

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

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Бабченко Святослав Леонідович

УДК 631.36

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування конструкції зерносушарки
контактного типу**

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

_____ С.Л. Бабченко

Керівник роботи
Дерев'янка Д.А.
д.т.н., професор

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Бабченко Святослав Леонідович. Обґрунтування конструкції зерносушарки контактного типу. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі запропоновано пристрій для сушіння зерна контактного типу. Він включає кожух, поверхня якого покрита шаром теплоізолюючого матеріалу. Усередині кожуха розташований транспортуючий робочий орган, виконаний у вигляді короба зі ступінчастою поверхнею та можливістю передачі йому коливань. Коливання передаються за допомогою приводу. Транспортуючий робочий орган виконаний багатосекційним, причому секції розташовані послідовно один за одним таким чином, що кожна наступна секція була встановлена нижче за попередню.

На підставі результатів проведених лабораторних досліджень розроблено адекватні математичні моделі процесів сушіння зерна у запропонованій зерносушарці. Аналіз отриманих математичних моделей процесу сушіння зерна дозволив виявити оптимальні значення основних незалежних факторів, при яких енерговитрати на одиницю маси випаруваної вологи із зерна третікале q_{y0} становлять 3,57 МДж/кг вологи: температура першої секції транспортуючого робочого органу – 150 °С, температура другої секції транспортуючого робочого органу 108 °С (середня $t_n = 129$ °С), час сушіння зерна $\tau_{onm} = 10$ с, швидкість руху зерна $v_z = 0,29$ м/с. Пропускна здатність пристрою при цьому становить 221 кг/год.

Ключові слова: транспортуючий робочий орган, сушіння, зерно, сушарка, температура, вологість.

ANNOTATION

Babchenko Svyatoslav Leonidovich. Substantiation of design of the contact type grain 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, 2021.

In the master's thesis the device for drying of grain of contact type is offered. It includes a casing, the surface of which is covered with a layer of insulating material. Inside the casing is a transporting working body, made in the form of a box with a stepped surface and the ability to transmit vibrations to it. The oscillations are transmitted by the drive. The transport working body is made of multi-section, and the sections are arranged one after the other in such a way that each subsequent section was installed below the previous one.

Based on the results of laboratory research, adequate mathematical models of grain drying processes in the proposed grain dryer have been developed. The analysis of the obtained mathematical models of the grain drying process revealed the optimal values of the main independent factors at which energy consumption per unit mass of evaporated moisture from triticales grain is 3.57 MJ/kg of moisture: temperature of the first section of the conveying working body – 150 ° C, temperature of the second section transporting working body 108 ° C (average $t_p = 129$ ° C), grain drying time $t_{opt} = 10$ s, grain speed $v_z = 0.29$ m/s. The capacity of the device is 221 kg / h.

Key words: transporting working body, drying, grain, dryer, temperature, humidity.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ КОНТАКТНИХ ЗЕРНОСУШАРОК.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА.....	16
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА	24
ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Протягом усіх часів найважливішим завданням сільського господарства є забезпечення країни зерном та збереження його у високоякісному стані. Тривале зберігання зерна без втрат його якісних показників є важливим завданням сільськогосподарських підприємств. Для забезпечення нормального зберігання зерна його вологість має перевищувати у середньому 14 %.

Сушіння зерна має також важливе значення в борошномельно-круп'яному виробництві. При переробці просушеного зерна забезпечується підвищення продуктивності підприємств, зменшується зношування обладнання, значно знижуються витрати енергії (палива).

Під час збирання нерідкі випадки, коли зерно після обмолоту на зберігання надходить вологим внаслідок сирієї погоди, що сприяє підвищенню цього показника. У зв'язку з цим необхідно організовувати таку операцію післязбиральної обробки зерна, як сушіння, що забезпечить повне збереження зерна протягом усього терміну зберігання.

Про необхідність сушіння свіжоприбраного врожаю говорить той факт, що зі збільшенням вмісту вологи в зерні зростають труднощі його збереження. Так, наприклад, при вологості зерна 15...16% його необхідно зберігати шаром трохи більше одного метра. При подальшому збільшенні вологості зерна (до 17%) товщина насипного шару не повинна бути більшою за 20 см, і зерно повинне часто перемішуватися. При цьому приміщень для зберігання зерна потрібно майже втричі більше, а зерно набагато швидше заражається кліщем.

При вологості зерна вище 18% воно, крім зараження кліщем, швидко піддається самозігріванню, набуває затхлий запах і за відсутності контролю та безперервної вентиляції пліснявіє, швидко втрачає колір, схожість і в найкоротший термін робиться майже непридатним для вживання.

У сільськогосподарській практиці нерідкі випадки, коли врожай зерна, прибраний за несприятливих умов погоди і що надійшов у зерносховище з вологістю вище 20%, вже другого дня починав швидко самозігріватися. В наступні дні негативні властивості в зерні наростали, і через декаду зерно настільки втрачало всі свої позитивні властивості, що робилося майже непридатним для використання навіть на фураж.

Єдиним способом збереження зерна від усіх негативних факторів є сушіння, яке не тільки призупиняє подальше його розкладання, а й повністю запобігає всім негативним наслідкам, які знижують насіннєві та продовольчі якості зерна.

Численними дослідженнями доведено, що вологе зерно після сушіння як зберігає ті властивості, якими воно мало до проведення зазначеної операції, а й набуває цілий ряд позитивних якостей. Так, наприклад, схожість, енергія проростання, хлібопекарські якості та смак випеченого хліба будуть значно кращими у висушеному зерні, ніж вони були в тому ж зерні до проведення операції сушіння.

В даний час застосовують різні способи видалення надлишкової вологи із зерна. Одним із найбільш використовуваних способів є конвективний. Його сутність полягає в тому, що вологому зерну передається теплота за допомогою нагрітого повітря, останній нагрівають матеріалами топками або природним газом. Але, не дивлячись на те, що цей спосіб широко поширений, він є найбільш енерговитратним через дорожнечу палива, що використовується. Ще одним його недоліком є нерівномірність обробки, яка в результаті може стати причиною псування продукту. Відповідно, використовуваний у роботі цей спосіб сушіння і найпоширеніші країни установки мають аналогічні недоліки.

Таким чином, одним з найважливіших та актуальних науково-технічних завдань є розробка енерго- та ресурсозберігаючих технічних засобів для сушіння зерна, що забезпечують при цьому необхідну якість оброблюваного матеріалу на виході за встановленої пропускної спроможності.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи – зниження енерговитрат на сушіння зерна за допомогою обґрунтування нової конструкції зерносушарки, яка використовує контактний спосіб підведення теплоти до вихідного продукту.

Завдання досліджень:

1. Провести аналіз конструкцій та класифікації контактних зерносушарок;
2. Розробити конструкцію транспортуючого робочого органу;
3. Провести лабораторні дослідження для визначення оптимальних значень конструктивних елементів та режимів роботи транспортуючого робочого органу зерносушарки контактного типу.

Об'єкт дослідження: технологічний процес сушіння зерна в зерносушильній установці контактного типу з коливальним робочим органом.

Предмет дослідження: закономірності технологічного процесу сушіння зерна.

Методи дослідження. Лабораторні дослідження проводилися в лабораторіях кафедри процеси, машини і обладнання Поліського національного університету з урахуванням загальноприйнятих і приватних методик, розроблених автором. Аналіз літературних джерел здійснювався аналітико-монографічним методом. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методів математичної статистики з використанням прикладних програм.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Бабченко С.Л.** Методика експериментальних досліджень процесу сушіння зерна. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 39-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 234-237.

2. **Бабченко С.Л.** Результати експериментальних досліджень процесу сушіння зерна. Збірник тез VII-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу*

сільськогосподарських машин і знарядь» 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 189-191.

З. Дерев'янко Д.А., Бабченко С.Л. Аналіз конструкцій та класифікація контактних зерносушарок. Матеріали МНПК «Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв» – Харків: ДБТУ, 2021. С. 65-69.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє розроблений транспортуючий робочий орган зерносушарки контактного типу.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 39 сторінок комп'ютерного тексту, містить 18 рисунків та 6 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ КОНТАКТНИХ ЗЕРНОСУШАРОК

В даний час вітчизняні та закордонні аграрні господарства експлуатують велику різноманітність конструкцій зерносушарок, внаслідок чого з'являється необхідність створити таку класифікацію, яка дозволить охопити весь існуючий спектр зерносушильних пристроїв для структурування їх конструктивно-технологічних схем та виявлення найбільш вигідних шляхів технічного вдосконалення.

