння мають точки перегину, при цьому вологість матеріалу, розрахована згідно з прийнятою методикою моделювання, відхиляється від реальної не більше, ніж на 1%. Очевидно, що різке зростання температури відбувається через зневоднення поверхні матеріалу, коли його відносна вологість перебуває близько до кондиційної і становить 15...16%. Тому сушіння з метою унеможливлення псування зерна від перегріву необхідно припинити, а вологу, що залишилася, 1...2% зняти під час його охолодження в охолоджувачі, водночас зберігається якість зерна та унеможливаються перевитрати енергії від пересушування матеріалу.

Під час відлежування та охолодження матеріалу (рис. 3.2-3.5) точність визначення моменту закінчення процесу сушіння, визначеного за розробленою методикою, знижується на 3...3,5%, тому контроль за періодами сушіння слід вести одночасно під час впливу агента сушіння на матеріал або одразу після його закінчення.

Під час проведення виробничих випробувань температура зовнішнього повітря t становила від -2 до $2,1^{\circ}\text{C}$. Відносна вологість повітря, $\varphi - 92\%$; витрата повітря на вході в розподільний повітропідвідний патрубок, Q_1 , у середньому становила $10957 \text{ м}^3/\text{год}$. Початкова відносна вологість насіння сої $\omega_1 - 23\%$; початкова температура насіння $t_1 - 2,4^{\circ}\text{C}$, атмосферний тиск повітря $P - 101,9 \text{ кПа}$. Середня температура відпрацьованого агента сушіння $T_2 - 32,8^{\circ}\text{C}$. Температура нагріву насіння в періоді постійної швидкості сушіння t_2 перебувала в межах $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Під час проведення виробничих випробувань виявлено, що відхилення рівномірності прогрівання купи сої по всьому об'єму сушильної камери наприкінці сушіння не перевищувало $6,3^{\circ}\text{C}$. Питома витрата агента сушіння становила $0,3 \text{ м}^3/\text{с} \times \text{т}$ за товщини шару насіння на повітророзподільному решеті - 1,5 м. Найбільша кількість повітря (рис. 3.6) надходила на початковій ділянці в перерізах А і В, а також із лівого боку сушильної камери, у якій сітчаста тканина закрита на 300 мм від поверхні шару сої.

Закриття сітчастої тканини у верхній їхній частині бічних повітропідвідних каналів на 600 мм призводить до зменшення подачі повітряного потоку в шар вороху сої на 26,2%.

На рис. 3.6 спостерігається перетин кривих розподілу витрати агента сушіння через імовірнісний характер скважності зернового шару. Це пояснюється тим, що параметри оберемка, який надходить від комбайна, - вологість, густина, засміченість – мають стохастичний характер, а також відсутністю попереднього очищення, яке не проводили з метою зниження травмування високовологого насіння сої.

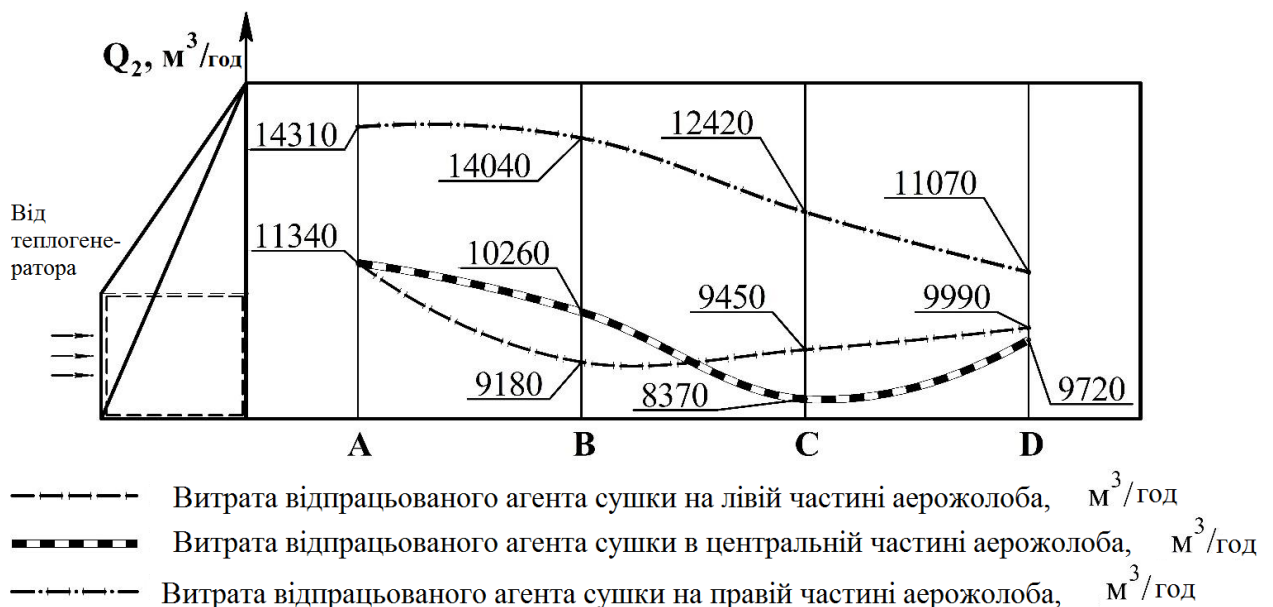


Рис. 3.6. Розподіл подачі агента сушіння за об'ємом сушильної камери

Вологість насіння в процесі експерименту була знижена з 23 до 9,5% за 22 години. Відхилення вологості насіння за об'ємом сушильної камери після

оохолодження становило в межах від 9,5% до 10,5%. Схожість насіння після сушіння та періоду післязбирального дозрівання зросла на 4,5% з 75,5 до 80%.

