



Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту Пастуху Роману Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення процесу сушіння зерна кукурудзи у мобільній зерносушарці Zaffrani 210 з використанням альтернативного палива

Керівник роботи Хомик Надія Ігорівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 22 » січня 2026 року № 4/9-56

2. Термін подання студентом завершеної роботи 26 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи тип сушарки – мобільна зерносушарка Zaffrani 210; температура агента сушіння – до 130°C; потужність електродвигунів – 55кВт, потужність приводу від ВВП трактора – 75 к.с.; об'єм паливного бака – 900 л; насипна густина зерна кукурудзи – 720 кг/м<sup>3</sup>; початкова вологість зерна кукурудзи – 26-32%; додаткове обладнання: завальна яма, норія, сепаратор У13-СПВ, система аспірації, циклон для уловлювання пилу. Альтернативне паливо – бітумне паливо. Культура для розрахунків – кукурудза; режим роботи сушарки – циклічний.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. 1. Зерносушарки та вимоги до сушіння зерна. 2. Удосконалення процесу сушіння зерна кукурудзи у сушарці.

3. Рішення з покращення процесу сушіння зерна кукурудзи у зерносушарці

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точних зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Мета, предмет, об'єкт, задачі дослідження. 2. Огляд різновидів зерносушарок. 3. Будова та робочий процес зерносушарки Zaffrani 210. 4. Схема руху зерна і теплоносія у сушарці Zaffrani 210.

5. Робочий цикл зерносушарки Zaffrani 210. 6. Конструктивні рішення з покращення процесу сушіння зерна кукурудзи у зерносушарці. 7. Зміни у пальниковій системі зерносушарки Zaffrani 210.

8. Системи пилоочищення зерносушарок. Безпека життєдіяльності при використанні зерносушарок.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Лазарюк В.В., к.т.н., доцент. каф. МТ		

7. Дата видачі завдання

22 січня 2026 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін етапів виконання роботи	Примітка
1	Зерносушарки та вимоги до сушіння зерна	до 20.02.2026	
2	Удосконалення процесу сушіння зерна кукурудзи у сушарці	до 20.03.2026	
3	Рішення з покращення процесу сушіння зерна кукурудзи у зерносушарці	до 30.05.2026	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	до 10.06.2026	
9	Реферат. Вступ. Загальні висновки	до 10.06.2026	
10	Ілюстративний матеріал	до 10.06.2026	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Пастух Р.О.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Хомик Н.І.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Автор роботи – Пастух Роман Олегович.

**Тема роботи** – «Удосконалення процесу сушіння зерна кукурудзи у мобільній зерносушарці Zaffrani 210 з використанням альтернативного палива». Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя.

**Керівник роботи** – Хомик Надія Ігорівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку посилань (32 найменування), додатки на 5 сторінках. Загальний обсяг текстової частини – 61 сторінка, на яких є 24 рисунки та 4 таблиці. Ілюстративний матеріал розміщений на 8 аркушах формату А4.

**Актуальність теми роботи.** Найбільш ефективніший спосіб підготовки зерна, зокрема кукурудзи, для переробки чи тривалого зберігання, – це сушіння. Покращення конструктивно-технологічних параметрів сушарки Zaffrani 210 для забезпечення теплового режиму зневоднення зерна кукурудзи при переході на альтернативне паливо (бітум) дозволяє радикально знизити собівартість процесу та досягти енергетичної автономності агрогосподарства.

**Мета роботи:** Підвищення ефективності процесу сушіння зерна кукурудзи у мобільній зерносушарці шляхом використання альтернативного палива, зниження енергетичних витрат, внесення конструктивних змін в обладнання для сушіння зерна та забезпечення якісних показників зерна кукурудзи.

Мета роботи потребує вирішення таких завдань:

- проаналізувати вимоги до сушарок при сушінні зерна та особливості сушіння зерна кукурудзи;
- виконати огляд та аналіз сушарок для сушіння зерна, обґрунтувати доцільність вибору мобільної сушарки для зерна кукурудзи;
- розробити зміни в схемі роботи мобільної зерносушарки при використанні альтернативного палива;
- виконати розрахунки технологічного процесу сушіння зерна кукурудзи з використанням додаткового обладнання та альтернативного палива;
- покращити процес очищення зерна кукурудзи перед сушінням завдяки

- використанню додаткової системи очищення та альтернативної системи пригнічення пилу; покращити процес завантаження зерносушарки;
- внести зміни у палинкову систему зерносушарки Zaffrani 210 для можливості використання альтернативного палива (бітуму);
  - виконати розрахунок витрат на паливо та електроенергію для сушіння зерна кукурудзи;
  - на основі аналізу небезпечних факторів при роботі з мобільними сушарками розробити вимоги охорони праці та протипожежні заходи.

**Об'єкт дослідження:** Мобільна зерносушарка Zaffrani 210

**Предмет дослідження:** Технологічні розрахунки удосконалення процесу сушіння зерна кукурудзи у мобільній зерносушарці та доцільність використання альтернативного палива.

**Практичне значення отриманих результатів.** Встановлено, що мобільна зерносушарка Zaffrani 210 має низку переваг порівняно зі стаціонарними сушарками: відсутність необхідності капітального будівництва, мобільність, універсальність щодо різних культур, можливість автоматизованого контролю процесу сушіння та високу енергоефективність. Запропоновано вдосконалення технологічної схеми сушильного комплексу для сушіння зерна кукурудзи. Вдосконалення реалізується завдяки тому, що базову модель мобільної зерносушарки Zaffrani 210 дообладнано приставною завальною ямою для приймання сировини, високоефективною очисною машиною з системою аспірації та циклоном для вловлювання пилу, а також переведено мобільну зерносушарку на використання альтернативного рідкого палива (бітуму). Прийняті рішення забезпечують повний цикл первинної обробки, очищення й зневоднення зерна кукурудзи за один прохід, що повністю відповідає агротехнічним вимогам під подальше довгострокове зберігання зерна. Розроблено правила техніки безпеки, екологічної безпеки (в частині викидів аспірації) та пожежної безпеки під час роботи на бітумному паливі та регламент технічного обслуговування комплексу для сушіння зерна.

**Ключові слова:** мобільна зерносушарка, зерно кукурудзи, альтернативне паливо, бітум, завальна яма, очисна машина, аспірація, енергетичні витрати, режими сушіння.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ЗЕРНОСУШАРКИ ТА ВИМОГИ ДО СУШІННЯ ЗЕРНА.....	8
1.1. Вимоги при сушінні зерна.....	8
1.2. Особливості сушіння зерна кукурудзи.....	13
1.3. Огляд сушарок для сушіння зерна.....	16
1.4. Обґрунтування теми.....	21
2. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ У СУШАРЦІ.....	22
2.1. Обґрунтування вибору мобільної сушарки.....	22
2.2. Зміни в схемі роботи сушарки.....	25
2.3. Розрахунки технологічного процесу сушіння зерна кукурудзи.....	28
3. РІШЕННЯ З ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ У ЗЕРНОСУШАРЦІ.....	31
3.1. Зміни у процесі завантаження зерносушарки.....	31
3.2. Покращення процесу очищення зерна перед сушінням.....	35
3.3. Зміни у паливковій системі зерносушарки Zaffrani 210.....	38
3.4. Розрахунок витрат на паливо та електроенергію для сушіння зерна кукурудзи.....	44
3.5. Визначення терміну окупності обладнання.....	46
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	48
4.1. Вимоги охорони праці під час використання зерносушарки.....	48
4.2. Аналіз небезпечних факторів при роботі з мобільними сушарками.....	51
4.3. Протипожежні заходи під час експлуатації зерносушарки.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕДІК ПОСИЛАНЬ.....	58
ДОДАТКИ.....	62

## ВСТУП

Обробка зібраного зерна практично всіх сільськогосподарських культур поєднує технологічні операції, які підвищують стійкість врожаю до зберігання. Завдяки цьому можна суттєво зменшити ризик псування зерна спричинений природним процесом гідролізу, активація якого посилюється наявністю у зібраному зерні решток бур'янів. Набір операцій післязбиральної обробки врожаю зернових культур залежить від початкового його стану, особливостей культури та призначення кінцевого продукту. До таких робіт належать очищення, сортування, вентилювання, сушіння зерна та охолодження.

Зібране зерно одразу обов'язково очищають від сторонніх домішок, якими є грудки ґрунту, металеві включення, насіння та стебла бур'янів, пил, пісок тощо. Таку обробку виконують, щоб мінімізувати збитки, що можуть виникнути як результат згіршення якісних його показників як насіннєвого матеріалу чи сировини для переробної галузі, запобігши тим самим псуванню частини чи всього об'єму зібраного врожаю.

Використання сучасних сушарок дає змогу обробляти вологе насіння дотримуючись помірної швидкості, щоб запобігти стрімкій дегідратації та розтріскуванню, через що погіршуються якість зерна як насіння, якість зерна як товарного матеріалу чи фуражу. Сушачи зерно гарячим повітрям з нього видаляють надмір вологи та покращують його характеристики завдяки яким його можна зберігати для подальшого використання. На виконання робіт пов'язаних із сушіння зернової маси впливають вид культури, зерно якої сушать, сортові ознаки, період збирання, вміст клейковини тощо.

Здебільшого зібраний врожай зернових закладають на зберігання; частину його у вигляді насіння, товарного та фуражного зерна реалізують на ринку, але не одразу, а в міру появи попиту на нього, тому необхідним є створити оптимальні умови для зберігання зерна завдяки яким можна уникнути негативного впливу факторів, що можуть спричинити зміни властивостей вирощеної продукції. Завдяки сучасним технологіям обробки зерна його можна правильно підготувати для подальшого зберігання та реалізації.

# 1. ЗЕРНОСУШАРКИ ТА ВИМОГИ ДО СУШІННЯ ЗЕРНА

## 1.1. Вимоги при сушінні зерна

Для доведення зерна і насіння різних сільськогосподарських культур до потрібного для зберігання стану застосовують одну з основних технологічних операцій – сушіння. Лише за умови, що свіжозібрану зернову масу піддали видаленню надлишкової вологи, тобто зерно доведене до сухого стану, можна бути певним у надійному збереженні отриманої продукції.

Основна умова у післязбиральному догляді за зерном – виконання операцій первинного очищення і сепарації, при яких виділяють із продовольчого зерна різні домішки, серед яких може бути насіння бур'янів, сторонні предмети, наприклад грудочки ґрунту, металеві включення, тощо, зіпсоване й пошкоджене зерно.

З усього зерна, яке вирощують в Україні, сушінню піддають біля 50...70%, особливо в північній та в західній частині, де сушіння зерна є обов'язковим [11, 13, 14, 20, 22, 30, 32].

Сушіння загалом – це процес видалення з оброблюваних матеріалів будь-якої рідини, завдяки чому у них зростає відносний вміст сухих речовин. На практиці при сушінні вологих матеріалів, особливо зерна і насіння, видаляють переважно воду, тому під сушінням розуміють ще й процес зневоднення матеріалів.

Суха зернова маса містить різні живі компоненти, які, окрім шкідливих комах, знаходяться в анабіотичному стані. При незадовільному догляді за зерном через це можливе його псування.

Основний спосіб, який створює належні умови, щоб усі партії насінневого матеріалу різних сільськогосподарських культур зберігали схожість, а також була збережена висока якість продовольчого зерна під час тривалого його зберігання, – це збереження зерна у відповідних приміщеннях

(складах, силосах тощо) у сухому стані, тобто підсушеному до потрібної для зберігання вологості, яка різниться, залежно від властивостей насіння та належності до певної культури, що і сприяло поширенню різних способів сушіння зернових мас, які ґрунтуються на сорбційних властивостях зерна.

Зерно є об'єктом сушіння, тобто – це живий організм, що має капілярно-пористу структуру. Плодові оболонки зерна пронизані капілярами і тому є проникними для парів води. Насіннєві оболонки та алейроновий шар насіння характеризуються відносно малою проникністю вологи і, при неправильному режимі сушіння, призводять до здуття зерна, що викликає затримання з видаленням водяної пари, яка накопичилася всередині ендосперму.

Зародки зерна є дуже чутливими до температури, вони містять білки – водорозчинні альбуміни. Якщо при зберіганні вологого зерна температура досягає вище 41...42°C, наприклад, зерно пшениці, денатурує, в результаті насіннєвий матеріал втрапить схожість. Білки, що містяться у клейковині зерна термостійкіші, однак для сильної пшениці, що має нормальну за пружністю клейковину, температура нагрівання не повинна перевищувати 50°C, при міцній клейковині – 45 і лише при слабкій клейковині – 55°C [20, 22, 30, 32]..

Сушіння є складним технологічним тепломасообмінним процесом, що сприяє збереженню властивостей речовин або поліпшує їх, що забезпечується за умов дотримання оптимальних параметрів сушіння.

Під час сушіння постійно змінюються термодинамічні й теплофізичні властивості зернової маси, а особливо теплоємність та теплопровідність.

Сушіння вимагає дотримання рекомендованих режимів для зерна кожної культури залежно від вологості та його подальшого використання. Перед сушінням зерно обов'язково очищають.

Основні операції під час яких виконують доробку зерна на зерноскладах поєднують у послідовний процес очищення зерна, подальше сушіння, згодом вентилявання, при потребі знезараження. Послідовність виконання операції доробки зерна перед його зберіганням та переробкою залежить від обраної технологічної схеми.

