

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення ефективності технологічного процесу сушіння
вороху трав з обґрунтуванням параметрів приводного механізму сушарки

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи МГм
спеціальності

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Мартишко І. М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Мartiшко Іван Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності технологічного процесу сушіння
вороху трав з обґрунтуванням параметрів приводного механізму сушарки.

Керівник роботи

Сташків Микола Ярославович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від «14» 11 2025 року № 4/7-969

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.12.2025

3. Вихідні дані до роботи

продуктивність по сухому вороху насіння трав - 1,2 т/год (початкова вологість - до 35 %);
потужність – 90 кВт; маса сушарки без паливного блока – 800 кг; габаритні розміри
сушарки вороху насіння трав, мм: довжина – 11225; ширина – 12395; висота – 6375.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Загально-технічний розділ. 2. Аналітико-дослідницький розділ.

3. Проектно-рекомендаційний розділ.

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки

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

Мета і завдання дослідження; Сушарка сипких матеріалів: схема функціональна, схема
принципова, схема кінематична; Привод сушарки; Деталювання; Загальні висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Загально-технічний розділ	22.11.25	
2.	Аналітико-дослідницький розділ	27.11.25	
3.	Проектно-рекомендаційний розділ	11.12.25	
4.	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	14.12.25	
5.	Загальні висновки	16.12.25	
6.	Графічна частина	18.12.25	

Студент

_____ (підпис)

Мартишко І.М.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Сташків М.Я.

_____ (прізвище та ініціали)

Реферат

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності процесу сушіння сипких сільськогосподарських матеріалів, зокрема насіння трав, шляхом обґрунтування раціональних технологічних режимів та конструктивних параметрів сушарки, що забезпечують збереження посівних властивостей матеріалу й зниження енергетичних витрат. Для досягнення поставленої мети в роботі виконано аналіз умов якісного зберігання насіння, досліджено фізико-механічні та аеродинамічні властивості насіннєвого вороху, обґрунтовано параметри процесу сушіння та основні вимоги до експлуатації сушильного обладнання, а також виконано розрахунки основних елементів сушарки.

Об'єктом дослідження є технологічний процес сушіння сипких сільськогосподарських матеріалів у сушильних установках післязбиральної обробки.

Предметом дослідження є закономірності тепло- та масообміну між теплоносієм і сипким насіннєвим матеріалом у процесі його сушіння, а також конструктивно-технологічні параметри сушарки, що впливають на інтенсивність і якість зневоднення.

Наукова новизна роботи полягає в уточненні впливу фізико-механічних та аеродинамічних властивостей вороху насіння трав на параметри тепломасообмінного процесу сушіння, а також у комплексному обґрунтуванні режимів сушіння, що забезпечують рівномірне зниження вологості без погіршення посівних якостей насіннєвого матеріалу.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання обґрунтованих технологічних режимів і конструктивних рішень під час проєктування, модернізації та експлуатації сушарок сипких сільськогосподарських матеріалів. Запропоновані підходи дозволяють підвищити енергоефективність процесу сушіння, зменшити втрати та забезпечити збереження посівних властивостей насіння, що може бути використано в умовах сільськогосподарських підприємств і насіннєвих господарств.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, використаної літератури та додатків.

Ключові слова. Технологічний процес, сушіння насіння, сушарка, привод, продуктивність, якість.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Аналіз критеріїв якісного зберігання насіння.....	8
1.2 Формування умов при виконанні технологічної операції сушіння сипких сільськогосподарських матеріалів.....	14
1.3 Обґрунтування основних вимог при експлуатації сушарки	18
2 АНАЛІТИКО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	24
2.1 Аналіз властивостей насіння як об’єкта сушіння	24
2.2 Обґрунтування параметрів сушарки	28
3 ПРОЕКТНО–РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	37
3.1 Розрахунок параметрів процесу сушіння вороху насіння трав	37
3.2 Обґрунтування величини потужності, що споживається приводом сушильної камери.....	43
3.3 Розрахунок ланцюгових передач приводу сушильної камери.....	45
3.4 Обґрунтування до побудови схеми машини.....	47
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	54
4.1 Розробка заходів з охорони праці роботі сушарок	54
4.2 Надзвичайні ситуації , що виникають при роботі сушарок та способи їх уникнення	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