У результаті обробки дослідних даних розробленим пристроєм було визначено точки перегину температурних кривих за експозиції сушіння 0,514...0,689 від загального часу експерименту – 22 годин.

У визначений розробленим пристроєм час закінчення сушіння вологість насіння сої становила від 11,4 до 12,0% (рис. 3.7).

Відповідно до вимог державного стандарту кондиційна вологість насіння сої становить 12 %, результати експериментальної перевірки довели правильність висунутих теоретичних положень. Витрати повітряного потоку під час сушіння насіння сої в щільному шарі не мають суттєвого впливу на точність визначення закінчення сушіння пірометричними датчиками.

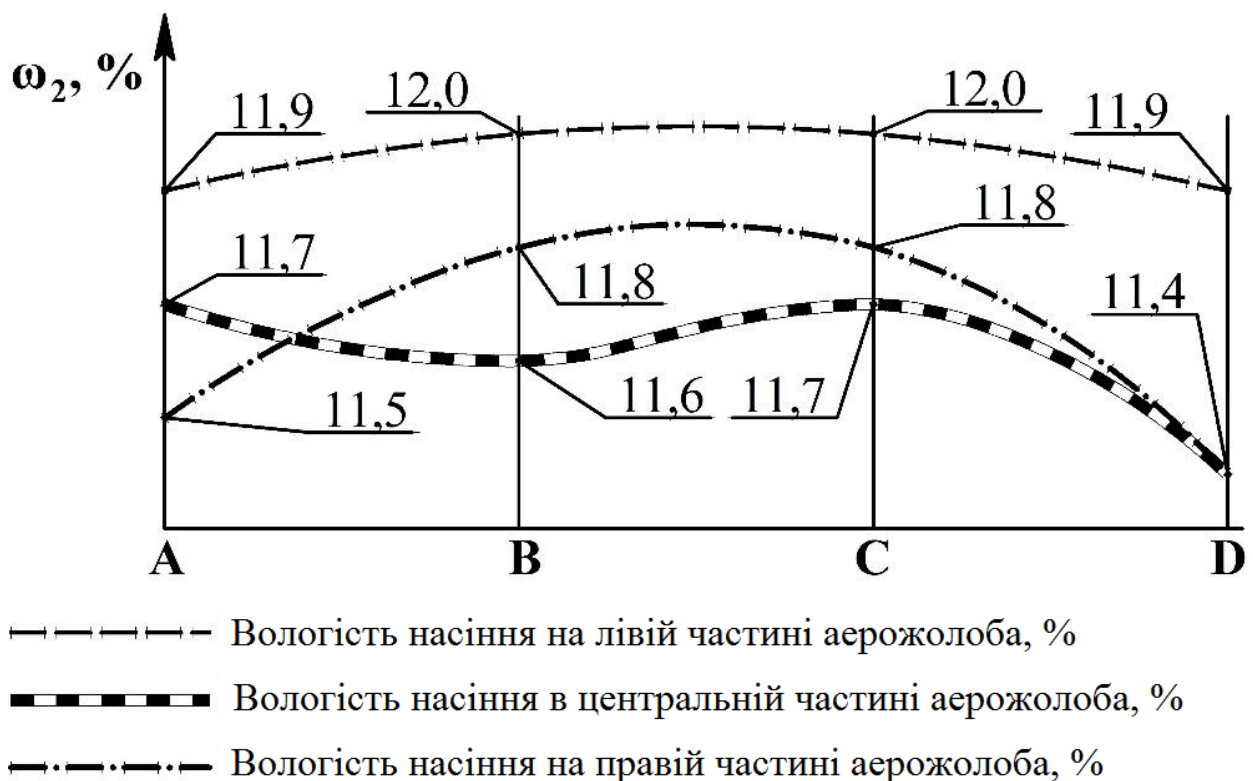


Рис. 3.7. Коливання вологості насіння сої за об'ємом сушильної камери після закінчення сушіння - часу сушіння, визначеним розробленим пристроєм

Реалізація розробленого способу визначення закінчення сушіння в системах керування експозицією сушіння зерна забезпечить вчасне виведення матеріалу з сушильної камери, з-під впливу агента сушіння, коли його

температура наближається до критичного значення. Постійний контроль температури інфрачервоними датчиками - без контакту з об'єктом контролю, підвищує точність вимірювання температури, гарантовано унеможливорює загибель зародка, денатурацію білка, послаблення клейковини.