Процес сушіння має відбуватися так, щоб були збережені усі властивості, які залежать від вмісту корисних речовин у зерні, а цього можна досягти лише дотримуючись рекомендованих параметрів процесу сушіння насіння різних культур. Усе це націлює на необхідність суворого дотримання оптимальних режимів при сушінні зерна і насіння кожної культури враховуючи їх вологість та цільове призначення.

Сушіння насіння зернових культур виконують на зернових складах, якщо потрібно [11, 13, 14, 20, 22, 30, 32]:

- знизити вологість сирого (свіжозібраного) і вологого зерна для отримання регламентованих показників якості;
- оздоровити зерно (якщо спостерігається його проростання, поява невластивого запаху, чи зібране морозобійне зерно кукурудзи);
- для знищення шкідників, що потрапили у зерно;
- для охолодження зерна, щоб знизити самозігрівання;
- для освіжування зерна, поліпшення його товарного вигляду (кольору, блиску).

При правильно підбраному режимі сушіння також відбувається фізіологічне дозрівання зерна і поліпшення його якості.

Якщо порушені встановлені режими та правила технічної експлуатації сушарок під час нагрівання зерна вище допустимої температури, то погіршуються його якості, збільшується кількість тріщин у насінні зернобобових культур, рису, зернових культур та знижуються хлібопекарські властивості отриманого з нього борошна.

Основними параметрами режимів сушіння зерна вважають температуру теплоносія, який надходить у сушильну камеру; температуру до якої максимально можна нагрівати зерно; температуру, до якої потрібно охолодити зерно; час витримки, тобто зерно перебуває у нагрітому стані, що співвідноситься з відсотками зниження його вологості [11, 13, 14, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 30, 32]..

Оптимізувати процес сушіння можна, якщо врахувати швидкість переміщення теплоносія, його відносну вологість та вологість зерна на момент початку сушіння.

Обов'язкова умова при сушіння зерна при його високій вологості – температура теплоносія має бути невисока і нагрівання зерна має відбуватися поступово, щоб досягти потрібних показників вологості.

Виходячи з біологічних властивостей і рівня вологості зерна, визначають режим його висушування.

При виборі режиму сушіння партії зерна враховують його максимальну вологість. При формуванні партій зерна (крім зерна рису, ріпаку, соняшнику, кукурудзи) за рівнем вологості до дробки допускається їх розміщувати при сушінні в шахтних зерносушарках у такий спосіб: сухе, середньої сухості разом; вологе; сире до 22%; сире понад 22% з інтервалом у 6%; для кукурудзи в зерні – 5%.

При направленні партій вологого і сирого зерна на технологічні лінії, оснащені рециркуляційними зерносушарками, формування партій проводять без розподілу зерна по стану вологості.

Формувати партію зерна на сушіння рекомендовано так, щоб очікування на сушку вологого зерна становило не більше 24 годин для недопущення початку процесу самозігрівання зернової маси. Найшвидше потрібно забирати на сушіння зерно з найвищими показниками вологості, особливо в теплу погоду. Доцільним є формувати партії зерна залежно від його вологості, завдяки чому можна отримати якісне зерно на виході з зерносушарки, що дозволяє значно скоротити витрати на пальне.

Організацію сушіння зернових культур, контролювання технологічного процесу, вираховування показників якості зерна мають виконувати фахівці зайняті на сушінні та працівники виробничої технологічної лабораторії зернового складу.

Основні параметри, які контролюють під час сушіння зерна, пов'язані один з одним. До них відносять: рівень температури до якої нагрівають повітря

яким сушать, рівень вологості зерна та тривалість сушіння. Одна з основних вимог, яку потрібно враховувати, – тривалість сушіння у початковий період. Вона суттєво залежить від початкової вологості зерна – чим вища вологість, тим швидше потрібно сушити.

Теоретична умова прискорення процесу сушіння – підвищення температури теплоносія, однак воно має свої негативні наслідки – швидко і надміру пересушене зерно стає непридатним у подальшому використанні чи для сівки, чи для переробки.

За умови високої початкової вологості зерна процес сушіння має бути щадним як за рівнем температури теплоносія, так і за тривалістю сушіння. Завдяки цьому можна вберегти зерно від виникнення тріщин та пошкоджень його тканин. Пошкоджене зерно швидко піддається несприятливим біохімічним і мікробіологічним процесам [11, 13, 14, 20, 22, 30, 32].

Режими та способи сушіння зерна вибирають враховуючи його біологічні особливості, але першочерговим параметром є показник вологості партії зерна (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Стан зерна різних культур залежно від вологості

Зернова маса	Сухе, %	Середньо сухе, %	Вологе, %	Сире (більше), %
Пшениця, жито, ячмінь, гречка	14	15,5	17	17
Овес	13	14	16	16,5
Просо	13	15	15,8	15,9
Кукурудза	14	16	18	21
Соняшник, льон	13	14	15	15,5

До моменту початку сушіння зібране вологе зерно не можна зберігати на складах довше ніж одну добу. Для запобігання самозігріванню зерна потрібно постійно провітрювати приміщення, де його зберігають, продуваючи потоком прохолодного повітря і відслідковувати своєчасність відправлення відповідних партій зерна для сушіння.

Завдяки формуванню партій зерна з однаковою вологістю можна швидше отримати якісно висушене зерно і запобігти зайвим витратам палива на процес сушіння. Партії зерна за вологістю формують в оперативні окремі ємності так, щоб різниця у вологості між ними була в межах 1-1,5%, допустимо до 2%.

Недоцільно в одному потоці виконувати сушіння зерна, що має велику різницю у вологості, особливо кукурудзу з відсотками вологості 22% і 26-28%, бо у такому випадку частина зерна буде недосушена, а частина пересушена.

## **1.2. Особливості сушіння зерна кукурудзи**

Кукурудза порівняно з іншими культурами має низьку вологовіддачу. З питомої поверхні зерна кукурудзи випаровування вологи удвічі менше, ніж з питомої поверхні зернин пшениці через щільність оболонки, яка ускладнює процес випаровування. Слід також зауважити, що вологообмінні процеси у зернин кукурудзи, які належать до різних сортів, також різні, бо впливають розміри зерен, їх форма, будова та хімічний склад.

Врахуймо, що кукурудзу на зерно збирають у пізні терміни, часто при настанні заморозків, тобто для неї характерним є тривалість сезону збирання та поступлення на елеватори різних за величиною партій зерна, що надходять від різних сільгоспвиробників, а отже, зерно такої кукурудзи має різну якість і вологість.

Волога зернова маса кукурудзи потребує особливого контролювання температурного режиму та його регулювання. За температури +30°C посилюється природне випаровування вологи із зерна; за температури +38°C починаються процеси бродіння, посилюється ураження зернин грибковими хворобами. При подальшому зростанні температури зміни посилюються – зерно змінює колір, стає темнішим, виникає запах солоду. Враховуючи все це, не бажано, щоб зібраний урожай зерна кукурудза, особливо підвищеної

вологості, тривало, тобто по кілька годин, лежав на тоці, під променями сонця чи навіть під навісом у купі без просушування [11, 13, 14, 20, 22, 30, 32].

Сушити зерно кукурудзи потрібно партіями. Так можна запобігти пересушуванню або навпаки – недосушуванню зерна, що має різну вологість. Враховуючи потенційно можливий обсяг зібраного врожаю кукурудзи, доцільно мати кілька, від двох до шести, бункерів-нагромаджувачів, у яких можна формувати партії зерна перед сушінням. Також необхідно приділити увагу попередньому очищенню. При виборі очисних машин для зерна важливим є ефективність їх роботи із вологим зерновим матеріалом, а також наявність аспіраційних колонок, щоб забезпечити рівномірність сушіння та деліктанний вплив на зерно.

При високій початковій вологості зерна потрібно, щоб вплив теплоносія на зерно був деліктним щодо температури і тривалості дії, тобто процес сушіння має бути розтягнутий у часі. Якщо швидкість і температура процесу перевищують рекомендовані значення, кукурудзяні зерна можуть розтріскатися і втратити здатність до транспортування.

Нагрівання зерна кукурудзи в рухомому шарі на шахтних сушарках допускається до 50°C, при температурі теплоносія на рівні 130°C і 110°C для сушіння кукурудзи, яка йде на подальшу переробку або зберігання відповідно. При більш високій температурі сушіння (понад 60°C) відбувається окислення жиру, в якому розчинена велика кількість вітамінів і біологічно активних речовин, а отже, знижується якість і поживна цінність зерна. Швидке охолодження висушеної партії підсилює ризик розтріскування. Знизити ймовірність до мінімальних значень можна, дотримуючись низької швидкості сушіння кукурудзи (не більше 10% в годину) з наступним охолодженням у силосах з вентиляванням від двох до чотирьох днів.

Найбільш ефективніший спосіб підготовки зерна, зокрема й кукурудзи для переробки чи тривалого зберігання, – це сушіння. Завдяки сушінню значно покращуються борошномельні та хлібопекарські властивості зерна, які є його важливими товарними якостями. Часто, особливо при невеликих обсягах,

зібране зерно сушать у природний спосіб – на сонці або використовуючи вентилятори. Природній спосіб неефективний для великих партій зерна та суттєво залежить від кліматичних умов, а для зерна кукурудзи він практично непридатний, тому необхідним є сушіння зерна на спеціальному обладнанні – сушарках, що застосовується повсюдно і для усіх зернових культур.

Використання сушарок зерна дає й інші переваги: скорочення витрат для транспортування; підвищення продуктивності млинів.

Застосовують на даний час різні методи штучного зневоднення рослинних матеріалів, зокрема і зерна, а відповідно до цього різним є обладнання використовуване для сушіння.

Попри усе розмаїття способів та конструкцій обладнання необхідним є забезпечення вимог встановлених до сушарок, а саме: рівномірність нагріву матеріалу, що йде на сушіння; рівномірність зневоднення; обов'язковий контроль за температурою сушильного агента та зерна, яке сушать; невисока металоемність сушарок; контроль вологості матеріалу, що сушиться; універсальність на сушінні насіння різних культур.

У переробній та харчовій промисловості використовують різні сушарки, які класифікують за кількома основними ознаками [11, 13, 14, 20, 22, 30, 32].

Залежно від способу подання тепла до матеріалу, який сушать, є сушарки конвекційного (матеріал омиває потік нагрітого сушильного агента), кондуктивного (контактного, тобто відбувається безпосередній контакт поверхнями, що нагріваються), радіаційного (мають інфрачервоне випромінювання) або використовують струми високої та надвисокої частоти.

Залежно від тиску повітря, який створюється у сушильних камерах є сушарки атмосферні, вакуумні, сублімаційні.

Залежно від сушильного агента, який використовують, є сушарки з повітрям, яке нагрівають топками, є такі, що використовують перегріту пару, або димові гази, або суміші повітря з димовими газами.

Залежно від режиму роботи є сушарки, що працюють періодично або безперервно.

У різних сушарках по-різному відбувається циркуляція сушильного агента, а саме: природна циркуляція, примусова циркуляцією з використанням вентиляторів.

Сушарки різняться залежно від характеру руху сушильного агента по відношенню до матеріалу, який сушать: можуть бути прямочними (напрямок пересування потоку сушильного агента і напрям руху матеріалу співпадають), протиточні (сушильний агент і матеріал рухаються у протилежних напрямках), та так зване фільтраційне сушіння – сушильний агент може проникати у шар матеріалу, що сушиться.

Залежно від способу створення потрібної температури сушильного агента: сушарки з паровими та електричними калориферами, можуть бути на різних видах палива [11, 13, 14, 20, 22, 30, 32].

Сушарки різняться також за кратністю використання сушильного агента, тобто нагрітого повітря: одноразове і багаторазове використання.

Сушарки поділяють залежно від матеріалу, який сушать: тверді (великошматкові, дрібношматкові або пилюваті), рідкі та пастоподібні матеріали.

Залежно від конструктивного виконання сушарки можуть бути тунельного, камерного, коридорного, барабанного, пальцевого типів.

### **1.3. Огляд сушарок для сушіння зерна**

На правильний вибір сушарок для відповідних процесів сушіння необхідно підбирати установки враховуючи принципи їх дії. Процес роботи зерносушарок полягає у спалюванні палива та передачі енергії матеріалу для зниження вологості до необхідного рівня. Такі агрегати розробляють стаціонарними, які мають бути нерухомо встановленими, або мобільними, місце положення яких можна змінювати.

Зерносушарки класифікують за кількома ознаками. Залежно від режиму роботи вони можуть бути періодичної дії або безперервної.

Основні переваги періодично працюючих сушарок проявляються у простоті їх конструктивного виконання та можливості регулювати режим сушіння. Їх найчастіше використовують, щоб підсушувати невеликі однорідні за якістю партії зерна.

Недоліки періодично діючих сушарок проявляються у: додаткових витратах енергії, щоб прогріти сушарку після завантаження кожної наступної партії зерна; неефективному використанні обладнання для транспортування зерна, яке простоє коли відбувається сушіння; у простоях при завантаженні та вивантаженні зерна.

Для сушарок безперервної дії характерним є повнота використання камери сушіння, зручність у контролюванні показників якості сушіння, автоматизація виконання процесу сушіння завдяки їх встановленню в потоково-технологічних лініях.

Сушарки безперервної дії мають характерний недолік – зерно пересувається у шахті нерівномірно, тому спостерігається нерівномірне нагрівання і сушіння.