Однак, різноманітність існуючих пристроїв не дозволяє скласти класифікацію, яка об'єднає всі пристрої. Розглянувши широкий спектр пристроїв для сушіння зерна за їх конкретними параметрами, нами було зроблено класифікацію зерносушарок з контактним способом підведення теплоти.

Ця класифікація включає п'ять основних груп установок: за інтенсифікацією процесу сушіння; за формою поверхні, що гріє; за видом нагрівального елемента; за видом транспортуючого робочого органу; за кількістю робочих секцій.

У свою чергу, за *інтенсифікацією процесу сушіння* зерна, контактні зерносушарки можна підрозділити за 5 основними критеріями:

1) зворушення – це перемішування матеріалу, що висушується для рівномірності його обробки, що дозволяє отримати якісно просушене зерно;

2) комбінований спосіб теплопідведення – видалення вологи із зерна за допомогою підведення до нього теплого повітря та нагрітої поверхні одним прийомом. Такий спосіб дозволяє досягти необхідної вологості при невеликих витратах часу;

3) чергування процесу сушіння і охолодження зерна полягає в тому, що спочатку матеріал, що висушується, піддають тепловому впливу, а після нагрівання зерно охолоджують;

4) зміна кута нахилу нагрівальної поверхні з метою забезпечення оборотності зерна, що в свою чергу підвищує якість продукту після закінчення операції сушіння;

5) застосування віброприводу робочого органу призначене для передавання робочому органу механічних коливань, амплітуда яких близька до положення рівноваги;

6) передача зворотно-поступальних рухів робочому органу для приведення його в коливання, що сприяє рівномірному сушінню зерна за рахунок постійного перемішування.



Рис.1.1 Класифікація контактних зерносушарок

За формою нагрівальної поверхні пристосування для сушіння зерна поділяють на циліндричні (рис. 1.1 а), плоскі (рис. 1.1б), ступінчасті (рис. 1.1 в) і хвильові (рис. 1.1 г).

Ступінчасті та хвильові поверхні у свою чергу здатні забезпечити не тільки передачу теплоти оброблюваному матеріалу але і його переміщення.

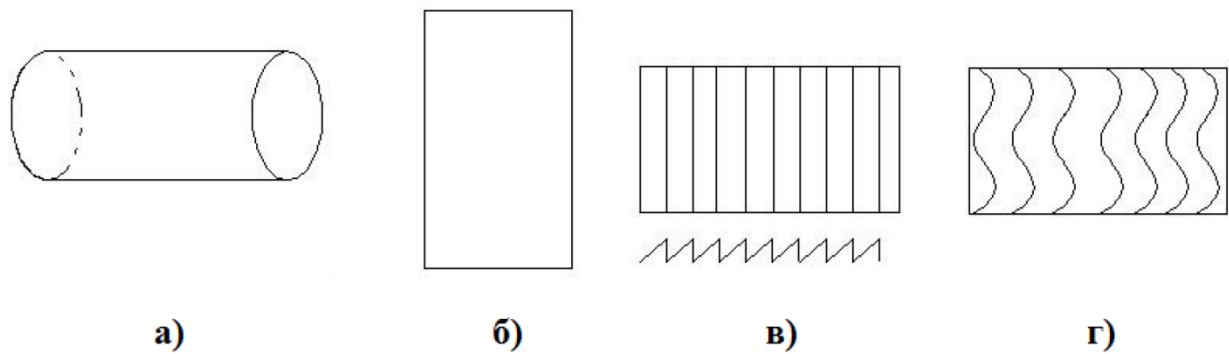


Рис. 1.2. Форми нагрівальних поверхонь зерносушарок контактного типу

Нагрівальні елементи (рис. 1.2) – нагрівальні пристрої різних видів та конструкцій, які здатні зумовити вироблення теплової енергії, що застосовується під час вирішення інженерних завдань.



Рис. 1.3. Нагрівальні елементи.

Вони можуть бути різноманітної форми залежно від конкретних умов та методів використання при протіканні теплових процесів, а також виготовлятися з різноманітних струмопровідних матеріалів. Процес нагрівання будь-якого матеріалу до необхідної температури є витратним і вимагає найчастіше використання великих обсягів енергії. Тому використання нагрівального

елемента з високою продуктивністю та безпекою при його експлуатації є важливими факторами. Тим самим можна досягти високих показників ефективності обладнання, робота якого полягає у споживанні теплоти.

В даний час є велика кількість різних нагрівальних елементів. Їх можна поділити на кілька підгруп: трубчасті, плоскі, кільцеві, спіральні, гнучкі.

Трубчастий електронагрівач (ТЕН) (рис. 1.2 в) – це замкнута трубка, в якій міститься металева спіраль і наповнювач. Їх використовують для нагрівання різних рідин (води, масла і т.д.), повітря, газів і металів.

ТЕНи виготовляють різних форм (прямі, зігнуті, U-подібні і т.д.) та розмірів (від 6 мм до 24 мм), що дає можливість використовувати їх на всіляких формах нагрівальної поверхні.

Трубчасті електронагрівачі можна розділити на дві конфігурації: двокінцеві – розташування контактних виводів з двох сторін; одно-кінцеві («патронні»), виведення контактів яких розташовано по одну сторону нагрівача.

Характерною особливістю ТЕНів можна вважати можливість утворення значного теплового потоку з їх поверхні. Питома поверхнева потужність досягає $0,0035 \text{ Вт/м}^2$.

Плоский нагрівальний елемент є ТЕН, який виготовляють з пластин різного матеріалу. Їх призначення полягає у нагріванні поверхонь плоских форм.

Плоскі нагрівальні елементи можуть виготовлятися різних розмірів, геометричної форми, а також різних матеріалів, до яких відносяться кераміка, міканіт, метал, плівка. Залежно від вибраних характеристик нагрівача визначається його максимальна температура, яка досягає 600°C .

Кільцеві нагрівачі мають циліндричну форму з нагрівальною функцією. Такі нагрівачі виготовляють із застосуванням міцної та надійної сталі, щоб забезпечити тривалий термін працездатності та гарну тепловіддачу.

Кільцеві нагрівачі мають хомути для щільного та надійного контакту з поверхнею та в залежності від типу ізолятора вони можуть бути з міканітом та керамікою.

Нагрівальна поверхня здатна досягати температури, що дорівнює $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ і може бути як із зовнішньої так і з внутрішньої сторони кільця в залежності від конструкції, на яку встановлюється нагрівач.

Спіральні (виткові) нагрівачі (рис. 1.2г) пропонуються з різними поперечними перерізами, розмірами та високою тепловою потужністю при невеликому обсязі нагрівального елемента, а також робочими температурами до $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ на поверхні нагрівача.

Гнучкі нагрівачі – це тонкий нагрівальний елемент, який має гарну гнучкість та виготовлений із застосуванням новітніх електронних матеріалів.

До гнучких нагрівальних елементів можна віднести: силіконові нагрівачі, плівкові нагрівачі, нагрівачі фольги, стрічкові та ін.

Зазначений нагрівач здатний приймати будь-яку форму поверхні, що дозволяє використовувати його в широкому спектрі обладнання теплового впливу, де гнучкість має велике значення. Максимальна температура нагрівання плівкового нагрівача і фольги становить $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, а силіконового і стрічкового - $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Крім того, пристрої для сушіння зерна можна розділити по вигляду транспортуючого робочого органу (рис. 1.3).