ВСТУП

Сучасне аграрне виробництво характеризується високими вимогами до якості рослинницької продукції, стабільності її зберігання та ефективності післязбиральної обробки. Одним із ключових етапів підготовки врожаю до зберігання і подальшого використання є процес сушіння. Сипкі сільськогосподарські матеріали – зернові та зернобобові культури, насіння олійних і кормових рослин, насіння трав, а також інші дрібнофракційні продукти – потребують доведення до безпечної кондиційної вологості. Недостатньо висušена продукція швидко втрачає якість, уражується мікроорганізмами, піддається самозігріванню та може стати непридатною для зберігання чи переробки. Тому технологія сушіння є одним із найважливіших напрямів забезпечення продовольчої безпеки та економічної ефективності аграрного сектору.

Важливу роль у цьому процесі відіграють сушарки сипких сільськогосподарських матеріалів, які забезпечують контрольований відвід вологи за рахунок тепло- та масообміну між продуктом і теплоносієм. Такі машини застосовуються у великому спектрі сільськогосподарських підприємств – від зерноочисних ліній і сушильно-складських пунктів до потужних агропромислових комплексів. Сушарки різних конструкцій дозволяють ефективно обробляти продукцію з неоднорідною структурою, різним початковим рівнем вологості та чутливістю до температурних впливів. Особливо актуальною залишається потреба у високій універсальності обладнання, оскільки сучасні технологічні лінії працюють з широкою номенклатурою культур, що вимагає гнучкої адаптації режимів сушіння.

Окремої уваги потребує інтеграція сушильного обладнання в комплексні сушильно-очисні системи. У таких комплексах сушарка є лише одним із ключових елементів, взаємодіючи з транспортними системами, очисними машинами, системами аспірації, вузлами контролю якості та автоматизованими модулями керування. Ефективність роботи всього комплексу багато в чому

визначається раціональною взаємодією всіх його компонентів, оптимальною організацією потоків матеріалу та повітря, а також енергоефективністю теплотехнічних процесів. У цьому контексті сушарка не просто виконує функцію зниження вологості, а стає важливим технологічним елементом, що впливає на загальну продуктивність лінії та кінцеву якість продукції.

З огляду на зростаючі вимоги до енергозбереження та екологічності виробництва, сучасні сушильні установки повинні забезпечувати стабільні технологічні параметри за мінімального споживання енергії. Це стимулює наукові дослідження, спрямовані на вдосконалення конструкцій сушарок, оптимізацію параметрів теплоносія, покращення аеродинаміки робочої зони та впровадження автоматизованих систем керування. Універсальність і енергоефективність стають ключовими критеріями оцінки технологічного рівня обладнання.

Актуальність дослідження сушарок для сипких сільськогосподарських матеріалів зумовлена також необхідністю підвищення якості посівного матеріалу. Насіння трав і зернових культур має зберігати схожість, біологічну цінність та цілісність. Неправильний режим сушіння може призвести до перегрівання, механічних пошкоджень, зниження енергії проростання або втрати технологічних властивостей. Тому технічні рішення в конструкції сушарок мають забезпечувати делікатний режим обробки матеріалу при одночасному високому темпі сушіння, що потребує глибокого аналізу теплофізичних характеристик зернової маси та параметрів обладнання.

У сучасних умовах розвитку аграрної інфраструктури особливе значення має створення сушарок, здатних працювати як самостійно, так і в складі комплексів з очищення та первинної підготовки зерна. Це підвищує гнучкість виробничих процесів, дозволяє адаптувати обладнання до різних масштабів господарств – від невеликих фермерських підприємств до великих агрохолдингів. Використання універсальних сушильних машин у складі сушильно-очисних комплексів сприяє підвищенню ефективності логістики, оптимізації технологічних операцій та зменшенню втрат продукції..