Зерносушарки мають різне конструктивне виконання – можуть бути стаціонарними або пересувними. Сушарки пересувні (мобільні) застосовують, щоб сушити невеликі партії зерна, тому їх купують невеликі господарства.

Шахтні сушарки (рис. 1.1) переважно великогабаритні. Характерне конструктивне виконання таких сушарок – зерносушильні камери виконані у вигляді шахт прямокутної форми, у які засипають зерно дотримуючись рекомендованої товщини зернового шару – до 300 мм.

У стаціонарній шахтній сушарці типу СШЗ-16 (рис. 1.2) є дві шахти, змонтовані на спеціальній станині та встановлені роздільно одна від одної на відстані одного метра. Враховуючи початкову вологість зерна та призначення кожної партії зерна шахти сушарки можуть задіювати у технологічній схемі сушіння послідовно або паралельно. Обидві шахти сушарки мають по дві

секції, у які вмонтовані чотиригранні короби. Сушіння зерна відбувається завдяки пересуванню агента сушіння, який, вийшовши з топки, надходить у дифузори – простір між шахтами.



Рисунок 1.1 – Шахтна сушарка

Підсушене зерно охолоджують в окремих охолоджувальних ємностях (колонках), які встановлені роздільно. Сушарку шахтного типу СЗШ-16 використовують у двох режимах роботи: паралельна робота шахт; послідовна робота шахт. Якщо сушарка працює у режимі паралельного сушіння, то вхідну сировину, тобто зернову масу завантажують одночасно в обидві шахти. Якщо сушарка працює у режимі послідовного сушіння, то завантажують зернову масу в одну колонку.

Максимальну продуктивність сушарки досягають при паралельній роботі шахт за умови сушіння зерна невисокої вологості.

Якщо зерно підсушують в одній шахті, то згодом воно поступає в охолоджувальну колонку, потім його можуть подавати в іншу шахту. Сушарку обладнано топкою металеві конструкції. У камері згоряння, яка відділена захисним екраном, вмонтовані фотоопори, завдяки чому контролюють полум'я. Випускний пристрій сушарки може випускати зерно безперервно малими порціями, вивантаження великих порцій відбувається періодично.

За рівнем зерна у шахті здійснюють контроль з допомогою сигналізаторів. При рівні насипу зерна у шахті нижчому від допустимого, автоматично виключається двигун випускного пристрою про що сигналізує загоряння лампочки на пульті керування.

Для нормальної роботи сушарки її шахти повинні бути весь час вщерть завантажені зерном, та не допускати підсмоктування повітря зовні сушарки. Випускають зерно з шахти безперервно. Спершу з шахти вивантажують недосушене зерно, яке потім подають на досушування у другу шахту.

Часто для сушіння зерна використовують шахтну сушарку Т-662 «Петкус» (рис. 1.3) (виробництва Німеччини), продуктивність якої 2 т/год. Цей агрегат може працювати як окрема машина або бути вмонтованим у спеціальні насіннеочисні потокові лінії фірми «Петкус». Агентом сушіння в ній є атмосферне повітря, що нагрівається в топці-калорифері. Шахта складається із сушильної й охолоджувальної камер.



Рисунок 1.2 – Стационарна шахтна сушарка СШЗ-16



Рисунок 1.3 – Сушарка шахтного типу Т-662 «Петкус»

Барабанні сушарки (рис. 1.4) відзначаються досить високою продуктивністю – від 2 до 8 т/год. Процес відбувається завдяки впливу

теплоносія на об'єкт сушіння, тобто зерно, під час його пересипання в одному або кількох барабанах, що обертаються.

Найпоширеніша серед барабанних зерносушарок є конструкція типу СЗПБ-2 продуктивність якої 2 т/год. Перспективними є також конструкції стаціонарних барабанних сушарок, продуктивність яких до 8 т/год.

Основними вузлами барабанної сушарки СЗСВ-8 є топка, камера завантаження зерна, барабан сушильний, вентилятор, камера розвантаження, транспортер, та колонка для охолодження зерна з вентилятором.

Використання модульних зерносушарок дає змогу наростити виробничу потужність шляхом установки додаткових модулів. Модульна сушарка зерна – вдале рішення для фермерських господарств з перспективним нарощенням об'ємів приймального зерна, а також, для сушіння малих та середніх об'ємів однорідного зерна в сприятливих погодних умовах.



Рисунок 1.4 – Сушарка СЗСВ-8

Мобільні сушарки (рис. 1.5) виготовляють циклічними та потоковими. Найбільш популярними для користування є циклічні зерносушарки мобільного виконання. Такі моделі економніші, бо не має потреби вкладати затрати на додаткові будівельні роботи, розробляти під них проекти та кошториси. Конструктивних виконань мобільних зерносушарок є значне розмаїття, їх

модельні можуть бути розраховані на різні обсяги сушіння зерна – від 9 до 102 м<sup>3</sup> протягом одного сушіння, завдяки чому вони конкурують зі стаціонарними сушарками.



Рисунок 1.5 – Зерносушарка Zaffrani 210

#### 1.4 Обґрунтування теми

Мобільні зерносушарки (рис. 1.6) – спеціальне обладнання, яке можна з легкістю транспортувати з одного об'єкта на інший, призначене для сушіння зернових, бобових та олійних культур. Такі мінісушки для зерна легкі в управлінні, можуть працювати від ВВП трактора та електромотора.

У сушарці, як і в будь якій техніці є, що удосконалити. Я пропоную рішення для покращення сушіння зерна на базі зерносушарки Zaffrani 210. Насамперед – це завальна яма для накопичення зерна для полегшення загрузки зерна, норія, яка буде завантажувати завальну яму, сепаратор, який буде очищати зерно перед потраплянням зерна в бункер, циклон для уловлювання та пригнічення пилу під час процесу сушіння, також рекуперация для кінцевого очищення зерна в процесі сушіння, охолоджувач для безперервної роботи сушарки і при цьому обов'язковим є калібрування зерна.

## **2. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ У СУШАРЦІ**

### **2.1. Обґрунтування вибору мобільної сушарки**

Вибір мобільної зерносушарки Zaffrani 210 для господарства, яке вирощує зернові культури, є стратегічно обґрунтованим рішенням, що базується на поєднанні економічної доцільності, технічної гнучкості та високої якості кінцевого продукту. Основним аргументом на користь цієї моделі є відсутність необхідності капітального будівництва та складних дозвільних процедур, які є обов'язковими для стаціонарних комплексів для сушіння зерна. Встановлення стаціонарної сушарки потребує проєктування, закладення масивного фундаменту, підведення газових магістралей високого тиску та спорудження норійних веж, що може подвоїти початкову вартість обладнання. Сушарка Zaffrani 210, є мобільною установкою на колісному шасі, готова до роботи фактично "з коліс" на будь-якому рівному майданчику, що дозволяє господарству оперативно розпочати сезон збирання без багатомісячних підготовчих робіт.

Автоматизована зерносушарка, а саме такою є зерносушарка Zaffrani 210, оснащена високоточними вимірювачами вхідної і вихідної вологості, завдяки чому легко встановити показники вологості на вході, встановити потрібні параметри сушіння, забезпечивши тим самим потрібну кондиційність зерна при виході з сушарки – тобто 14,5% вологості. Такі датчики допомагають економити паливо, оскільки точно вимірюють вологість зерна, тому не має перевитрати палива.

Технологічна перевага Zaffrani 210 (рис. 2.10) полягає в її винятковій універсальності щодо насіння різних культур. Завдяки спеціальній конструкції перфорованих листів основного циліндра та можливості прецизійного налаштування температури агента сушіння, ця модель однаково ефективно працює як з важкою вологою кукурудзою, так і з дрібнонасіненними та олійними культурами, такими як ріпак, соняшник або льон. Універсальність підкріплюється використанням теплообмінника: продукти згоряння палива виводяться через окрему витяжну систему, а зерно продувається виключно

чистим нагрітим повітрям. Це критично важливо для господарств, що орієнтуються на експорт або виробництво посівного матеріалу, оскільки повністю виключає ризик накопичення в зерні канцерогенних поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) та специфічного запаху гару.

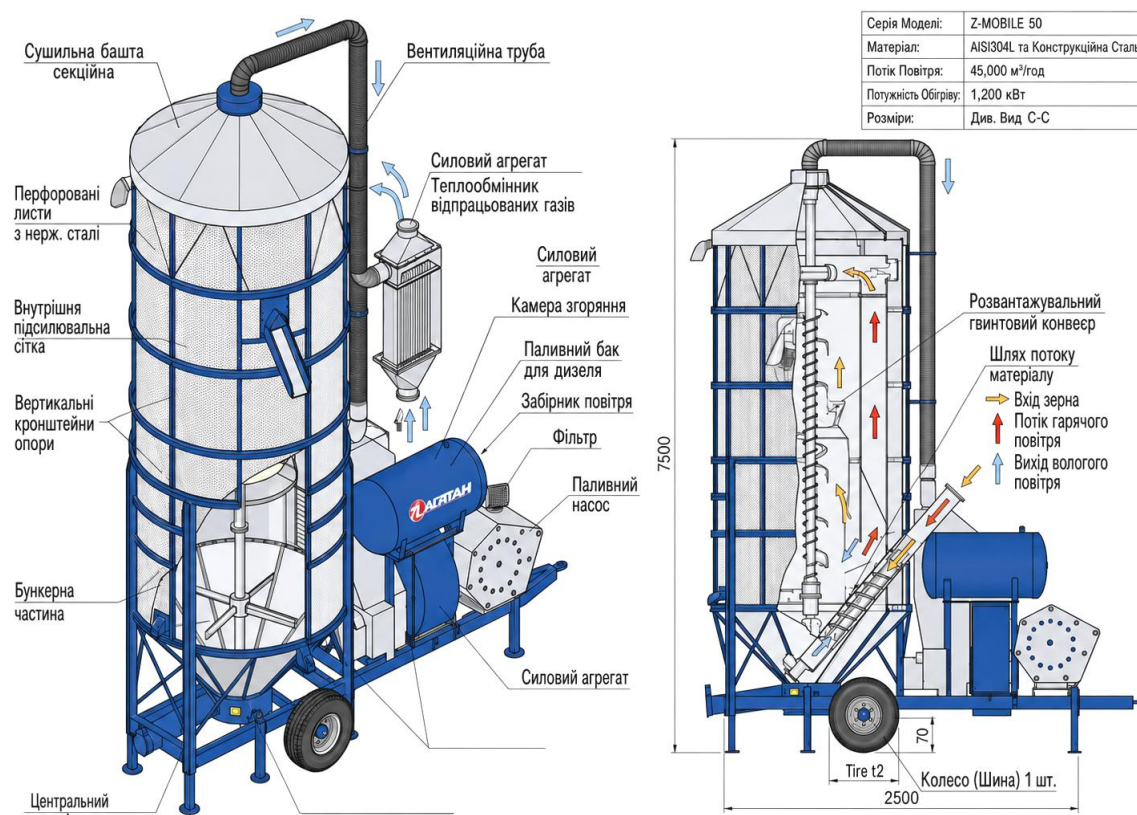


Рисунок 2.1 – Будова зерносушарки Zaffrani 210

Економічна вигода від експлуатації Zaffrani 210 проявляється через значне зниження логістичних витрат. Мобільність установки дозволяє переміщувати її безпосередньо до місць зберігання або навіть на польові стани, що мінімізує витрати на перевезення вологого зерна, яке за вагою та об'ємом значно перевищує сухе. Крім того, циклічний принцип роботи дозволяє чітко контролювати кожну партію зерна окремо, що неможливо в потокових стаціонарних сушарках без значного змішування різних фракцій. Це дає змогу господарству сушити невеликі партії різних культур протягом одного дня без тривалого переналаштування обладнання.

У вертикальних зерносушарках зерно просувається у вертикальному напрямку зверху вниз. Це стандартний тип більшості використовуваних зерносушарок у світі.

Альтернатива вертикальній зерносушарці – горизонтальна. У горизонтальних зерно просувається в горизонтальній площині. Найчастіше такі зерносушарки називають конвеєрними, але є й інші типи.

Зерносушарка Zaffrani 210 (див. рис. 2.1) відноситься до вертикальних зерносушарок, у яких зерно просувається зверху вниз, що проілюструємо на прикладі теплової схеми (рис. 2.2) згідно якої зерно рухається з точки А, розташованої в самому верху сушарки, в точку В, розташовану внизу під вивантажувальним бункером. За такими схемами працюють зерносушарки шахтного, колонкового або баштового типу. Принцип поширення повітря в них – змішаний потік або поперечний потік.