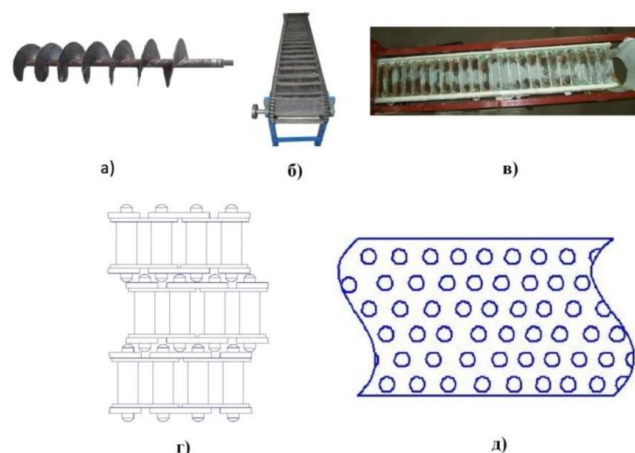


Рис. 1.4. Транспортуючі робочі органи сушарок: а – гвинтовий; б – скребковий; в – вібраційний короб (гуркіт); г – ланцюговий; д – гнучка пориста стрічка

Робочими органами можуть бути:

- гвинт (рис. 1.2 а) – робочий орган, яким є стрижнем з суцільною гвинтовою поверхнею вздовж поздовжньої осі, тобто. шнек, призначений для транспортування сипких матеріалів переміщенням вздовж обертової гвинтової поверхні всередині труби;

- скребковий транспортер (рис. 1.2 б) – механізм для транспортування зерна за допомогою скребків, які кріпляться до однієї або більшої кількості тяг у вигляді ланцюгів та опущених у шар оброблюваного матеріалу;

- вібраційний короб (грохот) (рис. 1.2 в) являє собою робочий орган, який здійснює зворотно-поступальні рухи з певною амплітудою коливань, а також з різним рельєфом поверхні;

- ланцюговий транспортер (рис. 1.2 г) – це ланцюг, розташований по всій ширині робочої поверхні, що висушується в один шар за рахунок розташування матеріалу в окремих ланках;

- гнучка пориста стрічка (рис. 1.2 д) – стрічка, що має комірки, рівні максимальному розміру зерна і переміщує його по нагрітій поверхні.

За кількістю робочих секцій зерносушарки поділяють на односекційні та багатосекційні. Багатосекційні пристрої представляють собою робочі органи, які розташовуються паралельно один одному або послідовно.

При забезпеченні паралельності робочих органів можна збільшити пропускну здатність пристрою. Для зняття надмірної вологи за прохід необхідно встановити робочі органи послідовно.

Крім того, зерносушарки з контактним способом підведення теплоти можна поділити за типом вологовидалення. При примусовому видаленні вологи використовують вентилятори, а при природньому вологу видаляється самостійно.

До електричних контактних зерносушарок можна віднести такі пристрої, як УТОЗ-1, УТОЗ-2, УТОЗ-3 та УТОЗ-4 (рис.1.19).

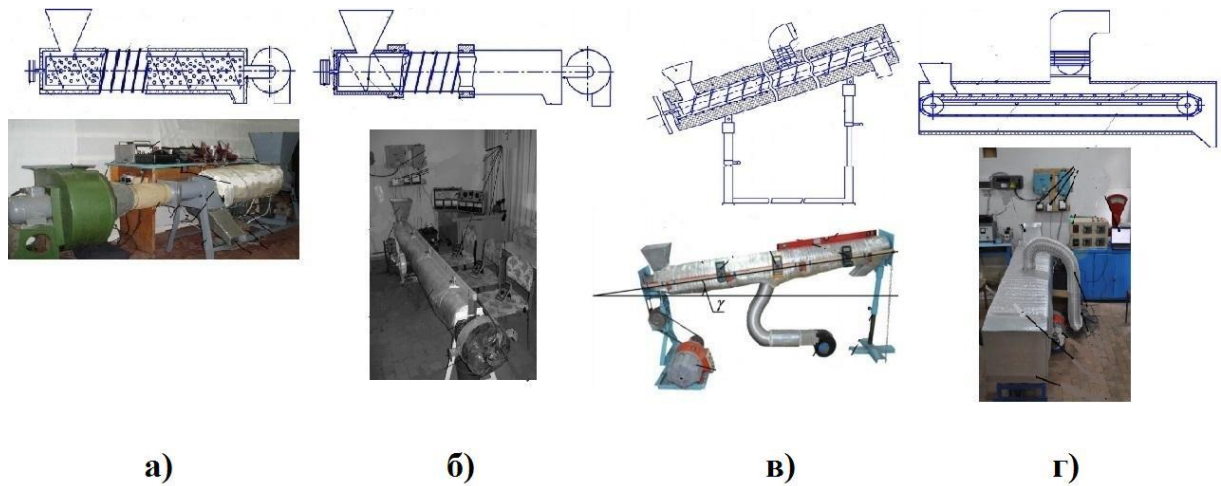


Рис. 1.5. Контактні електрозерносушарки: а – УТОЗ-1; б – УТОЗ-2; в – УТОЗ-3; г – УТОЗ-4.

Представлені пристрої працюють із застосуванням транспортуючого робочого органу у вигляді шнека (УТОЗ-1, УТОЗ-2, УТОЗ-3) та скребкового транспортера (УТОЗ-4). Підведення теплоти здійснюється або від шнека або від поверхні кожуха. Також можливе підведення теплоти у поєднанні з конвективним способом (УТОЗ-3).

Висновки по розділу

Проаналізувавши весь існуючий ряд контактних зерносушарок, ми структурували їх різноманітність за основними ознаками в одну класифікацію, яку можна вважати найбільш ясною для розуміння принципів роботи зерносушарок з контактним способом підведення теплоти. Це дозволить розробити пристрій для сушіння зерна з оптимальними типовими елементами та вузлами, правильне конфігурування яких дозволить забезпечити якісну обробку зерна.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА

Рамки зміни основних незалежних факторів процесу видалення надлишкової вологи із зерна у запропонованому нами пристрої знаходилися спираючись на її конструктивні особливості, а також базуючись на існуючих дослідженнях та отриманих результатах пошукових експериментів.

Для сконструйованого пристрою були взяті наступні рамки зміни незалежних факторів: температура першої і другої секції гріючої поверхні регулюється в діапазоні 50 ... 155 °С, час знаходження зерна в установці - 10 ... 20 с.

Лабораторні дослідження сушіння зерна у сконструйованому пристрої проходили наступним чином. Насамперед було підготовлено зерно, кількість якого буде достатньою для проведення експерименту (стосовно нашого випадку було взято зерно третікале масою 1,5 кг). При визначенні маси зерна застосовували ваговий прилад ПВ-6 (рис.2.1). Похибка вимірювання зазначеного обладнання має такі діапазони: для маси до 3 кг - 1 г; від 3 до 6 кг – 2 г.



Рис. 2.1 Ваги електронні ПВ-6: 1 – дисплей; 2 - скидання показань маси тари та компенсація маси тари на індикаторах маси; 3 – корекція навантажених ваг; 4 - ампула рівня

Перед проведенням операції сушіння необхідно визначити вологість. Методика визначення здійснюється згідно з методикою.

Після цього запускали зерносушарку, при цьому провівши її налаштування та встановивши потрібні режими роботи. Щоб це здійснити, нами були такі параметри, як температура першої та другої секції ТРО та час знаходження зерна в установці.

При визначенні часу знаходження зерна в установці необхідно визначити, який час пройде зерно транспортуючий робочий орган.

Для цього був побудований тарувальний графік залежності часу руху зерна ТРО від частоти обертання валу електродвигуна (рис. 2.1).

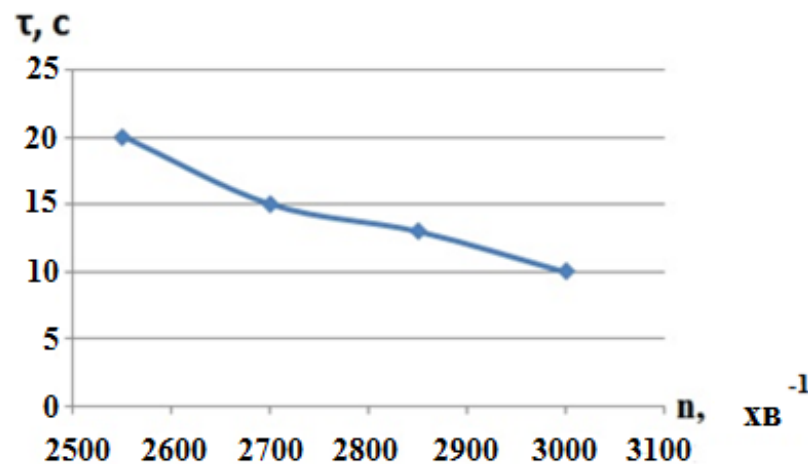


Рис. 2.2. Залежність часу руху зерна ТРО від частоти обертання валу електродвигуна n

Для побудови графіка нами задавалися необхідні значення частоти обертання валу електродвигуна, з яких визначалося час перебування зерна у пристрої.