Енерговитрати в цьому разі мінімальні, тому що процес сушіння здійснюється в режимах, що рекомендовані розробниками сушарок, і додаткових витрат енергії від пересушування або повторного сушіння в разі недосушування зерна не відбувається. До недоліків розробленого способу можна віднести те, що під час його застосування в сушильних агрегатах використовуватиметься складна апаратура, а для підтримання її працездатності знадобиться висока кваліфікація обслуговуючого персоналу.

Висновки по розділу.

Результати цього дослідження можливо використовувати під час автоматизації роботи високотемпературних сушарок як потокових – шахтних, колонкових, бункерних, аерожелобних, так і періодичної дії. При цьому втручання в уже наявні системи автоматики незначне. Система управління експозицією сушіння зерна – вивантаженням зерна, може працювати як окремий пристрій, виносні датчики і блок управління якого легко монтуються в будь-яку конструкційну та електричну схеми сушарки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблено спосіб управління експозицією сушіння зерна без використання вологомірів, що ґрунтується на постійному контролі температури насіння і пошуку ділянки на кривій зміни температури, на якій відбувається температурний стрибок через зневоднення насіння. Лабораторні дослідження засвідчили, що інтенсивне підвищення температури зерна колосових культур відбувається при досягненні ним вологості 15...16%, близької до кондиційної.

Розроблено пристрій керування експозицією сушіння зерна, який містить корпус із датчиками, з'єднаними з вимірювальною схемою індикаторного блоку, мікропроцесор, блок корекції, зворотні зв'язки мікропроцесора, пов'язані з приводом дозатора зерносушарки, та дисплей із блоком вибору контрольованої зернової культури, пов'язаний із мікропроцесором. За результатами вимірювання температури зерна пірометричними датчиками швидкість зміщення зерна в сушильній камері регулюється дозатором.

У виробничих умовах під час сушіння високовологого насіння сої в аерожолобній сушарці щільного шару за допомогою розробленого пристрою визначається час закінчення теплового впливу на насіння під час досягнення ним вологості 11,4...12,0%, що відповідає вимогам міждержавного стандарту. Сушіння, з метою унеможливлення псування зерна від перегріву, рекомендується припинити, а 1...2 % вологи, що залишилися, знімати під час охолодження, при цьому схожість зерна підвищується на 4,5% і унеможлиблюється перевитрата енергії на пересушування матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пришляк В.М., Яропуд В.М., Ковальчук О.В. Збірник інженерних задач і тестових завдань з розрахунку параметрів сільськогосподарських машин. Вінниця: РВВ ВНАУ. 2010. 92 с.
2. Goyal M.R., Verma D.K. (Eds.) Engineering Interventions in Agricultural Processing. Apple Academic Press, 2018. 377 p.
3. Jakubowski M. (Ed.) Global Village Construction Set: Civilization Starter Kit. Open Source Ecology. 2012. 300 p.
4. Kutz M. (Ed.) Handbook of Farm, Dairy, and Food Machinery. William Andrew Publishing + Springer, 2007. 752 p.
5. Булгаков В.М., Калетнік Г.М. та ін. Машини та технологічне обладнання вібраційної дії. К.: ХАЙ-ТЕК Прес, 2013. 486 с.
6. Веселовська Н.Р., Шаргородський С.А., Руткевич В.С., Моторна О.О. Практикум з навчальної дисципліни Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування. Вінниця: Вінницький національний аграрний університет (ВНАУ), ТВОРИ, 2020. 355 с.
7. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Машини сільськогосподарського виробництва. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя), 2005. 228 с.
8. Довжик М.Я., Зубко В.М. Машини та обладнання АПК. Суми: Сумський національний аграрний університет, 2011 р. 84 с.
9. Яцун С.С. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. : Мета, 2003. 448 с.
10. Кирпа М. Використання енергії в процесах зберігання і обробки зерна. Інститут зернового господарства УААН (<http://www.lol.org.ua/ukr/showart.php?id=18>).
11. Станкевич Г. М. Сушіння зерна: Підручник. Київ : Либідь, 1997. 352 с.

12. Тригуба А. М., Чубик Р. В., Ковтика В. Р., Ярошенко Л. В. Оптимізація роботи вібросушарки переміжного нагрівання для сушіння зернової продукції. Матеріали I Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції «Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії». Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 22- 23.

13. Подпряттов Г. І. Зберігання і переробка продукція рослинництва. Київ : Мета, 2002. 495 с.

14. Гапонюк І. І. Удосконалення технології сушіння зерна : монографія. Одеса : Поліграф, 2009. 182 с.

15. **Онищук В. О.** Аналіз способів сушіння зерна. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 208-210.

16. Дерев'янку Д. А., **Онищук В. О.** Аналіз відомих систем керування експозицією сушіння. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 290-293.

17. Дерев'янку Д. А., **Онищук В. О.** Обґрунтування способу контролю та керування закінченням сушіння капілярно-пористих колоїдних матеріалів. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).