Технічні переваги на користь використання мобільної зерносушарки:

- не потрібен теплообмінник завдяки перпендикулярному розташуванню пальника відносно вентилятора, а гар та полум'я не тягне в бункер;
- зерно зберігає органолептичні якості. Сушіння відбувається безпечним, конвективним способом, при якому полум'я пальника не контактує з зерном;
- універсальність сушарки. Завдяки різноманітним решетам дає змогу з однаковою ефективністю просушувати зернові різних видів;
- висока рівномірність та оптимальні умови сушіння досягаються за рахунок безперервного обертання центрального шнека, який переміщує зерно;
- можливість отримати будь-яку потрібну вологість кінцевого продукту завдяки автоматизації процесу сушіння продукту;
- рівномірне нагрівання зерна завдяки ефективній і повній системі перемішування гарячого та холодного повітря;
- дбайливе перемішування зерна, яке запобігає пошкодженням завдяки шнеку з низькою швидкістю обертання та спеціальним напиленням (важливо для сушіння насінневого зерна). Для приведення в рух внутрішньої групи перемішування, центрального вертикального і завантажувального шнека використовують закриті редуктори;
- сушарка має три варіанти привода: від електромережі, від ВВП (валу відбору потужності) трактора; від ВВП трактора та часткового підключення до

електромережі (на випадок недостатньої потужності електромережі)

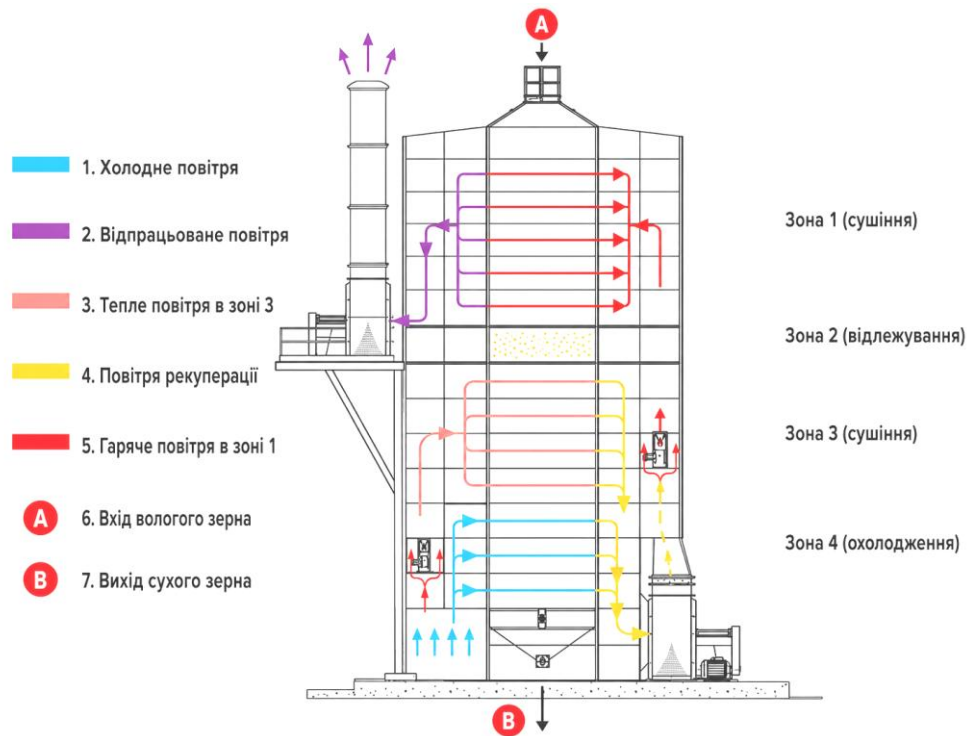


Рисунок 2.2 – Схема руху зерна і теплоносія у сушарці

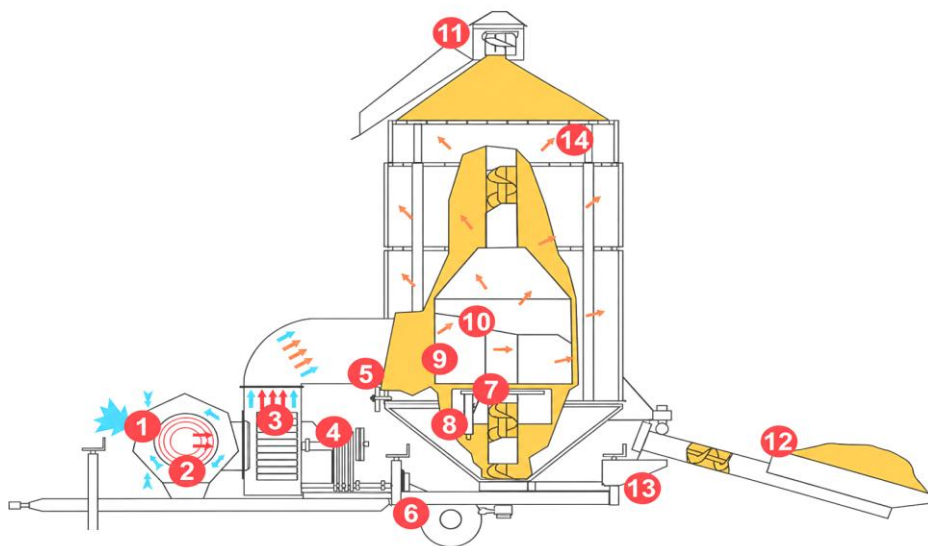
## 2.2. Зміни в схемі роботи сушарки

Технологічною особливістю сушарки Zaffrani є використання потужних теплообмінників із нержавіючої сталі, що розділяють на окремі потоки продукти згоряння палива і чистого повітря, які направляють на зерно. Така особливість надзвичайно важлива для підготовки продовольчого зерна, бо таким способом вдається уникнути потрапляння канцерогенів та сторонніх запахів (дизельного палива) у кінцеві продукти. Мобільність зерносушарки надає їй гнучкості у роботі та забезпечує економію витрат, оскільки її використання дає можливість сушити зерно одразу після збирання, за потреби навіть у полі не затрачаючи значних капіталовкладень, що необхідно при використанні стаціонарних комплексів [10].

Висока енергоефективність сушарки Zaffrani 210 забезпечується автоматизованою системою управління, яка підтримує оптимальний тепловий режим, запобігаючи перевитраті палива. У порівнянні зі стаціонарними

шахтними сушарками, які часто потребують великої кількості зерна для "запуску" системи та виходу на режим, ця сушарка ефективна навіть при мінімальному завантаженні. Це робить її ідеальним інструментом для середніх господарств, які прагнуть повної незалежності від елеваторів, уникаючи високих тарифів на сушіння та прихованих втрат при визначенні вологості та засміченості сторонніми організаціями. Таким чином, інвестиція в Zaffrani 210 окупається за рахунок збереження якості зерна, економії на будівництві та гнучкості в управлінні збиральною кампанією.

Робочий цикл сушарки (рис. 2.3) відбувається так. Пальник 2 подає полум'я в теплогенератор 1 (рис. 2.4) звідти вентилятор 3 витягує гаряче повітря і передає його в бункер. Зерно потрапляє в завантажувальний шнек 12 звідти потрапляє у бункер сушарки де його підхоплює вертикальний шнек 7, який переміщує зерно в зерносушарці.



1 – теплогенератор; 2 – пальник; 3 – вентилятор; 4 – привод; 5 – пульт керування; 6 – колеса; 7 – вертикальний шнек; 8 – важіль змішувача; 9 – редуктор групи змішувача; 10 – повітряний дифузор; 11 – вивантажувальний жолоб; 12 – завантажувальний шнек; 13 – проміжна завантажувальна воронка; 14 – індикатори рівня зерна

Рисунок 2.3 – Робочий цикл зерносушарки

Датчики температури встановлені неподалік виходу гарячого повітря з вентилятора і на верху бункера для більш точного контролю вологи. Після висушування зерна до заданої норми вологи, датчики переводять пальник в режим очікування і продовжують роботу два вентилятори: один подає не гаряче повітря від теплогенератора, а інший продовжує очищати зерно від рештків

відвіюючи легкі домішки. Вивантаження зерна відбувається після повного вимкнення вентиляторів і відкриття заслінки вивантажувального ковша.



Рисунок 2.3 – Теплогенератор зерносушарки Zaffrani

Технічні характеристики сушарки наведені у табл. 2.1, продуктивність роботи сушарки на сушінні різних культур у табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики сушарки

Параметр		Значення
Об'єм бункера, м <sup>3</sup>		36
Габаритні розміри у робочому положенні	висота, м	8,1
	довжина, м	10,2
	ширина, м	3,3
Висота розвантаження, м		4,7–7,0
Потужність електродвигунів		55
Споживана потужність ВВП, к.с		75
Генератор, кВт/год		15
Об'єм паливного бака, м <sup>3</sup>		900
Вага сушарки, кг		6000

Таблиця 2.2 – Продуктивність сушарки за добу

Вид зернової маси	Вологість, %	Продуктивність за добу, тонни
Кукурудза	26% → 14%	130
Соняшник	14% → 7%	150т
Ріпак	14% → 8%	160т
Соя	20% → 12%	170т
Пшениця, ячмінь	20% → 13%	180т

### 2.3. Розрахунки технологічного процесу сушіння зерна кукурудзи

Технологічний процес сушіння зерна кукурудзи призначений для зниження вологості зернової маси до кондиційних показників, які забезпечують тривале та безпечне зберігання продукції без втрати її якості.

Вологе зерно після надходження з поля подається у приймальний бункер, звідки за допомогою норії транспортується до машини попереднього очищення. У процесі очищення із зернової маси видаляються механічні домішки: пил, залишки соломи, полова, насіння бур'янів та інші сторонні включення.

Після очищення зерно надходить до бункера сирого зерна, який забезпечує рівномірну подачу матеріалу до зерносушарки. Із бункера зерно самопливом або транспортним обладнанням подається до сушильної шахти.

У зерносушарці зернова маса контактує з нагрітим сушильним агентом – гарячим повітрям, яке створюється теплогенератором та подається вентиляторами. Під дією температури відбувається випаровування вологи із поверхні та внутрішніх шарів зерна.

Температура сушіння залежить від культури та початкової вологості зерна. Для продовольчої пшениці температура теплоносія зазвичай становить 60-90°C, для кукурудзи – 90-120°C [11, 13, 14, 20, 22, 30, 32].

Після проходження сушильної зони зерно потрапляє у зону охолодження, де через нього проходить атмосферне повітря. Охолодження необхідне для запобігання самозігріванню зернової маси під час зберігання.

Висушене та охоложене зерно транспортується до бункера сухого зерна, після чого подається на склад або в силоси для подальшого зберігання.

Контроль технологічного процесу здійснюється за такими параметрами температура сушильного агента, температура зерна, початкова та кінцева вологість, продуктивність сушарки, витрата палива, робота вентиляторів і транспортного обладнання.

Автоматизація процесу дозволяє підтримувати стабільні режими сушіння, підвищити енергоефективність установки та зменшити втрати зерна.

Виконаємо розрахунок кількості вологи, що видаляється з зерна кукурудзи з використання мобільної сушарки Zaffrani 210.

Продуктивність сушарки на сушінні зерна кукурудзи,  $G = 5 \text{ т/год}$ , при початковій вологості зерна,  $w_1 = 24\%$ . Насипна густина зерна  $\rho = 720 \text{ кг/м}^3$ .

Агентом сушіння є гаряче повітря, яке створюється пальником в теплогенераторі і подається вентилятором у бункер зерносушарки, температура агента сушіння,  $t = 130^\circ\text{C}$

Кінцева вологість зерна кукурудзи після охолодження,  $w_2 = 14\%$ .

Кількість випарованої із зерна кукурудзи вологи [20, 22 30]

$$W = G \cdot \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2} \quad (2,1)$$

де  $G$  – продуктивність, кг/год;

$w_1$  – початкова вологість зерна кукурудзи, %

$w_2$  – кінцева вологість зерна після сушіння, %.

Розрахуємо вологість

$$W = 2000 \cdot \frac{24 - 14}{100 - 14} = 2325,6 \text{ кг/ГОД.}$$

Отже, сушарка повинна випаровувати приблизно 2326 кг вологи за годину.

Розрахуємо витрати повітря потрібні на сушіння зерна кукурудзи

$$L = q \cdot G, \quad (2,2)$$

де  $q$  – питома витрата повітря, для кукурудзи  $q = 250$ .

Розрахуємо теплову потужність теплогенератора сушарки

$$Q = W \cdot r, \quad (2,3)$$

де  $r$  – теплота пароутворення, 2256 кДж/кг

$$Q = 2325,6 \cdot 2256 = 5225 \cdot 10^6 \text{ кДж/год} = 145 \text{ кВт.}$$

Розрахуємо потужність вентилятора зерносушарки [1, 2]

$$N = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta}, \quad (2,4)$$

де  $\eta$  – ККД вентилятора,  $\eta = 0,75$ ;

$\Delta P$  – аеродинамічний опір сушарки, 1800 Па.

$$N = \frac{20 \cdot 1800}{0,75} = 33,3 \text{ кВт.}$$

### **3. РІШЕННЯ З ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ У ЗЕРНОСУШАРЦІ**

#### **3.1. Зміни у процесі завантаження зерносушарки**

Для господарств, що займаються вирощуванням порівняно обмеженого набору зернових культур, до прикладу, пшениці, ячменю, кукурудзи, сої, соняшника, ріпака, тощо, варто використовувати мобільні зерносушарки, зокрема як от ZAFFRANI 210, яка ефективно виконує сушіння зерна і насіння без великих капітальних витрат.

Конструктивна перевага мобільної зерносушарки Zafrani 210 (рис. 3.1) у тому, що можливим є її розвантаження на будь-який бік завдяки встановленню спеціального поворотного шнека або механізму перекидання. У такий спосіб забезпечують оперативне завантаження автотранспорту з будь-якої сторони сушарки, а також є можливість її підлаштувати під обмежений простір у складах чи встановити для використання у полі, зменшивши тим самим простоту техніки та підвищити ефективність роботи на сушінні зерна.