Для цього в зерносушарці при видаленні надмірної вологості із зерна в одну порцію поміщали зерно, попередньо забарвлене, і фіксували час, за який воно проходило від початкової точки сушіння, тобто. від завантажувального бункера до кінцевої (вивантажувального вікна). Вимірювали за допомогою секундоміра електронного типу КТJ ТА-228 (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Секундомір електронний КТJ ТА-228: 1 – скидання показників; 2 – вибір режимів; 3 - активація/зупинка секундоміра

Для отримання більш точного значення часу знаходження зерна пристрої експеримент проводили з триразовою повторністю з метою розрахувати середнє значення.

Після визначення часу знаходження зерна в установці можна розрахувати швидкість його руху, що визначається за такою формулою:

$$V_3 = \frac{l_{\text{тро}}}{t} \quad (2.1)$$

де $l_{\text{тро}}$ - довжина транспортуючого робочого органу, м;

t – час знаходження зерна в установці, с.

Визначення частоти обертання валу електродвигуна здійснювали із застосуванням тахометра цифрового типу Sinometer DT6234B, точність якого становить $\pm 0,05$ %, діапазон вимірювання $2,5 \dots 9999$ хв⁻¹ (рисунок 2.3). При значенні вище 60 об/хв швидкість поновлення результату становить 0,8 с.

Вимірювання проводиться наступним чином. На шків електродвигуна приклеювали світловідбивну пластинку розміром 10×10 мм (рисунок 2.4). Далі запускали електродвигун і навпроти шківів встановлювали тахометр, після чого направляли лазерний промінь приладу на світловідбивну пластину і зчитували показники з дисплея.



Рис. 2.4. Тахометр цифровий: 1 – дисплей; 2 – кнопка підтвердження дій; 3 – кнопка «Вимірювання»; 4 – перемикач режиму; 5 - світловий промінь

При напрямку лазерного променя на світловідбивну смужку прилад зчитував показання та виводив їх на дисплей.

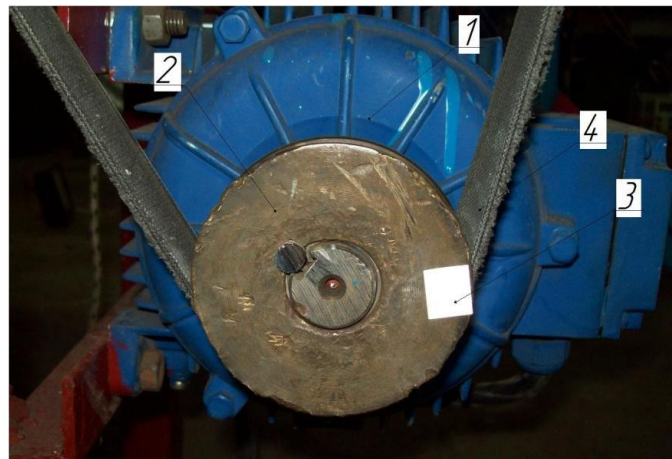


Рис. 2.5. Привід транспортуючого робочого органу: 1 – електродвигун; 2 – шків; 3 - світловідбивна пластина; 4 – ремінь клинної.

Встановивши необхідні налаштування зерносушарки, завантажувальний бункер засипали попередньо підготовлені порції зерна і заміряли потужність, споживану нагрівальними елементами першої та другої секції ТРО на нагрівання робочої поверхні, а також потужність, що витрачається електродвигуном для приведення в рух ТРО.

Крім того, проводили замір кількості висушеного зерна m в установці за певний проміжок часу ($t = 15$ с):

$$Z = \frac{m}{t} \cdot 4, \text{ кг/год} \quad (2.2)$$

Далі вироблявся замір температури оброблюваного зерна після сушіння термометром інфрачервоного типу марки Mastech моделі MS6530. Похибка вимірювання температур варіюється в межах $-20...50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,5\%$, а при температурах $51...537\text{ }^{\circ}\text{C} - \pm 1,0\%$ (рисунок 2.5).



Рис. 2.6. Термометр інфрачервоний: 1 – кнопка підсвічування; 2 - кнопка вибір шкали C/F; 3 – кнопка перемикавання режимів; 4 – кнопка включення лазерного покажчика; 5 - індикатор фіксації максимальних та мінімальних значень; 6 – індикатор середньої величини; 7 – перший індикатор температури; 8 – індикатор випромінювання лазера; 9 – індикатор процесу вимірювання; 10 – індикатор фіксації показань; 11 – індикатор низького заряду батареї; 12 - шкала вимірювання $^{\circ}\text{C}$; 13 - шкала виміру $^{\circ}\text{F}$; 14 – другий індикатор температури; 15 – курок

Робота інфрачервоного термометра проходить в такий спосіб. Натисканням на курок 15 прилад включається, після чого лазерним прицілом, який включається за допомогою кнопки 4, здійснюють вибір поверхні, на якій буде проводитися вимірювання температури. Щоб вивести цифрове значення на екран, необхідно повторно натиснути на курок. Кнопка 3 потрібна для вибору необхідного значення температури вимірюваної області: середнє, мінімум, максимум, різницю між максимальним та мінімальним значенням вимірювання.

При вимірі температури на виході установки показник не повинен перевищувати $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ для насіннєвого зерна та $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ - для продовольчого.

Потім висушене зерно охолоджують до температури навколишнього середовища та вимірюють його вологість з трикратною повторністю.

Після доведення температури висушеного зерна до температури, що відповідає навколишньому середовищу, вимірювали вологість вологоміром Will-55 за методикою, що відповідає виміру вологості перед сушінням.

Для отримання середнього значення досліди були зроблені в кожній точці плану експерименту по три рази. Знайдені під час експерименту показники застосовувалися визначення критеріїв оптимізації.

Грунтуючись на дослідженнях процесу сушіння, які проводилися раніше, результатах пошукових дослідів, а також виходячи з конструкції пристрою, нами взяті наступні рамки зміни основних незалежних факторів процесу видалення надлишкової вологи із зерна: середня температура поверхонь ТРО, що гріють, змінювалася від 112,5 до 137,5 °С, швидкість руху насіння - від 0,14 до 0,28 м/с (таблиця 2.1).

За критерій оптимізації було взято такий показник, як питомі витрати теплоти на 1 кг випареної вологи q , МДж/кг.

У свою чергу результати експериментальних досліджень повинні достатньо і достовірніше показувати вплив факторів на параметр оптимізації. Тому план експерименту затверджуємо план другого порядку. Такі плани дають змогу побудувати повне квадратичне рівняння регресії виду:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2, \quad (2.3)$$

де x_i ($i = 1, 2 \dots n$) - кодовані значення факторів, що впливають на параметр оптимізації y ; b_i , b_{ij} , b_{ii} – коефіцієнти регресії.

Таблиця 2.1 – Рівні варіювання незалежних факторів

Рівні варіювання	Варійовані фактори	
	Середня температура нагрівальної поверхні, °С	Швидкість руху зерна, м/с
Верхній (+1)	112,5	0,14
Основний (0)	125	0,21
Нижній (-1)	137,5	0,28
Інтервал варіювання, Δ_{x1}	12,5	0,07

Середня температура гріючої поверхні береться з розрахунку температури першої та другої секції ТРО.

Число членів рівняння регресії $N_{\text{год}}$ виражається формулою:

$$N_{\text{год}} = 0,5 (n+1)(n+2) \dots \dots \dots (2.4)$$

Кількість коефіцієнтів регресії буде такою самою. У нашому випадку $n = 2$, тому $N = 6$. Виходячи з цього видно, що для їх визначення потрібно проводити досліди, кількість яких не повинна становити менше 10.

Головною перевагою та перевагою некомпозиційних планів другого порядку (Бокса-Бенкіна, Хартлі та ін.) є змінність факторів лише на трьох рівнях: верхньому (+1), нижньому (-1) та основному (0). Виходячи з цього, проводимо некомпозиційне планування експерименту.

Виконуємо нормалізацію факторів, при якій здійснюється лінійне перетворення факторного простору з перенесенням початку координат у центр експерименту та вибір масштабу по осях в одиницях варіювання факторів за формулою:

$$\bar{x}_i = \frac{(x_i - x_{i0})}{\Delta x} \quad (2.5)$$

Іє $\bar{x}_i$ – нормалізоване значення фактора; x_{i0} - натуральне значення фактора на основному рівні; x_i – натуральне значення фактора; Δx_i - натуральне значення інтервалу варіювання фактора:

$$\Delta x_i = 0,5 (x_i^B - x_i^H) \quad (2.6)$$

де $x_i^B - x_i^H$ - значення фактора відповідно на верхньому та нижньому рівнях.