Рисунок 3.1 – Мобільна сушарка зерна Zafrani 210

При використанні зерносушарок на токах, складах, тощо, є необхідність у встановленні заглиблених завальних ям (рис. 3.2), які багато років були традиційним елементом елеваторної інфраструктури, але сучасний підхід до проектування зерносушильних комплексів усе частіше спростовує цю традицію.



Рисунок.3.2 – Укомплектування стаціонарної сушарки завальною ямою

Використання приставних завальних ям потребує значних капіталовкладень, для їх облаштування необхідним є будова заглиблень, що потребує виконання земляних робіт, їх бетонування та гідроізоляції, а також витрати на встановлення додаткового обладнання для транспортування зерна із ям у сушарки. Заглиблені ями створюють ризики потрапляння вологи, появи іржі, утруднюють сервісний доступу (огляд, ремонт обладнання тощо), а також створюють додаткові умови для забруднення зерна сторонніми включеннями.

Якщо немає потреби накопичувати великі об'єми зерна у завальній зоні, то доцільність будівництва заглибленої ями сумнівна. Для більшості невеликих господарств оптимальним рішенням буде приставна конструкція, яка відповідає сучасним вимогам ефективності, гнучкості та окупності [20, 22, 30].

Для покращення завантаження мобільної зерносушарки запропновано використати приставну завальну яму (рис. 3.3) виготовлену зі сталевого профілю 50мм на 80мм з товщиною стінки 5мм і листами бляхи товщиною 3мм. Об'єм такої ями становить 3,6т, що цілком достатньо для своєчасного поповнення зернової маси навантажувачем. Приставна завальна яма полегшує

процес завантаження сушарки завдяки тому, що є можливість використання навантажувача Merlo 33.7 (рис. 3.4), а не лише за допомогою віконця, яке розташоване у задньому борті причепів самоскидів, що реалізується при завантаженні сушарки безпосередньо з автотранспорту.



Рисунок 3.3 – Приставна завальна яма



Рисунок 3.4 – Фронтальний навантажувач Merlo 33.7

Зібране комбайнами зерно рекомендовано приймати безпосередньо на майданчик і подавати його в приставну самопливну яму за допомогою телескопічного навантажувача (рис. 3.5). Така схема дає змогу зменшити навантаження на мобільну сушарку, підвищити маневровість логістики та знизити експлуатаційні ризики, однак при такій схемі є потреба у більшій кількості працівників, а це не завжди можливе у невеликих господарствах, тому приставна завальна яма (див. рис. 3.3), що запропоновано у даній роботі, стає вирішенням проблеми. Оскільки для цього потрібно всього лише чотири

працівники, а саме: комбайнер, водій трактора або ж автотранспорту, механізатор навантажувача та оператор зерносушарки. В критичних випадках з логістикою водій навантажувача додатково може бути оператором зерносушарки.

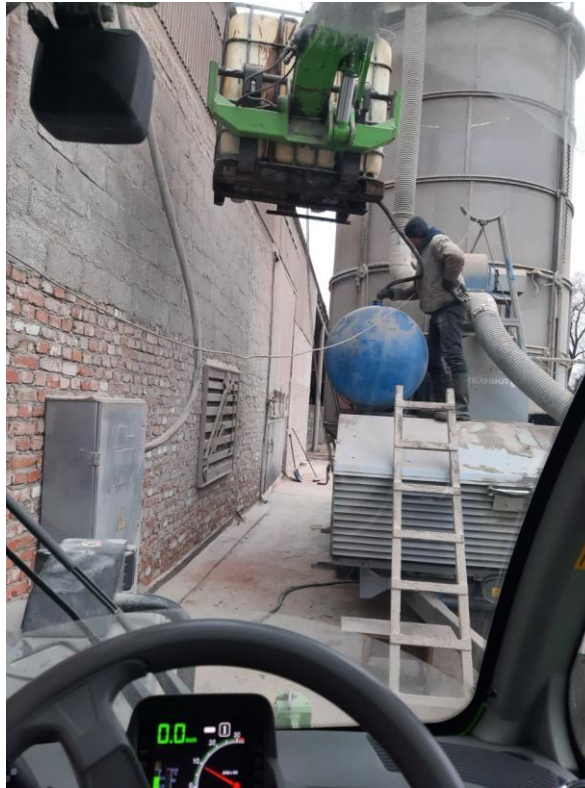


Рисунок 3.5 – Заправка зерносушарки з допомогою навантажувача

Приставна завальна яка не потребує великих капіталовкладень порівняно із заглибленою, і дає виграш за такими параметрами: повна відсутність впливу ґрунтових вод; мінімальна корозійна активність; легкий доступ для технічного обслуговування; простота демонтажу або переміщення; сумісність із сучасною мобільною технікою.

Окремим рішенням при сушінні зерна кукурудзи можна розглянути навісні накриття, які використовують для тимчасового зберігання зерна перед сушінням, якщо не має можливості одразу його сушити. До сушіння зерно кукурудзи при вологості 24-31% можна зберігати у скирдах до трьох тижнів, щоб згодом оперативно його підсушити, при цьому є можливість економії часу і пального.

### 3.2. Покращення процесу очищення зерна перед сушінням

При молотьбі зерновий культур у зерновий бункер потрапляє не лише чисте зерно, а і домішки соломи, рештки стебел інших культур, наприклад бур'янів чи засмічу вальної культури, насіння якої могло прорости у посівах кукурудзи через неякісне збирання та втрати у попередній сезон. Тому у структурі зерносушильного комплексу скальператор виконує функцію попереднього очищення зерна від грубих домішок: джутів, залишків стебел, качанів, шматків коріння та іншого крупного сміття. Такий конструктивний елемент слугує не лише для покращення якості очищення зерна, але є важливою складовою для дотримання вимог пожежної безпеки, тим самим займаючи критично важливе місце в бункері зерносушарки.

Використання зерноочисних агрегатів у вигляді масивних та енергозатратних конструкцій розміщених у капітальних спорудах не актуальне для порівняно невеликих господарства, тому використання мобільної очисної машини у комплексі з системою очищення пилу у польових умовах чи поблизу складів зерна є практичним у підході до попередньої очистки зібраного зерна.

Обов'язкова складова у роботі зерносушарок – наявність системи пригнічення пилу, яка поєднує різні механізми, які при сушінні зерна здатні вловлювати різні легкі домішки (пилуваті частинки ґрунту на зерна, лушпиння тощо). Основне призначення цієї системи зниження ризику виникнення пожеж та захист навколишнього середовища. Працює така система у певній послідовності: витяжні вентилятори направляють повітря, що рухається потоком через зернову масу, яка перемішається у сушарці. Повітряний потік витягує з неї пил і виводить його назовні. Струмінь повітря проходить через циклоони, які вловлюють домішки. Під дією відцентрової сили пил залишається у бункері, а чисте повітря виводять в атмосферу. Для вловлювання важких частинок, зокрема й окремих зерен, які підносяться у повітряному потоці використовують жалюзі, які встановлюють на вихідні короби сушарок, завдяки чому важкі частинки повертаються назад у зерновий потік. Переваги використання системи пилопогли-

нання: зменшення втрат врожаю під час сушіння, захист навколишнього середовища від забруднень та запобігання пожежам, оскільки зерновий пил є вибухонебезпечним.

Системи пилоочищення зерносушарок поділяють на два види: аспірація у поєднанні з додатковою системою пиловловлювання (циклофени) – це традиційна аспірація зерносушарок, яка, пропускаючи повітря через циклофен, відокремлює з нього пил та січку, – ефективна для сушарок великих обсягів; інший вид – пилопригнічення, яке також є аспірацією, але альтернативною до класичної системи аспірації, де вловлювання пилу відбувається завдяки використанню спеціальних ємностей, так званих кишень різного конструктивного виконання, вона дешевша і доступна фермерам. Камера відпрацьованого повітря зерносушарки найбільше запилюється при вивантаженні зерна, коли воно швидко переміщається у зерносушарці, тому щоб запобігти винесенню зернового пилу в атмосферу під час вивантаження зерна, відкривають розвантажувач, але закривають засувки, встановлені під вентиляторами. По завершенні вивантаження зерна засувки відкривають і відновлюють процес сушіння. Недоліком такої системи, порівняно з класичною, є підвищений ризик пилозаймання, якого можна уникнути своєчасно очищаючи зерносушарку.

Модернізувати зерносушарку можна встановленням циклону, що забезпечить ефективне відокремлення пилу та дрібних часточок від повітряного потоку. Результат такої зміни конструкції: підвищений захист вентилятора, теплообмінників та пальників сушарки; зниження засмічення обладнання; покращення чистоти повітря, що виходить із сушарки; підвищення ефективності горіння палива та зменшення витрат пального; зниження ризику виникнення пожежі та вибуху пилу; скорочення простоїв на очищення сушарки; рівномірне та швидке сушіння зерна; підвищення загальної продуктивності та безпеку роботи. Можна використати альтернативне рішення, яким забезпечити фільтрацію відходів і пари з зерносушарки. Відведення зайвої вологи з системи теплообмінника та підвищення продуктивності можна досягти встановленням ємності для поглинання відходів із закритим не герметичним верхом (рис. 3.6),

щоб не створювати надлишкового тиску [27, 20, 22, 27, 30].



Рисунок 3.6 – Альтернативна система пригнічення пилу

Для очищення зерна кукурудзи доцільно використати сепаратор вібраційний марки У13-СПВ (рис. 3.7) призначений для очищення зернових, бобових та олійних культур від усіх видів сторонніх домішок. Принцип роботи полягає в тому, що проходячи через завантажувальну секцію зерно піддається аспіруванню потоком повітря та надходить в очищувач, де розподіляється на два ситові корпуси. У кожному корпусі одне над іншим розташовані сита первинного очищення (верхній ряд) та основні сита (нижній ряд). Очищене зерно на виході потрапляє в секцію вивантаження і ще раз піддається інтенсивному пиловидаленню.

Сепаратор має два незалежні модулі решет. Кожен модуль складається з решета грубого очищення (приймального) та основного очищення (основного). Площина одного решета складається з трьох сегментів. Решета – пробивні, виготовлені з оцинкованої сталі товщиною 1мм. Загальна площа решет 21м<sup>2</sup>.

Схема руху зерна та повітря в корпусі сепаратора та пневмосепаруючих каналах (рис. 3.8) – повітря; зерно з домішками; великі домішки; очищене зерно; малі домішки.

У зерносушарці Zaffrani 210 є власна система аспірації, яка витягує близько 68% різних домішок і сміття з зерна. Труба аспірації у сушарці виведена на зовні і це створює проблеми, оскільки всі домішки потрапляють на землю, будівлі, техніку, а це створює небезпеку, як для працівників, так і для

обладнання. Дана проблема вирішується дообладнанням циклону, який буде зупиняти сміття, яке рухається з потоком пари і направляти його в окрему ємність виготовлену як напівпричіп (див. рис. 3.6) від трактора накритий нещільним брезентом для можливості виведена пари з під нього. Таке пристосування виконує роль системи пригнічення пилу та збору домішок і сміття, яке аспіраційна система витягує із бункера зерносушарки.

Система пригнічення пилу – обов'язковий елемент безпеки й ефективності роботи зерносушарок.

У багатьох зерносушильних комплексах система придушення пилу досі залишається додатковою опцією, хоча з технічної точки зору вона має бути стандартним компонентом будь-якої сучасної сушарки. Економія на її встановленні часто обертається ризиками пожеж, неефективної експлуатації та конфліктами із сусідами, особливо в жарку пору року і при сушінні насіння ріпаку або соняшника. Пил від сушарок здатен осідати на площі у сотні метрів, утворюючи легкозаймистий шар на поверхнях будівель і техніки. Навіть за добу утворюється критичний обсяг частинок, що у разі контакту з джерелом іскри (наприклад, від електрики чи недопалка) може спричинити локальні займання або масштабну пожежу.

Спроби вирішити проблему механічним прибиранням (навіть тракторами з щітками) неефективні, особливо коли мова йде про легкозаймистий пил на дахах ангарів, вентиляційних решітках, техніці. Якщо поблизу комплексу є населені пункти, навіть поодинокі споруди, то систему пригнічення пилу слід розглядати як обов'язковий елемент технічної безпеки, який має такі елементи:

- жалюзі на вихідному коробі, які автоматично закриваються під час скидання зерна;

- частотні перетворювачі, які знижують оберти вентиляторів у критичний момент, зменшуючи турбулентність та запилення;

- адаптовані режими роботи: тривалість закривання, перетин жалюзі, параметри запуску та відключення, що дозволяють не втрачати ефективність основної сушки.



Рисунок 3.7 – Система очищення У13-СПВ



Рисунок 3.8 – Схема руху зерна і домішок у системі очищення У13-СПВ

### **3.3. Зміни у палиниковій системі зерносушарки Zaffrani 210**

Зручною у роботі зерносушарки Zaffrani 210 є гнучкість електроживлення – у звичному режимі вона працює від трифазної мережі, завдяки чому реалізується її повна продуктивність. У випадку перебоїв електропостачання сушарку можна підключити до ВВП трактора, який хоч і не дає повної

потужності для сушіння, але дозволяє своєчасно розвантажувати зерно, запобігаючи його самозігріванню та зберігаючи якість. Проте існує потреба в удосконаленні конструкції зерносушарки та режимів її роботи для зменшення енергоспоживання і підвищення продуктивності.