Отримана математична модель в кодованих значеннях факторів дозволить оцінити рівень впливу на параметр оптимізації як кожного з них, так і творів факторів (при суттєвості коефіцієнтів рівняння регресії).

На протязі всього часу експерименту використовувалися повірені прилади. Їх характеристики зазначені у таблиці 2.2.

Для того щоб знайти пропускну здатність зерносушарки, застосовували стандартну методику, яку можна визначити з виразу:

$$Q = 3,6 m_0 / t_0, \quad (2.7)$$

де m_0 - маса зерна щодо досвіду, кг; t_0 – час проведення досвіду, с.

Вираз, необхідний для визначення питомих витрат енергії на 1 кг випареної води, має такий вид:

$$q = 3,6 \cdot 10^3 Q \Delta \omega / \sum N_e, \quad (2.8)$$

де $\Delta \omega$ – зниження вологості, %; $\sum N_e$ – сумарна енергія, необхідна проведення операції сушіння зерна, Вт·год, зокрема енергію, витрачену доведення робочої поверхні ТРО до необхідної температури.

Таблиця 2.2 – Характеристики вимірювальних приладів, що застосовуються для дослідження зерносушарки.

Прилад	Вимірювана величина	Одиниця виміру	Межа вимірювань	Ціна поділу	Клас точності
1	2	3	4	5	6
мультиметр цифровий Mastech MY62	температура поверхні кожуха	°C	-20...1000	0,5	1
лічильник електричний ЦЭ6803Т	Кількість електроенергії, що споживається	кВт	0...16000	0,1	1
амперметр Э-377	сила струму	А	10	0,5	1,5
вольтметр М381	Напруга	В	250	10	1,5
термометр інфрачервоний	температура зерна	°C	-20...537	0,1	1
вологомір	вологість зерна	%	8...35	0,1	0,5
електронний секундомір КТJ TA-228	Час нахождення зерна в зерносушарці	с	-	0,01	0,5

Пропускна здатність зерносушарки визначалася методом зважування декількох порцій зерна, що пройшли через зерносушарку за тимчасові рамки, після чого отриману масу зерна ділили на час дослід.

Висновки по розділу

В другому розділі магістерської роботи розроблена методика експериментальних досліджень зерносушарки контактного типу.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА

Відповідно до методики були визначені конструктивні параметри ТРО, які наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Оптимальні конструктивні параметри пропонованої зерносушарки

Параметри	Розрахункові залежності	Отримані значення
Ширина ТРО, м	$B = \frac{Q}{q_B}$	0,27
Довжина ТРО, м	$l_{\text{тро}} = \frac{Q}{q_F B}$	2,8
Высота бортов ТРО, м	$h_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{2v}{\omega}} - \sqrt{\frac{2\pi^2 v}{\omega} - \frac{2\pi Q \sqrt{2v}}{\rho B K_n A \omega \sqrt{2v} \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}}$	0,12
Довжина ступеня, м	$\varepsilon_B = r[\cos \eta_1 - \cos \eta_2 - (\eta_2 - \eta_1) \cdot \sin \eta_1 - \frac{1}{2}(\eta_2 - \eta_1)^2 \cos \eta_0]$	0,045
Висота ступеня, м	$0,01 \leq h_2 < 0,015$	0,012
Кут нахилу ступеня, град	$\sin \alpha_1 = \frac{h_2}{l_{\text{ступ}}}$	15
Маса врівноважуючого вантажу, кг	$m_{\text{тро}} = m_{\text{тр}}$	32

Застосування розрахункових залежностей для отримання конструктивних параметрів ТРО дозволить створити сушарку, яка дозволить забезпечити необхідну якість зерну при видаленні надлишкової вологості з нього, а також сушити широкий спектр культур, що робить пропонований пристрій.

На рисунках 6 наведено результати розрахунків для вібротранспортера з характеристиками $\omega = 12840 \text{ с}^{-1}$ та 15060 с^{-1} – частота коливань віброповерхні.

Залежно швидкості v переміщення частки від частоти коливань ω представлені на рис.3.1.

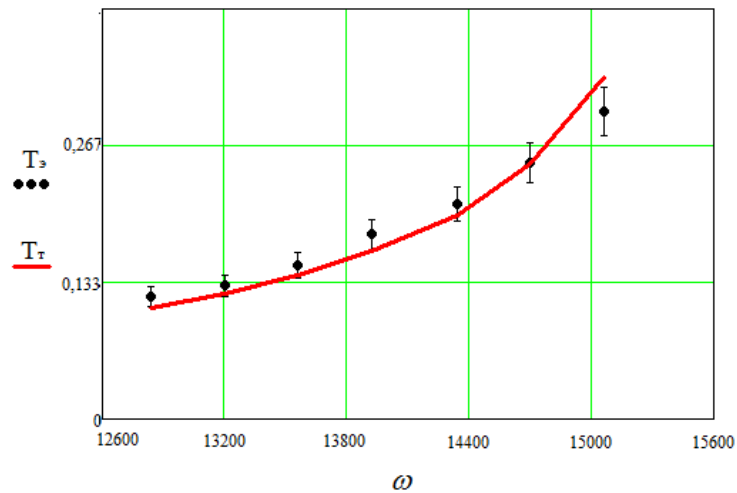


Рис. 3.1. Залежність швидкості v переміщення частки від частоти коливань ω : T_t – теоретична залежність, T_e – експериментальні значення.

Проведені дослідження показують, що при збільшенні кута підйому площини швидкість транспортування частинок знижується, при цьому для тихохідних режимів спостерігається інтенсивніше зменшення швидкості. Сприятливий вплив на швидкість переміщення частки також зменшує кут вібрації.

Результати вимірювань розмірно-масових характеристик насіння третікале представлені. Під час обробки даних за допомогою методів математичної статистики було отримано таке.

Середнє арифметичне значення довжини, ширини та товщини зерна третікале рівні – 7,23; 2,77; 2,65 мм відповідно;

- дисперсія s^2 – 0,06; 0,005; 0,006 мм² відповідно;

- стандартне відхилення s_o – 0,245; 0,07; 0,077 мм відповідно;

- коефіцієнт варіації K_{var} – 3,39; 2,52; 2,9% відповідно;

- помилка вибіркової середньої $S_{виб}$ – $\pm 0,014$; $\pm 0,004$; $\pm 0,004$ мм відповідно.

Коефіцієнт варіації K_{var} є відносним показником мінливості. Мінливість вважають незначною, якщо коефіцієнт варіації K_{var} вбирається у 10 %, середньої при $K_{var} = 10 \dots 20$ % і значної, якщо $K_{var} > 20$ %. Результат дослідження виявив, що мінливість довжини, ширини та товщини зернівки третікале незначна.

У процесі експерименту було досліджено таку фізико-механічну властивість зерна, як вологість.

Вологість насіння визначали за допомогою приладу Wille-55 у кожній точці плану експерименту.

У нашому пристрої використовується теплоізолюючий базальтовий матеріал, що має вогнезахисні властивості, товщина якого становить 10 мм. Показники даної теплоізоляції представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні характеристики теплоізоляції МБОР 10Ф

Характеристики	Значення
Група горючості	Негорюча
Поверхнева густина, г/м ²	1115
Теплопровідність, Вт/(м·К), при 25°C	0,033
Теплопровідність, Вт/(м·К), при 125°C	0,051
Теплопровідність, Вт/(м·К), при 300°C	0,09

За допомогою тепловізора Testo 875 були зроблені знімки поверхні кожуха, який покритий теплоізолюючим матеріалом для першої (рисунок 3.2 а) та другої (рисунок 3.2 б) секції робочого органу, що транспортує. На них вибирали три довільні точки для визначення температури, а також точку на поверхні, що гріє, для визначення різниці температур. Результати вимірів представлені у таблиці 3.3.

За результатами виміри проводили в 4-х точках

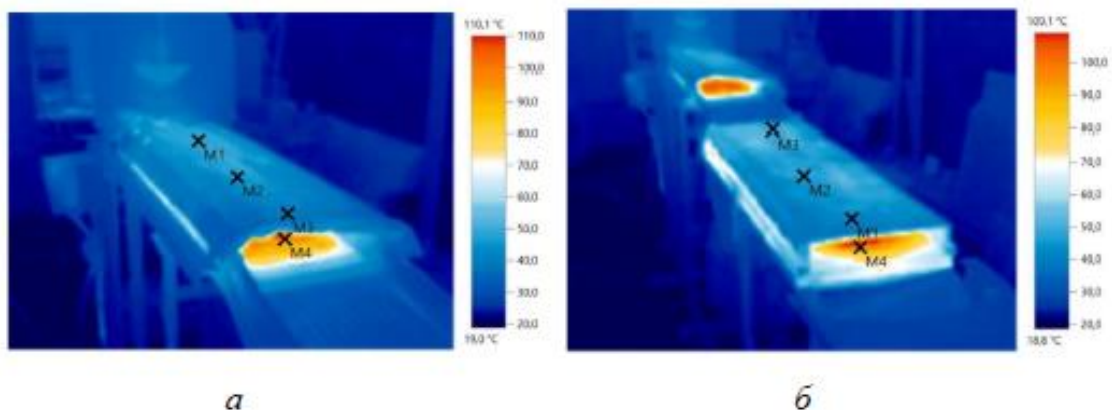


Рис. 3.2. Знімки поверхні кожуха транспортуючого робочого органу

Таблиця 3.3 – Температурні характеристики аналізованої поверхні

Об'єкти, що вимірюються	Температура поверхні 1 секції ТРО	Температура поверхні 2 секції ТРО
M1	48,7	39,5
M2	46,1	46,6
M3	40,5	48,6
M4	99,6	98

З таблиці видно, що теплоізолюючий матеріал утримує температуру в робочій зоні пристрою. Так, при температурі гріючої поверхні 99 °С температура на поверхні теплоізолюючого матеріалу вдвічі менша (приблизно 45 °С).

Таким чином можна зробити висновок, що застосування теплоізоляції на запропонованому нами пристрої дозволяє знизити втрати теплоти, що знизить витрати енергії на процес сушіння.

Насамперед було проведено дослідження впливу швидкості руху повітря на такі показники зерна, як кінцева вологість та зміна температури оброблюваного матеріалу після проходження скатної дошки. Результати експерименту показали, що зміна швидкості повітряного потоку в запропонованому пристрої від 1 м/с до 3,5 м/с фактично не мають впливу на процес видалення надлишкової вологи із зерна. Це тим, що з максимальної пропускної спроможності установки 5 кг/с і досягаємо максимальному зніманні вологи із зерна у ній 3,7 % у внутрішній простір надходить всього 0,0185 кг/с вологи. Для її видалення достатньо швидкості повітря, яку йому повідомляє за свого руху ТРО установки. Тому потреби у надходженні додаткових обсягів повітря у внутрішній простір установки відсутня.

Пропонована зерносушарка має конструктивну особливість: розділення ТРО на дві секції та встановлення між ними скатної дошки, через яку проходить повітря. Кожна секція ТРО має можливість регулювання температури гріючої поверхні незалежно один від одного. Виходячи з цього, дослідження проводили за:

- постійній температурі першої секції ТРО та зміні температури другої секції ТРО;

- постійній температурі другої секції ТРО та зміні температури першої секції ТРО.

Під час проведення експериментальних досліджень установки для сушіння зерна використовували зернову культуру, як третікале. Вибір даної культури обумовлений тим, що вона має підвищену зимостійкість, менш вимоглива до родючості ґрунтів, а також утворює більшу кількість зерен у колосі, ніж пшениця або жито. Крім того, посівних площ, на яких висівають третікале, з кожним роком стають більшими, що доводить її невибагливість та затребуваність [7].

Рівняння регресії, що показує вплив основних незалежних факторів процесу сушіння зерна третікале на енерговитрати, що припадають на одиницю випарованої вологи, у натуральних значеннях факторів має такий вигляд:

$$q = 48,113 - 0,7583 t_n + 30,5436 \vartheta + 0,0034 t_n^2 - 0,3817 t_n \vartheta - 32,0694 \vartheta^2 \quad (3.1)$$

де q - енерговитрати, що припадають на одиницю випареної вологи, МДж/(кг вологи); ϑ - швидкість руху повітря, м/с; t_n - середня температура поверхні, що гріє, °С.

Графік поверхні відгуку, який характеризує вплив швидкості руху зерна та середньої температури поверхні, що гріє, на енерговитрати, що припадають на одиницю випареної вологи, зображений на малюнку 3.3.

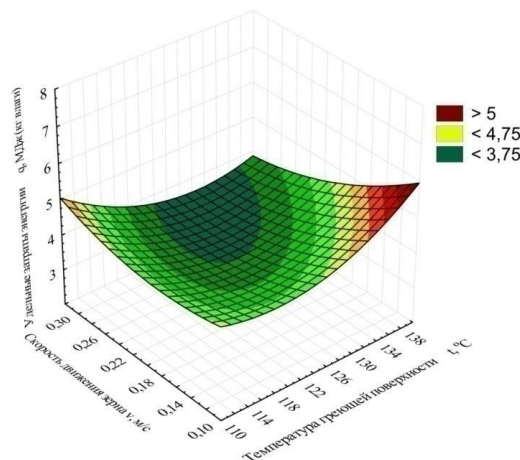


Рис. 3.3. Поверхня відгуку від взаємодії швидкості руху зерна та середньої температури гріючої поверхні

При кодуванні значень факторів рівняння (3.1) отримаємо наступне:

$$Y = 3,7127 + 0,0341x - 0,3342y + 0,5258x^2 - 0,4286xy + 0,2666y^2 \quad (3.2)$$

де Y - енерговитрати, що припадають на одиницю випареної води; x - середня температура гріючої поверхні t ; y - швидкість руху зерна в установці V .

Порівняння коефіцієнтів другого рівняння показав, що параметр оптимізації при сушінні зерна третікале в запропонованій установці з контактним підведенням теплоти з лінійних членів найбільше впливає середня температура гріючої поверхні x , а найменше - швидкість руху зерна y .

Після формалізації процесу сушіння та отримання наочного уявлення про поверхні відгуку, було виконано їх аналіз методом двовірних перерізів з використанням закодованих величин факторів.

Аналіз побудованих двовірних перерізів поверхні відгуку дає можливість порівняння значень критерію оптимізації, які відповідають змін рівням кожної пари факторів, що задаються.

Щоб побудувати двовірний переріз поверхні відгуку, зображеного на малюнку, необхідно кодоване рівняння (3.2) диференціювати по кожній змінній, після чого були вирішені наступні системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dY}{dx} = 1,05x - 0,43y + 0,03; \\ \frac{dY}{dy} = -0,43x + 0,53y - 0,33. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1,05x - 0,43y + 0,03 = 0; \\ -0,43x + 0,53y - 0,33 = 0. \end{cases} \quad (3.3)$$

$$x = 0,33; y = 0,89.$$

Підставивши отримані значення x та y в вихідне рівняння (3.1), отримаємо таким чином, оптимальне значення питомих витрат енергії в центрі поверхні (у локальному мінімумі) $Y = 3,57$ МДж/(кг води).

Далі канонічно перетворювали рівняння (3.2). Для цього вирішували характеристичне рівняння:

$$f(B) = \begin{vmatrix} b_{11} - B & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} - B \end{vmatrix} = B^2 - (b_{11} + b_{22})B + (b_{11}b_{22} - 0,25b_{12}^2) = 0, \quad (3.4)$$

де b_{11} – коефіцієнт при x_2 ; b_{22} – коефіцієнт при y_2 ; b_{12} – коефіцієнт при x_1y_1 .

$$B^2 - (0,53 + 0,27) \cdot B + (0,53 \cdot 0,27 - 0,25 \cdot (-0,43)^2) = 0 ;$$

$$B^2 - 0,8B + 0,097 = 0 ;$$

$$B_{11} = 0,15;$$

$$B_{22} = 0,65.$$

Рівняння в канонічній формі має такий вигляд:

$$Y_{34} - 3,57 = 0,15x^2 + 0,65y^2. \quad (3.5)$$

Виконана перевірка підтвердила точність розрахунків:

$$\sum_1^2 b_{ii} = 0,53 + 0,27 = 0,8;$$

$$\sum_1^2 B_{ii} = 0,15 + 0,65 = 0,8.$$

Двовимірне переріз поверхні відгуку, що відображає залежність енерговитрат, що припадають на одиницю випаруваної вологи від спільного впливу температури поверхні та швидкості руху зерна, представлено на рис. 3.4.