Контроль стабільності процесу сушіння зерна виконують використовуючи додаткові датчики температури продукту (рис. 3.9). Стандартна комплектація сушарки Zafrani 210 має один датчик, розташований біля найгарячішої точки, де температура може досягати 120-130 °С, а це не відобразить реальну температуру зерна у всій камері сушіння, зокрема в середній та нижній частинах, у якій температура як правильно нижча на 20-30 °С. Якщо встановити додаткові датчики, то це створить можливість контролювати температуру за усім потоком зерна, підтримуючи оптимальну температуру сушіння на рівні 45-60 °С. Такі умови сприяють безпечному та рівномірному сушінню зерна кукурудзи або пшениці, запобігатимуть його перегріванню та втраті якості, чим підвищують ефективність роботи сушарки та зменшують ризик заправання зерна або появи у ньому тріщин.



Рисунок 3.9 – Пульт керування зерносушарки Zafrani 210

Показники на пульті керування відповідають таким режимам і системам:

1 полум'я – головне полум'я підчас сушіння зернових культур.

2 полум'я – допоміжне полум'я, яке контролює температурний режим у бункері. При досягненні заданих значень температури продукту сушіння пальник вимикається, при спаданні температури пальник автоматично вмикається.

Аспірація – вмикає систему, яка допомагає виводити з бункера пару і зернові домішки;

Головний вимикач – вмикає електросистему зерносушарки;

Час вентиляції і час другого полум'я – якщо не використовувати автоматичну систему контролю можна вручну встановити таймер, коли вимикатиметься пальник і головний вентилятор.

Температура продукту – температура зерна, яка має бути в бункері сушарки.

Терморегулятор 1 полум'я – значення температури першого полум'я, яке задають при сушіння зернових культур

Температура 2 полум'я – виставляють значення з якою температурою буде відбуватися додатковий підігрів повітря у теплогенераторі.

Вентилятор – запуск і вимкнення головного генератора.

Центральний шнек – головний шнек зерносушарки, який переміщає зернову масу у бункері для кращого сушіння.

Блокування пальника – це Check Engine у зерносушарки. Означає, що система подачі палива або ж сам пальник має несправності такі як, забиті фільтри, магістралі, несправні форсунки, вихід з ладу монOMETра.

Як паливо у сушарці пропонується використати бітум (рис. 3.10), який має високу температуру згоряння, тобто можливе його ефективне спалювання за умови додаткового спеціального рішення щодо ефективної роботи пальників Zaffrani, які здатні якісно переробляти такі важкі види палива. Важливим є встановлення додаткової системи фільтрації палива у зерносушарці, чим буде забезпечена стабільна робота пальника Zaffrani на бітумі. Таке рішення

запобігає засміченню форсунок і теплових магістралей, підвищує ефективність горіння, зменшує витрати пального та продовжує ресурс обладнання, одночасно підтримуючи стабільну температуру та забезпечуючи якість сушіння зерна.



Рисунок 3.10 – Згущений бітум на виході

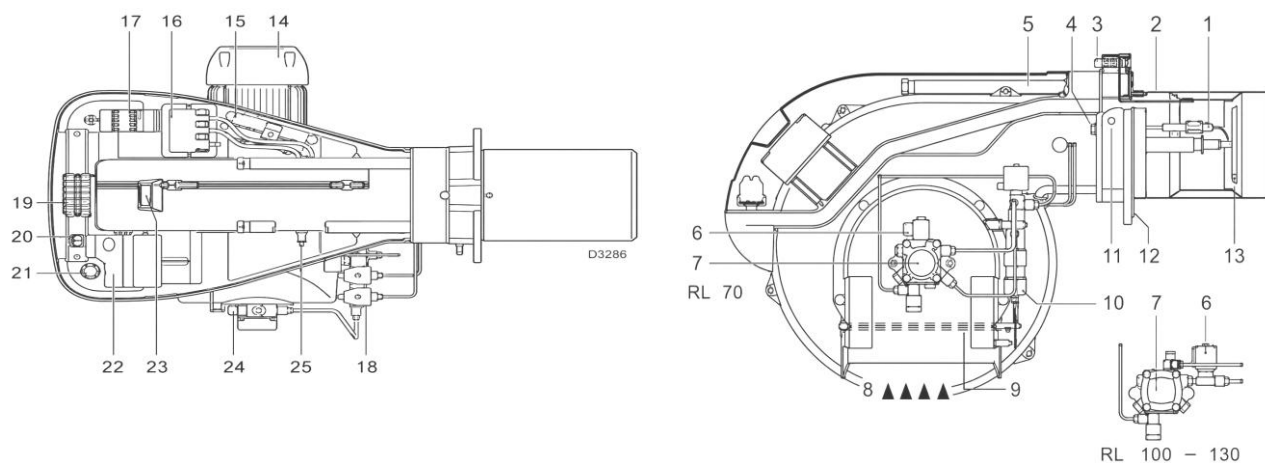
Пропонується для встановлення у сушарці використати пальник Riello rl 100 (рис. 3.11), який має можливість підлаштовуватися під різні види культур і режимів сушіння, оскільки має комплект змінних форсунок, які розпиляють паливо, тим самим обмежуючи температуру і язик полум'я, який отримують у результаті згорання палива. Чим менший діаметр форсунки, тим меншу температуру виставляють, чим забезпечують ощадний режим сушіння, наприклад, насінневого зерна.



Рисунок 3.11 – Пальник Riello rl 100

Пальник Riello rl 100 (див. рис. 3.11) створений для зерносушарок, які споживають до 100кВт енергії і розраховані на три фази, тобто на роботу при 360В. Такий пальник є невибагливим до палива. Його можна використовувати для дизельного палива, але також він може працювати із бітумом, який є відходом після переробки нафти у традиційне пальне.

При використанні у зерносушарці альтернативного палива, зокрема бітуму, потрібно враховувати, що за густиною він подібний до дизельного палива, але має особливість – відкладання осаду. У морозну погоду для нього властиве згущування, тому потрібна додаткова система фільтрації, яку встановлюють між баком і паливною магістраллю. Фільтри використовують для грубої очистки або можна використати фільтри для води, які призначені для затримання грубих частинок. З дрібними домішками чудово справляється система фільтрація, яка встановлена у базовій комплектації пальника. Для якісної роботи пальника рекомендовано очищати фільтри через кожні три тисячі літрів пального, при інтенсивному сушінні – кожні чотири дні.



1 – електроди розпалювання; 2 – головка горіння; 3 – гвинти для регулювання головки горіння; 4 – гвинт для кріплення вентилятора до фланця; 5 – напрямні для відкриття пальника та контролю головки горіння; 6 – запобіжний клапан; 7 – насос; 8 – вхід повітря у вентилятор; 9 – повітряна заслінка; 10 – гідравлічний поршень; 11 – штуцер для вимірювання тиску вентилятора; 12 – фланець кріплення до котла; 13 – підпорна шайба; 14 – електродвигун; 15 – подовжувачі напрямних; 16 – трансформатор розпалювання 17 – контактор двигуна та термореле з кнопкою скидання блокування; 18 – блок клапанів 1-го та 2-го ступенів; 19 – клемник; 20 – два електричні перемикачі (один для «Увімк.-Вимк.», другий для «1-2 ступенів»); 21 – кабельні канали для електричних підключень; 22 – автомат горіння зі світловим індикатором блокування та кнопкою скидання блокування; 23 – датчик контролю полум'я; 24 – датчик регулювання тиску насоса; 25 – детектор полум'я.

Рисунок 3.12 – Схема будови пальника Riella rl 100

Під час зупинки пальника повітряна заслінка повністю закрита для максимального зниження теплових втрат котла через тягу димоходу, який засмоктує повітря через всмоктуючий отвір вентилятора.

Блокування автомата горіння: загоряння кнопки (червоного світлодіода) автомата горіння поз. 22 вказує на блокування пальника. Для зняття блокування натискають кнопку протягом 1-3 секунд.

Блокування двигуна: для зняття блокування натискають кнопку термореле 17. Гідравлічний поршень поз. 10 виконує регулювання повітряного потоку заслінки в положенні 1-го та 2-го ступенів.

### **3.4. Розрахунок витрат на паливо та електроенергію для сушіння зерна кукурудзи**

Розраховуємо витрати на паливо та електроенергію при вологості продукту сушіння 32%, який потрібно знизити до базового – 14%

Розрахунок витрат на паливо при використанні дизельного пального при вологості вихідного продукту 32%

$$P_{д} = \frac{H_{д} \cdot C_{д}}{K_{п}} \quad (3.1)$$

де  $P_{д}$  – планова потреба у дизельному паливі;

$H_{д}$  – норма витрати дизельного палива на одну тону продукції;

$C_{д}$  – ціна палива, грн.;

$K_{п}$  – коефіцієнт переведення умовного палива в натуральне, 0,85.

Отримаємо

$$P_{д} = \frac{25,2 \cdot 89}{0,85} = 2722 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрати на паливо для бітуму при вологості продукту 32%

$$P_B = \frac{H_B \cdot C_B}{K_{II}}, \quad (3.2)$$

де  $P_B$  – планова потреба у бітумі;

$H_B$  – норма витрати умовного палива – бітуму;

$C_B$  – ціна палива, грн;

$K_{II}$  – коефіцієнт переведення умовного палива в натуральне, 0,87.

Тоді

$$P_B = \frac{30 \cdot 40}{0,87} = 1379 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат на електроенергію при вологості продукту 32%

$$B_E = H_E \cdot t_u \cdot C_E, \quad (3.3)$$

де  $B_E$  – витрати на електроенергію, грн;

$H_E$  – норма витрат електроенергії на 1т виробу,  $H_E = 57,5$  кВт/год;

$t_u$  – час робочого циклу сушіння, 5 год;

$C_E$  – ціна за 1 кВт/год, 8,5 грн.

$$B_E = 57,5 \cdot 8,5 \cdot 5 = 2447 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків зведені у табл. 3.1

Таблиця 3.1 – Розрахунок витрат на паливо та електроенергію

	Норма витрати на 1т. продукції	Ціна за одиницю, в грн	Витрати всього, грн
Дизельне пальне, л	26	89	2242
Електроенергія, кВт/год	57,5	8,5	488
Паливо (бітум), л	30	40	1080

Отже, затрати для сушіння продукту, зокрема однієї тонни зерна кукурудзи при вологості 32% до бази в 14% потрібно затратити:

- для базової версії – електроенергія+дизельне паливо – 2730грн;
- запропонованої версії – електроенергія+бітум – 1568 грн.

### 3.5. Визначення терміну окупності обладнання

Для розрахунку залікової ваги зерна елеватори використовують так звану формулу Дюваля

$$X_B = 100 \cdot \frac{(a - b)}{(100 - b)}, \quad (3.4)$$

де  $X_B$  – відсоток зменшення вологості зерна;

$a$  – початкова вологість;

$b$  – кінцева вологість (контрактна).

Отже, при зниженні вологості зерна кукурудзи на 20% тобто з 34% до 14%, розрахований відсоток зниження вологості

$$X_B = 100 \cdot \frac{(34 - 20)}{(100 - 20)} = 22,3 \%$$

Різниця становить більше ніж 2%. Цей показник часто використовують розраховуючи вартість сушіння зерна, якщо його сушать не своєю зерносушаркою, а здають на елеватор.

Розрахунок:

вартість обладнання для сушіння 69000EUR· 49,6=3 422 400 грн;

ціна за тоновідсоток при сушінні – 140 грн.

Важливо врахувати, що 140 грн – валова виручка.

Для визначення окупності процесу сушіння використовують маржинальний прибуток (ціна мінус витрати на паливо та електроенергію).

Ціна послуги сушіння – 140 грн/т%.

Собівартість сушіння зерна кукурудзи при використанні різних видів палива, зокрема, дизель/бітум: у 2025 році коливалася у межах 65...40грн/т%.

Прибуток при використанні мобільної сушарки – 85 грн/т%.

Розрахуємо необхідний обсяг робіт. Для покриття вартості сушарки потрібно заробити 3,42 млн. грн. чистого прибутку:

Кількість зерна в тонах, якщо сушити кукурудзу знімаючи в середньому 14% вологи, наприклад з 28 до 14

$$40263\text{т}\% / 14\% = 2875 \text{ т.}$$

Термін окупності сушарки. Середня продуктивність зерносушарки за добу при вологості зерна 28% становить 70т за добу. Потрібна кількість робочих днів для сушіння зерна

$$\frac{3262}{70} = 41 \text{ день.}$$

Оскільки сезон сушіння триває 20-40 днів залежно від кількості зібраного зерна, то можна припустити, що для окупності зерносушарки потрібно 1,3 сезони без врахування заробітної плати обслуговуючих працівників, оскільки під час роботи зерносушарки не потрібний постійний нагляд. Достатнім є спостереження – один раз у 1,5 год.

Обслуговуючий працівник бере пробу вологи зерна, виконує завантаження і вивантаження зерна, яке триває близько 40хв, загальна витрата часу за 24години становитиме 2,5 год. На завантаження сушарки може підійти працівник, який не зайнятий невідкладною роботою; аналогічно з пробую вологи, може виконати не зайнятий працівник господарства, оскільки вологомір знаходиться біля зерносушарки, він може прослідкувати за вивантаженням висушеного продукту, оскільки для цього потрібно тільки відкрити заслінку.