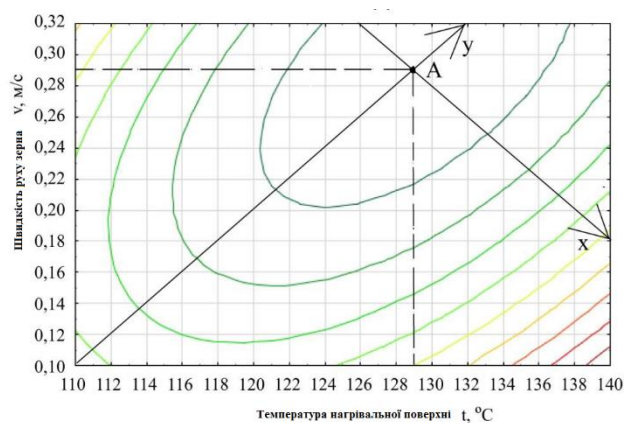


Рис. 3.4. Двовимірний переріз поверхні відгуку, що характеризує вплив v_z і t_n на q_{y0}

Аналіз рисунка 3.4 показав, що оптимальні значення незалежних факторів: $V_z = 0,29$ м/с; $t_n = 129$ °С, яка досягається за температури першої секції ТРО 150

°C і температури другої секції ТРО 108 °C. При цьому енерговитрати, що припадають на одиницю випареної вологи, мають невелике значення і становлять 3,57 МДж/(кг вологи).

З урахуванням отриманих оптимальних значень можна визначити максимальну пропускну здатність пристрою. Однак при даній швидкості руху зерна, крім максимальної, що дорівнює 375 кг/год, можна забезпечити ще три варіанти пропускну здатності, які залежать від ступеня відкриття заслінки на завантажувальному бункері, а саме: 79 кг/год, 221 кг/год та 300 кг/ год. На перший погляд може здатися, що найбільш вигідною є максимальна пропускну здатність. Однак експериментальні дослідження показали, що при її використанні не досягається необхідна якість сушіння, так як зерно на початку руху по транспортній дошці починає завантажуватися, після чого розподіляється на ній у кілька шарів. Це не забезпечує здійсненності однієї з ключових умов сушіння зерна при контактному способі, а саме, забезпечення тонкошарового переміщення матеріалу, що висушується для його рівномірного нагріву. Тому вибираємо пропускну здатність установки, за якої буде виконуватися умова тонкошарового руху оброблюваного матеріалу. Рациональна пропускну здатність при забезпеченні зазначеної вище умови становить 221 кг/год.

Оскільки оптимальні значення вибраних нами незалежних факторів процесу сушіння забезпечуються при зміні пропускну спроможності установки в заданих межах для першого варіанту досліджень (постійна температура першої секції ТРО і температура другої секції ТРО, що змінюється), то питомі витрати енергії на процес сушіння зерна істотно не змінюються і становлять 3,57 МДж/(кг вологи) на оптимальному режимі роботи. Цей факт було перевірено та підтверджено у процесі подальших досліджень установки.

Аналогічним чином був виконаний розрахунок для випадку, коли температура поверхні, що гріє другої секції ТРО постійна, а температура першої секції змінюється. В результаті було отримано відповідне двомірне переріз поверхні відгуку (рис. 3.5).

За поданим на малюнку двовірним перерізом можна визначити, що оптимальна температура поверхні t_n становить приблизно $121\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однак точка оптимального значення швидкості руху зерна v_z знаходиться за межами області дослідження. Отже, для даного випадку оптимальними значеннями незалежних факторів будуть $v_z = 0\text{ м/с}$ і $t_n = 121\text{ }^{\circ}\text{C}$. Але при швидкості руху зерна, що дорівнює нулю, воно перебуватиме в нерухомому стані, а безперервний процес сушіння перейде в категорію періодичних. Цей випадок при контактному підведенні теплоти супроводжується локальним перегрівом матеріалу, що висушується і, відповідно, різким зниженням якості готового продукту. Тому витрати енергії на процес сушіння слід мінімізувати з урахуванням забезпечення заданої пропускної спроможності установки. Аналіз практики використання селекційних сушарок показав, що їхня пропускна здатність повинна бути не менше 50 кг/год , що забезпечується при $v_z = 0,06\text{ м/с}$.

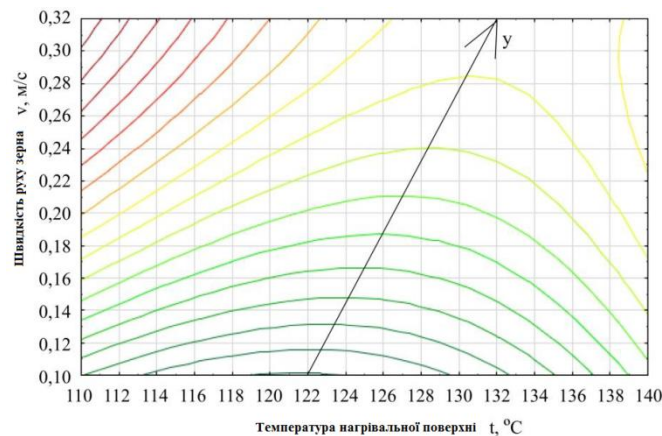


Рис. 3.5. Двовірний переріз поверхні відгуку, що характеризує вплив v_z і t_n на $q_{y\partial}$

Для того, щоб визначити оптимальну швидкість руху зерна, побудуємо двовірний переріз поверхні відгуку, що характеризує вплив пропускної спроможності Q і температури гріючої поверхні t_n на енерговитрати, що припадають на одиницю випаруваної вологи. (рис. 3.6 а).

Проаналізувавши отриманий двовірний переріз можна зробити висновок, що оптимальною є пропускна здатність від 10 кг/год до 300 кг/год . При пропускній здатності $Q = 10\text{ кг/год}$ питомі витрати енергії становлять близько

3,8 МДж (кг вологи), а за $Q = 300$ кг/год даний показник становить приблизно 5,8 МДж (кг вологи). Для наочного уявлення про характер зміни питомих витрат енергії залежно від пропускної спроможності пристрою було побудовано відповідний графік (рис. 3.6 б).

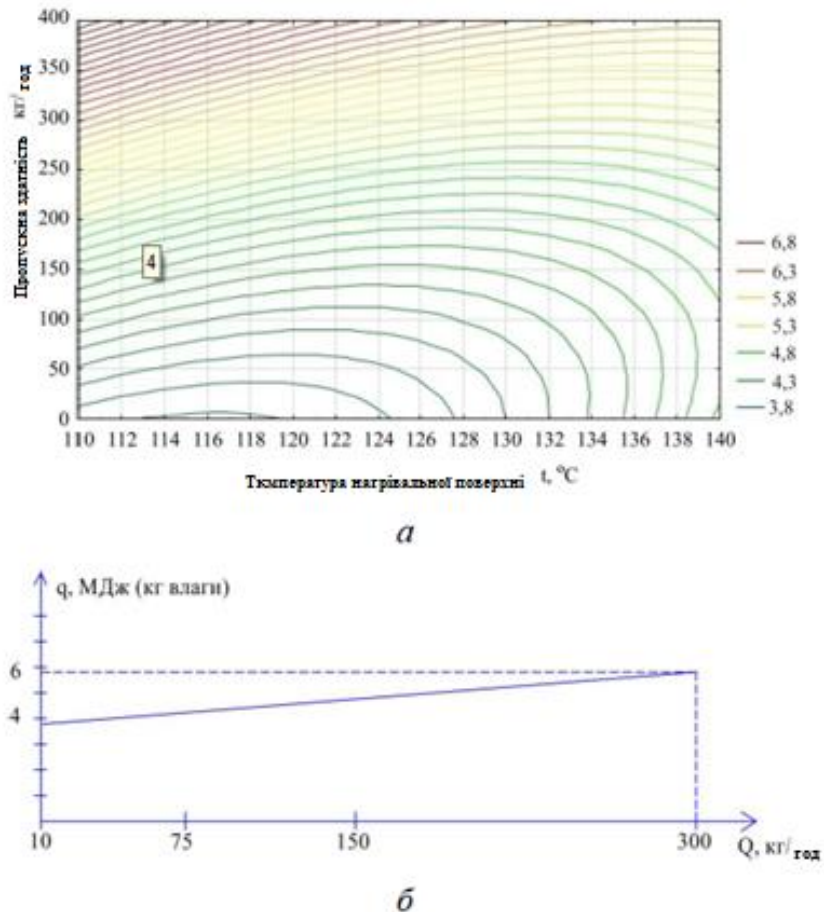


Рис. 3.6. Поверхня по відгуку: а – двомірне переріз поверхні відгуку, що характеризує вплив Q і t_n на q_{y0} ; б – залежність питомих витрат енергії від пропускної спроможності установки.

Аналіз графіка показав, що в межах області експерименту за відносно невеликої різниці питомих витрат енергії пропускна здатність істотно різниться. Так, при збільшенні пропускної здатності пристрою в 30 разів питомі витрати енергії збільшуються всього в 1,5 рази, тому найефективніше використання пристрою за максимальної пропускної здатності. Однак у цьому випадку, як уже було сказано вище, зерно рухається по нагрітій поверхні кілька шарів, що погіршує якість висушеного матеріалу. Тому для забезпечення тонкошарового

руху зерна оптимальна пропускна здатність $Q = 200$ кг/год. Така пропускна здатність забезпечується за швидкості руху зерна $v_z = 0,15$ м/с.

Таким чином, для другого варіанту досліджень (постійна температура другої секції ТРО та змінна температура першої секції ТРО) ми отримали наступні раціональні значення незалежних факторів: $\tau = 18$ с, $v_z = 0,15$ м/с, $t_n = 125$ °С. У цьому питоми витрати на процес сушіння зерна становлять 4,2 МДж/(кг вологи).

Післязбиральна обробка зерна третікале має на увазі проходження декількох етапів, що включають:

- 1) прийом та попереднє очищення зерна;
- 2) транспортування зерна до складських приміщень;
- 3) сушіння зерна;
- 4) транспортування зерна у сховище, налічує складські приміщення загальною площею 4000 м². За допомогою автомобіля КамАЗ-4514 здійснювалося транспортування зерна до місця зберігання. Для попереднього очищення зерна застосовували зерноочисний комплекс ЗАВ-10.

На етапі видалення надмірної вологи із зерна застосовувався запропонований нами пристрій.

Протягом усього періоду проведення операції сушіння проводили замір вологості зерна третікале до та після обробки, проводили контроль температури нагріву зерна на виході з сушарки та середню температуру поверхні, що гріє. Крім того, вдалося визначити потрібний показник, а саме витрати теплоти на 1 кг випареної вологи.

У процесі сушіння зерна на виробництві КФГ були практично обґрунтовані ранні отримані значення лабораторних випробувань, що включають середню температуру гріючої поверхні ТРО (112,5...137,5 °С), знімання вологи за один прохід (1,5...3,5 %), температура зерна на виході із сушильного пристрою (25...38 °С). Через війну витрати теплоти на 1 кг випареної вологи змінювалися у діапазоні 3,5...7,2 МДж. На основі отриманих

даних можна з упевненістю говорити про ефективність процесу сушіння у пропонованій зерносушарці. Якість зерна на виході не знижувалося в заданому діапазоні температур.

Після проведення всіх необхідних післязбиральних операцій зерно укладалося у бургт, висота якого не перевищувала 2,5 м-коду.

Загальний вид технологічної лінії підробітку зерна представлений рис. 3.7.



Рис. 3.7. Технологічна лінія підробітку зерна: 1 – зернонавантажувач ЗПС – 100; 2 - зерносушарка контактного типу з коливальним ТРО; 3 – контрольно-вимірювальна апаратура; 4 – зерно металік ЗМ - 60

Результатом виробничих випробувань стало підтвердження її працездатності. У ході сушіння зерна відмов та поломок зерносушарки не виявлено.

Основні показники роботи зерносушарки при видаленні надмірної вологості, отримані за підсумками виробничих досліджень, порівняно з результатами лабораторних досліджень, представлені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Порівняльні показники роботи зерносушарки при видаленні надмірної вологості

Показники	Значення показників		
	теоретичні дослідження	лабораторні дослідження	виробничі дослідження
Пропускна здатність пристрою, кг/год:	215...225	221	221±4,3%
Разове вологознімання, при сушінні зерна, %	2,5...3,5	3	3±3,2%
Температура зерна після видалення надмірної вологості на виході з установки, °C	36...38	37	37±3,7%
Енерговитрати на одиницю маси випарованої води із зерна третікале, МДж/кг води	3,2...3,6	3,57	3,57±4,0%

Основні показники процесу сушіння зерна, отримані внаслідок виробничих досліджень, відхиляються від показників, отриманих у ході теоретичних, лабораторних та виробничих досліджень, не більше ніж на 4,5 %, що свідчить про хорошу збіжність результатів.

Висновки по розділу

В результаті досліджень встановлено, що запропонована нами конструкція зерносушарки контактного типу з коливальним транспортуєчим робочим органом має перспективи подальшого застосування в даному господарстві.

ВИСНОВОК

Проведений аналіз технологій та пристрої для сушіння зерна показав перспективність використання в невеликих підприємствах пристроїв з контактним способом підведення теплоти до продукту, що висушується. При цьому можна висушити зерно з меншими енерговитратами за збереження якісних показників процесу.

Запропоновано пристрій для сушіння зерна контактного типу. Він включає кожух, поверхня якого покрита шаром теплоізолюючого матеріалу. Усередині кожуха розташований транспортуючий робочий орган, виконаний у вигляді короба зі ступінчастою поверхнею та можливістю передачі йому коливань. Коливання передаються за допомогою приводу. Транспортуючий робочий орган виконаний багатосекційним, причому секції розташовані послідовно один за одним таким чином, що кожна наступна секція була встановлена нижче за попередню.

На підставі результатів проведених лабораторних досліджень розроблено адекватні математичні моделі процесів сушіння зерна у запропонованій зерносушарці. Аналіз отриманих математичних моделей процесу сушіння зерна дозволив виявити оптимальні значення основних незалежних факторів, при яких енерговитрати на одиницю маси випаруваної вологи із зерна третікале $q_{y\partial}$ становлять 3,57 МДж/кг вологи: температура першої секції ТРО – 150 °С, температура другої секції ТРО 108 °С (середня $t_n = 129$ °С), час сушіння зерна $\tau_{onm} = 10$ с, швидкість руху зерна $v_z = 0,29$ м/с. Пропускна здатність пристрою при цьому становить 221 кг/год.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Справочник по качеству зерна / Под ред. Г.П. Жемелы. – 3-е изд., перераб. и доп. Киев, 1988. 216 с.
2. . Мерко І.Т. Наукові основи і технологія переробки зерна. Одеса, 2001. 348 с
3. Кирпа Н.Я. Развитие оборудования и технологий для первичной обработки, сушки и хранения зерна в хозяйствах АПК. Хранение и переработка зерна. Днепр, 2000. С. 24-27.
4. Данильчук П.В. Довідник по зберіганню зерна. Київ, 1989. 96 с.
5. Шмат К.І., Диневич Г.Ю., Карманов В.В. та ін. Технологія і обладнання для зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. Херсон, 2001. 160 с.
6. Мельник Б.Е., Малин Н.И. Справочник по сушке и активному вентилированию зерна. Москва, 1980. 175 с
7. Шаповаленко О.І., Шаран О.В. Вплив інфрачервоного сушіння на якість проростання зерна пшениці. Наукові праці Одеської державної академії харчових технологій. Одеса, 2002. Вип. 24. С. 22-24
8. О. Шаповаленко О.І. Мікрохвильова обробка пшеничних зародків і сушіння інфрачервоним випромінюванням. Зерно і хліб. Київ, 2000. № 4. С. 20-21.
9. Пахомов В.И. О сушке зерна с использованием СВЧ-энергии. Перспективные направления совершенствования средств механизации в полеводстве. Зерноград, 1985. С. 59-63.
10. Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. Москва, 1972. 320 с.
11. Принцип роботи модульних (колонкових) зерносушарок «Сапфір». Мала Виска, 2015. URL: http://www.mzeo.com.ua/?page_id=13 (дата звернення: 22.06.2016).

12. Паламарчук І.П., Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В. та ін. Обґрунтування схеми віброозонуючої сушарки для післязбиральної обробки. Наукові праці Національного університету харчових технологій. Київ, 2016. № 6. С. 151-156.

13. Цуркан О.В., Пришляк В.М., Присяжнюк Д.В. Інтенсифікація сушіння зерна у процесі його післязбиральної обробки. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця, 2017. № 2 (97). С. 99-104.

14. Бойко Н.Г., Устименко Т.А. Теория и методы инженерного эксперимента. Донецк, 2009. 158 с.

15. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Москва, 1998. 219 с.