## 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1. Вимоги охорони праці під час використання зерносушарки

Підготовка майданчика. Мобільна сушарка має бути встановлена на рівній твердій поверхні з дотриманням безпечної відстані від будівель та складів палива.

Завантаження. Не перевищувати паспортний об'єм завантаження. Для рівномірного сушіння зерно має бути попередньо очищене від грубих домішок, які можуть призвести до забивання шнеків або локального перегріву.

Температурний режим. Встановлюють температуру теплоносія залежно від культури та її призначення (насіннєве зерно потребує нижчих температур, ніж продовольче чи фуражне).

Охолодження. Обов'язково потрібно проводити етап охолодження зерна до температури, що не перевищує навколишнього середовища на 5...10°C. Це запобігає конденсації вологи та псуванню врожаю під час зберігання (рис.4.1).



Рисунок 4.1 – Правила безпеки під час роботи з зерносушаркою

Контроль вологості. Регулярно потрібно відбирати проби зерна для заміру вологості вологоміром, щоб уникнути пересушування зерна, яке призводить до втрати ваги та пошкодження зернівок.

#### 4.2. Аналіз небезпечних факторів при роботі з мобільними сушарками

Робота з мобільними зерносушарками (такими як Zaffrani, Мессар чи Fratelli Pedrotti) пов'язана з комплексом ризиків, оскільки це обладнання поєднує в собі джерела високої температури, рухомі механізми та значні обсяги пилу. Ретельний аналіз небезпечних факторів дозволяє мінімізувати ймовірність аварій та травмування персоналу.

Пожежна та вибухонебезпека є критичними факторами через постійний контакт палива, вогню та сухого органічного матеріалу (рис.4.2). Можливі ризики викликані такими факторами.

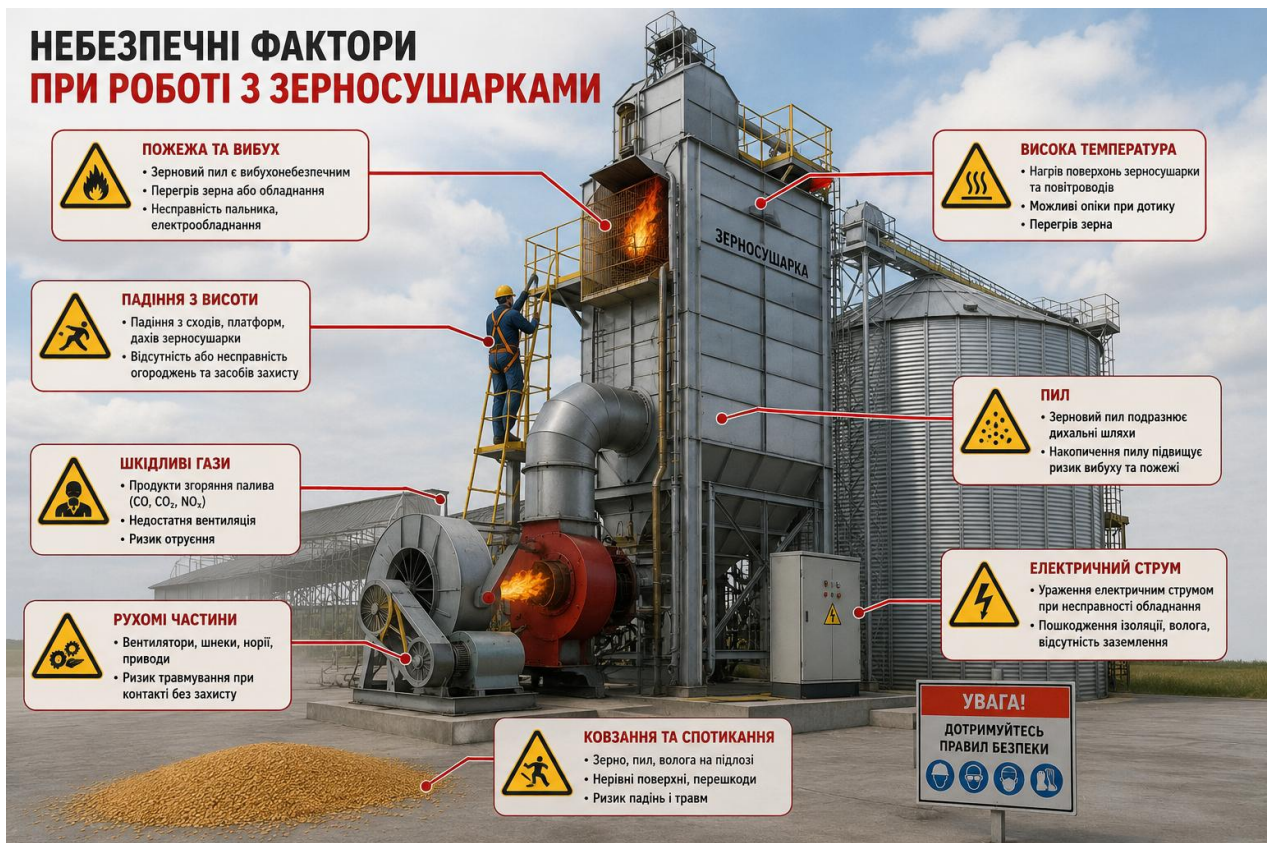


Рисунок 4.2 – Небезпечні фактори при роботі з зерносушарками

Займання зерна. При порушенні режиму циркуляції або перегріві агента сушіння зерно (особливо соняшник чи ріпак) може спалахнути всередині камери. Скупчення дрібних домішок та сміття лише прискорює цей процес.

Вибух пилу. У процесі сушіння утворюється велика концентрація органічного пилу. У закритому просторі при досягненні певної концентрації та наявності іскри це може призвести до об'ємного вибуху.

Витік палива. Для сушарок на дизельному паливі чи газі несправність паливопроводів або пальника створює ризик неконтрольованого горіння поза камерою згорання.

Механічні небезпеки. Мобільні зерносушарки насичені відкритими та прихованими рухомими елементами.

Вали відбору потужності (ВВП) трактора та карданні передачі: Якщо сушарка працює від ВВП трактора, незахищений карданний вал є зоною підвищеної смертельної небезпеки – існує ризик затягування одягу.

Шнекові транспортери. Центральний вертикальний шнек та завантажувальні пристрої можуть спричинити тяжкі травми кінцівок при спробах очищення працюючого механізму або через відсутність захисних решіток.

Пасові та ланцюгові передачі. Приводи вентиляторів та змішувачів містять такі види передач, тому повинні бути закриті кожухами, оскільки вони мають високу швидкість обертання та інерцію.

Електрична безпека. Оскільки обладнання часто експлуатується просто неба, електричні ризики зростають.

Коротке замикання та пробой. Робота в умовах підвищеної вологості, вібрації та запиленості може пошкодити ізоляцію кабелів або блоків керування (зокрема блоків плавного пуску чи датчиків).

Відсутність або несправність заземлення. Мобільний характер установки часто призводить до нехтування правильним заземленням, що при пробойі на корпус створює загрозу ураження оператора струмом.

Шкідливий вплив на організм (виробниче середовище). Постійне

перебування біля працюючої установки несе довгострокові ризики для здоров'я.

Акустичне навантаження. Потужні вентилятори та пальники генерують шум, що перевищує допустимі норми (часто понад 85-90 дБ), а це вимагає використання засобів захисту органів слуху.

Запиленість повітря. Постійне вдихання зернового пилу без респіраторів призводить до захворювань дихальних шляхів та алергічних реакцій.

Термічні опіки. Висока температура стінок камери згоряння та трубопроводів гарячого повітря може спричинити опіки при випадковому контакті.

Технологічні ризики та помилки експлуатації. Перекидання. Мобільні сушарки мають високий центр ваги. Неправильне встановлення на м'якому ґрунті або недостатнє вирівнювання за допомогою опор може призвести до перекидання агрегату під час завантаження зерном.

Накопичення газів. При неповному згорянні палива можливе накопичення чадного газу ( $\text{CO}_2$ ) у зоні обслуговування, що є небезпечним для оператора, особливо якщо сушарка знаходиться у напівзакритому приміщенні.

### **4.3. Протипожежні заходи під час експлуатації зерносушарки**

Враховуючи специфіку мобільних зерносушарок, де поєднуються пальники високої потужності, легкозаймистий пил та сухе зерно, протипожежні заходи повинні бути комплексними: від технічного оснащення до суворого регламенту робіт (рис.4.3).

Технічні заходи та оснащення обладнання. Для запобігання пожежі конструкція має бути захищена на рівні автоматики та механіки.

Контроль температури. Встановлення та регулярна перевірка датчиків температури агента сушіння та самого зерна. Автоматика повинна негайно вимикати пальник у разі перевищення встановлених лімітів.

Системи автоматичного пожежогасіння. Оснащення сушарки стаціонарними форсунками всередині камери для подачі води або вогнегасної суміші безпосередньо в зону загоряння.

Датчики полум'я та іскрогасники. На вихлопних трубах та в системі подачі гарячого повітря мають стояти іскрогасники, а палик має бути обладнаний фотоелементом, що фіксує відрив полум'я.

Аварійна вивантажувальна система. Можливість швидкого примусового вивантаження зерна з камери у разі виявлення осередку тління.

Експлуатаційні заходи.

Більшість пожеж стається через порушення чистоти та правил обслуговування сушарки.

Очищення від сміття та пилу. Щоденне (а іноді й кожні кілька годин) очищення зовнішніх стінок, палика та вентилятора від зернового пилу, лущиння насіння (наприклад соняшника) та інших залишків.

## ПРОТИПОЖЕЖНІ ЗАХОДИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗЕРНОСУШАРКИ

Дотримання вимог пожежної безпеки – запорука збереження врожаю, обладнання та життя людей!



**ДО ПОЧАТКУ РОБОТИ**

- ✓ Перевірте справність обладнання, палика, датчиків та системи управління.
- ✓ Очистіть сушарку та прилеглу територію від пилу, соломи та сторонніх предметів.
- ✓ Перевірте герметичність паливопроводів та з'єднань.
- ✓ Переконайтеся у наявності первинних засобів пожежогасіння.

**Контролюйте температуру**

Не допускайте перегріву зерна та теплоносія. Регулярно перевіряйте показники датчиків.

**Очищуйте обладнання від пилу**

Регулярно видаляйте пил і залишки зерна з бункера, каналів, вентиляторів та інших вузлів.

**Перевіряйте справність вентиляції**

Забезпечте безперервну роботу вентиляторів та аспіраційної системи.

**Контролюйте електрообладнання**

Слідкуйте за справністю проводки, з'єднань, заземлення та пускової апаратури. Уникайте перевантажень.

**Забороно палити та використовувати відкритий вогонь**

Паління, використання відкритого полум'я та іскор поблизу сушарки суворо заборонено!

**ПІД ЧАС РОБОТИ**

- ✓ Не залишайте зерносушарку без нагляду.
- ✓ Контролюйте температуру зерна та теплоносія.
- ✓ Слідкуйте за роботою вентиляційної системи та палика.
- ✓ Не допускайте перевантаження електромережі.
- ✓ Негайно зупиняйте обладнання при появі диму, запаху гару або стороннього шуму.

**ПІСЛЯ ЗАВЕРШЕННЯ РОБОТИ**

- ✓ Проведіть повне очищення сушарки та прилеглої території.
- ✓ Перевірте відсутність тління в пилосбірниках та каналах.
- ✓ Зупиніть палик, перекрийте подачу палива.
- ✓ Відключіть електрообладнання.
- ✓ Переконайтеся, що всі люки та дверцята надійно закриті.

**ЗАСОБИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ**



Вогнегасник порошковий (не менше 2 шт.)



Вогнегасник вуглекислотний (1 шт.)



Пожежний щит



Відро з піском (2 шт.)

**УВАГА!**

У разі пожежі негайно:

1. Зупиніть сушарку та палик.
2. Перекрийте подачу палива.
3. Повідомте пожежну охорону за телефоном 101.
4. Вживайте заходів для гасіння пожежі наявними засобами.

**101**

**СЛУЖБА ПОРЯТКУ**

**ДОДАТКОВІ ВИМОГИ**

- ✓ Розміщуйте зерносушарку на відстані не менше 30 м від будівель і складів.
- ✓ Забезпечте зручні під'їзди для пожежної техніки.
- ✓ Проводьте інструктажі з пожежної безпеки з персоналом.
- ✓ Регулярно перевіряйте стан обладнання та засобів пожежогасіння.

Рисунок 4.3 – Протипожежні заходи під час роботи зерносушарки

Контроль циркуляції зерна. Оператор повинен стежити, щоб зерно не "зависало" в окремих зонах сушарки. Нерухома маса зерна при постійному обдуві гарячим повітрям спалахує за лічені хвилини.

Очищення зерна перед сушінням. Використання скальператорів або сепараторів для видалення легких домішок, які є найбільш пожежонебезпечними.

Дотримання дистанції. Розміщення сушарки на відстані не менше 10–15 метрів від будівель, складів палива та дерев'яних конструкцій.

Організаційні заходи та засоби гасіння.

Підготовка персоналу та наявність засобів першої допомоги на майданчику.

Пост пожежогасіння. Біля сушарки повинні знаходитися вогнегасники (порошкові типу ОП-9 або вуглекислотні), ємність з водою (не менше 200 л) та пожежний щит (ломи, лопати, кошма).

Гідрант або мотопомпа. За наявності великих обсягів робіт рекомендується мати підведений пожежний рукав під тиском або готову до роботи мотопомпу.

Чергування персоналу. Категорично заборонено залишати працюючу сушарку без нагляду оператора. Навіть найсучасніша автоматика потребує людського контролю.

Дії при виникненні загоряння.

Негайне відключення пальника та вентилятора. Припинити подачу палива та кисню (повітряного потоку) в камеру.

Припинення циркуляції. Зупинити шнеки, якщо вогонь уже поширився, щоб не розносити іскри по всій масі зерна.

Виклик ДСНС. Навіть якщо здається, що вогонь незначний.

Використання води. Подавати воду всередину сушарки через спеціальні пожежні люки, намагаючись змочити зернову масу зверху.

Заходи щодо охорони навколишнього середовища.

Робота мобільних зерносушарок має прямий вплив на довкілля через

викиди продуктів згоряння палива, поширення органічного пилу та високий рівень шумового забруднення. Для мінімізації цього впливу впроваджується комплекс екологічних заходів.

Мінімізація викидів у атмосферу.

Основна проблема при роботі зерносушарки – це продукти спалювання палива (дизельного, газу чи біопалива) та дрібні фракції зерна.

Налаштування пальників. Регулярне технічне обслуговування пальника забезпечує повне згоряння палива. Це знижує викиди чадного газу та оксидів азоту у повітря.

Перехід на чисті види палива: Використання природного газу або пропану замість дизельного палива суттєво зменшує кількість сажі та шкідливих сполук сірки.

Використання аспіраційних систем. Встановлення циклонів або пилоуловлювачів на виході повітря дозволяє затримувати до 90% легких домішок і пилу, запобігаючи їх розсіюванню на прилеглі території.

Боротьба з пиловим забрудненням.

Зерновий пил є сильним алергеном і може негативно впливати на місцеву екосистему.

Пилозахисні екрани. Встановлення спеціальних сіток або брезентових накриттів навколо зони вивантаження та вентиляторів, що обмежує розліт лушпиння вітром.

Попереднє очищення зерна. Видалення легких відходів (полови, пилу) до того, як зерно потрапить у камеру сушіння, значно знижує концентрацію зважених часток у повітрі навколо установки.

Утилізація відходів сушіння. Зібраний пил та сміття не повинні спалюватися просто неба. Їх слід збирати в контейнери для подальшого використання (наприклад, для виробництва паливних пелет) або компостування.

Зниження акустичного навантаження.

Потужні вентилятори створюють шумове забруднення, що впливає на

фауну та мешканців найближчих населених пунктів.

Шумоглушники. Встановлення акустичних фільтрів на вентилятори та вихлопні системи двигунів/пальників.

Оптимальне розміщення. Врахування "рози вітрів" та рельєфу місцевості при встановленні сушарки, щоб звукові хвилі не спрямовувалися в бік житлових масивів або заповідних зон.

Захист ґрунтів та водних ресурсів.

Мобільні установки часто працюють безпосередньо в полі або на токах, що створює ризик хімічного забруднення.

Запобігання витoku паливно-мастильних матеріалів. Використання герметичних паливних баків та піддонів під місцями з'єднання паливопроводів. Це запобігає потраплянню нафтопродуктів у ґрунт та підземні води.

Правильна мийка та обслуговування. Заборона технічного обслуговування та миття техніки безпосередньо на ґрунті без обладнаних стічних систем з фільтрацією.

Енергоефективність.

Зниження споживання енергоресурсів є непрямим, але важливим екологічним фактором.

Теплоізоляція корпусу. Зменшення втрат тепла дозволяє спалювати менше палива для досягнення того ж результату сушіння.

Системи рекуперації тепла. Повернення частини відпрацьованого гарячого повітря назад у цикл сушіння суттєво економить енергію та зменшує загальний обсяг викидів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розглянуто процес сушіння зерна кукурудзи в мобільній зерносушарці Zaffrani 210 та запропоновано шляхи його вдосконалення шляхом використання альтернативного палива, підвищення рівня автоматизації та оптимізації технологічної схеми роботи сушильного комплексу. Метою роботи було підвищення ефективності сушіння зерна при збереженні його якісних показників та зменшенні енергетичних витрат.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що сушіння є однією з найважливіших операцій післязбиральної доробки зерна, від якої залежить його подальша збереженість, якість та ринкова вартість. Для кукурудзи особливо важливим є дотримання оптимальних температурних режимів через низьку швидкість вологообміну та схильність зерна до утворення тріщин під час інтенсивного нагрівання.

Встановлено, що мобільна зерносушарка Zaffrani 210 має низку переваг порівняно зі стаціонарними сушарками: відсутність необхідності капітального будівництва, мобільність, універсальність щодо різних культур, можливість автоматизованого контролю процесу сушіння та високу енергоефективність.

У роботі запропоновано вдосконалення технологічної схеми сушильного комплексу шляхом встановлення приставної завальної ями, системи попереднього очищення зерна, аспірації та пригнічення пилу, що дозволяє підвищити продуктивність роботи, покращити якість зерна та знизити пожежну небезпеку.

Проведені розрахунки технологічного процесу показали, що при сушінні кукурудзи з початковою вологістю 24% до кінцевої вологості 14% сушарка забезпечує ефективне видалення надлишкової вологи та стабільну роботу основних систем теплопостачання і вентиляції.

Економічний аналіз підтвердив доцільність використання альтернативного палива. Вартість сушіння однієї тонни зерна при використанні бітуму є значно нижчою порівняно з дизельним паливом, що забезпечує суттєве

скорочення експлуатаційних витрат та підвищення рентабельності роботи зерносушильного комплексу.

Розрахунок окупності показав, що за умови інтенсивного використання сушарки протягом сезону вкладені кошти можуть окупитися приблизно за 1–2 сезони роботи, що підтверджує економічну ефективність впровадження мобільної зерносушарки Zaffrani 210 у фермерських господарствах.

Особливу увагу приділено питанням охорони праці та пожежної безпеки. Визначено основні небезпечні фактори під час експлуатації зерносушарки та розроблено заходи щодо їх мінімізації, що сприяє безпечній роботі персоналу та надійній експлуатації обладнання.

Отже, запропоновані технічні та організаційні рішення дозволяють підвищити ефективність сушіння кукурудзи, зменшити витрати енергоресурсів, покращити якість готової продукції та забезпечити економічну доцільність використання мобільної зерносушарки Zaffrani 210 для невеликих фермерських господарств, які зайняті на вирощуванні зернових культур.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Конструкція, розрахунок і виробництво сільськогосподарських машин» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» зі спеціалізацією «Машини сільськогосподарського виробництва» для здобуття освітнього ступеня «бакалавр» / А.В. Бабій. Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 100 с.
2. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Сільськогосподарські машини: конструкції та розрахунок» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Машини для заготівлі кормів. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2022. 76 с.
3. Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г., Павх І. І. Машини сільськогосподарського виробництва. Тернопіль, 2005. 228 с.
4. Довбуш А.Д. Прикладна механіка і основи конструювання: навчально-методичний посібник до розрахунково-графічної роботи / А.Д. Довбуш, Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Н.А. Рубінець. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2015. 116 с.
5. Довбуш Т.А. Зниження металоємності гнучких транспортуючих механізмів /Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, Г.Б. Цьонь // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. Тернопіль: ТНТУ, 2020. С. 20-21.
6. Довбуш Т.А. Методи проектування сільськогосподарських машин: навчально-методичний посібник до курсового проектування /Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 72 с.
7. Довбуш Т.А. Шляхи зменшення металомісткості гнучких шнекових механізмів// Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Довбуш А.Д., Цьонь Г.Б. // Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича «Проблеми теорії

- проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин», 23-24 вересня 2021. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. С.67-68.
8. Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Дунець Б.О. Експериментальні дослідження циклічної тріщинотривкості конструктивної системи// XXI наукова конференція ТНТУ імені Івана Пулюя. Тернопіль, 2019. С. 15-16.
  9. Лапін В.М. Безпека життєдіяльності людини. Львів: ЛБК НБУ; Київ: Знання, 2000. 188 с.
  10. Пастух Р., Філіпович С. Керівник Хомик Н.І. Удосконалення процесу сушіння зерна з використанням мобільної сушарки. *Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання: зб. тез. ІХ міжнар. студентської наук.-техн. конф. м. Тернопіль, 23-24 квітня 2026 р. Тернопіль. ТНТУ, 2026. С. 26-27.*
  11. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник /Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
  12. Сільськогосподарські машин: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн.1: Машини для рільництва /П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; За ред. М.І. Черновола. Київ: Урожай, 2001. 382 с.
  13. Хомик Н.І., Антончак Н.А. Механізація зберігання сільськогосподарської продукції: навчально-методичний посібник до курсового проектування. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2018. 136с.
  14. Хомик Н.І. Вступ до фаху: навчальний посібник для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія» / Н.І. Хомик, Г.Б. Цьонь, Т.А. Довбуш, І.Й. Блозва, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 348 с.
  15. Хомик Н.І. Деталі машин. Курс лекцій для студентів заочної форми навчання / Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш, О.П. Цьонь. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 160 с.
  16. Хомик Н.І., Довбуш А.Д., Олексюк В.П. Машини та обладнання для тваринництва. Навчальний посібник (курс лекцій). Частина перша. Хомик Н.І., Довбуш А.Д., Олексюк В.П. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. 240 с.
  17. Хомик Н.І., Довбуш Т.А., Дунець Б.О. Напрямки мінімізації матеріаломісткості шарнірно-з'єднаних секцій робочих органів гвинтових

- конвеєрів /Збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції «Агроінженерія: сучасні проблеми та перспективи розвитку», присвячена 90-й річниці з дня заснування механіко-технологічного факультету НУБіП України (7-8 листопада 2019 року). Київ, 2019. С. 69-70.
18. Хомик Н.І., Довбуш Т.А., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Машини та обладнання для тваринництва: навчальний посібник до практичних занять та самостійної роботи. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 360 с.
  19. Хомик Н.І. Методичний посібник до виконання дипломної роботи для здобуття освітнього ступеня «магістр» для спеціальності 133 Галузеве машинобудування /Н.І. Хомик, М.Я. Сташків, В.П. Олексюк. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2018. 164 с.
  20. Хомик Н.І. Механізація зберігання сільськогосподарської продукції: методичні вказівки до виконання практичних робіт. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2018. 60 с
  21. Хомик Н.І., Олексюк В.П., Сташків М.Я., Бабій А.В., Довбуш Т.А., Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності Агроінженерія. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2025. 180 с.
  22. Хомик Н.І., Олексюк В.П., Цьонь О.П. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції. Навчальний посібник. Курс лекцій. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 288 с.
  23. Хомик Н.І. Основи агрономії: навчальний посібник (курс лекцій) /Н.І. Хомик, Г.Б. Цьонь, Т.А. Довбуш, В.П. Олексюк. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 232 с.
  24. Хомик Н.І. Основи агрономії: навчальний посібник до практичних занять та самостійної роботи /Н.І. Хомик, Г.Б. Цьонь, Т.А. Довбуш, Н.А. Антончак. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 320 с.
  25. Хомик Н.І., Цьонь Г.Б., Довбуш Т.А. Ознайомча практика: методичний посібник для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія». Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 80 с.
  26. Хомик Н.І., Цьонь Г.Б., Довбуш Т.А. Навчальна практика: методичний посібник для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія». Тернопіль:

- ФОП Паляниця В.А., 2022. 140 с.
27. Хомик Н.І. Технологія виробництва і переробки сільськогосподарської продукції: курс лекцій / Н.І. Хомик, Н.Б. Гаврон, Н.А. Рубінець. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 248 с.
  28. Хомик Н.І. Агрозахист: навчальний посібник / Н.І. Хомик, В.В. Мартинюк, А.В. Бабій, Г.Б. Цьонь, Т.А. Довбуш, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2025. 520 с.
  29. Хомик Н.І., Довбуш А.Д. Технічна механіка: навчально-методичний посібник до курсової роботи для студентів напряму підготовки «Електротехніка та електротехнології» денної та заочної форм навчання Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2013. 192 с.
  30. Чурсінов Ю.А. Аналітичне дослідження перспективи процесів автоматизації прийому, оцінки якості та закладання зерна на зернопереробних підприємствах / Ю.А. Чурсінов, О.С. Ковальова, В.С. Калина, Г.О. Пилипенко, Н.І.Хомик, Ch. Lehmann // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання, ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В.М. Кюрчев. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 1. С.93-107.
  31. Bulgakov Volodymyr, Olena Glazunova, Oleksandra Trokhaniak, Arlindo Almeida, Adolfs Rucins, Aivars Aboltins, Simone Pascuzzi, Nadia Khomyk, Ivan Beloev, Kaloyan Stoyanov. Investigation in energy parameters of process of compacted soil transportation by flexible sectional screw conveyor. *Engineering for rural development*. Jelgava, 21.-23.05.2025. PP.147-155. <https://DOI: 10.22616/ERDev.2025.24.TF027>.
  32. Tchoursinov Yuriy. Phyto-feed additives production: technological aspects and biological value. / Yuriy Tchoursinov, Olena Kovaliova, Viktoriia Kalyna, Svitlana Mykolenko, Nadiia Khomuk /Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies, Vol. XXIV, No. 2, 2020, P.43-48.

## ДОДАТКИ