1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз критеріїв якісного зберігання насіння

Зберігання сортового та гібридного насіння потребує створення спеціальних умов, які гарантують повне збереження його посівних властивостей і унеможливають потрапляння домішок інших культур або сортів. Насіннєвий матеріал елітних категорій та першої репродукції надходить до сховищ у мішках, які повинні бути опломбовані господарством-виробником, що підтверджує його автентичність і сортову чистоту. Партії насіння, у яких зафіксоване ураження частини зерен сажковими хворобами, розміщують окремо від здорового матеріалу. Це стосується насіння з ураженням до 1 % і від 1 до 2 %, а для таких культур, як просо та овес, – у межах до 1 %, від 1 до 2 % і від 2 до 5 %, щоб запобігти перехресному зараженню.

Під час формування запасів насіння другої та наступних репродукцій допускається об'єднання дрібних партій за умови, що вони належать до однієї культури, однакової репродукції та класу, а також мають подібні показники вологості, засміченості та зараженості. У разі створення таких укрупнених партій рівень сортової чистоти визначають за нижчим показником серед об'єднаних матеріалів, а посівні якості встановлюють за результатами лабораторного аналізу проб, відібраних із цієї партії.

Основний обсяг насіння зберігають насипом у спеціально обладнаних засіках, бункерах або секційних відділеннях. Високоякісні репродукції зернових культур, а також невеликі партії дрібного насіння зазвичай утримують у мішках. При цьому висоту насипу або штабеля суворо обмежують установленими нормами. Протруєне насіння, яке зберігається в паперових мішках, допускається складати у штабелі висотою до двадцяти рядів. Якщо ж насіннєсховище має підлогову систему з активним вентиляванням, то висоту насипу зернових культур можна збільшити до 5 метрів, а для інших культур – приблизно на третину менше.

Щоб уникнути будь-якого змішування або випадкового засмічення,

категорично заборонено розташовувати поруч у суміжних засіках чи штабелях насіння різних сортів однієї культури, а також культур, які важко розділити після змішування – наприклад, пшениці та жита або пшениці та ячменю. Відсіки, у яких зберігається насіння різних культур, не довантажують до верхньої межі приблизно на 15 см, що створює додаткову страховку від змішування.

Під час зберігання насіння в мішках у сховищах із твердою (бетонною чи асфальтованою) підлогою мішки розміщують на піддонах. Важливо, щоб піддони були підняті над поверхнею на 15–20 см, оскільки це забезпечує циркуляцію повітря, захищає насіння від сирості та сприяє збереженню його високої якості впродовж усього періоду зберігання.

Протруєне насіння, фасоване у мішки, зберігають у вигляді штабелів висотою до двадцяти рядів у спеціально ізольованих приміщеннях насіннесховищ. Якщо ж насіння оброблене пестицидними суспензіями із додаванням клеючих речовин, його дозволено розміщувати у закритих бункерах або силосах (ємкостях) висотою до 12 метрів.

У сховищах бункерного чи силосного типу сухе непротруєне насіння накопичують насипом до 12 метрів. За умови використання систем активного вентилявання та дистанційного контролю температури допустима висота насипу значно збільшується: для зерна пшениці, жита, ячменю, вівса і гречки – до 30 метрів, а для рису, проса та гороху – до 15 метрів. На кожен партію насіннєвого матеріалу, розміщеного в мішках чи насипом, закріплюють ярлик, який містить основну інформацію про цю партію.

Під час зберігання бобових культур особливу увагу приділяють запобіганню травмуванню зерна, оскільки удари під час падіння можуть призводити до розколювання сім'ядоль. З цією метою максимально зменшують висоту падіння зерна з транспортних механізмів. Для плавного опускання насіння застосовують гнучкі рукави з брезенту чи мішкщини, а також знижують швидкість руху стрічкових конвеєрів до 1,5–1,75 м/с. Уздовж рами конвеєрів встановлюють спеціальні захисні елементи, які запобігають

висипанню та втратам насіння.

Для підтримання високої якості насіннєвого матеріалу необхідно регулярно контролювати його фізичний стан – температуру, вологість, запах, колір, ступінь зараженості та схожість. Спостереження проводять окремо по кожній партії або окремому штабелю. Поверхню великих насипів умовно поділяють на секції площею близько 50 м², щоб вести більш точний моніторинг.

Температура насіння є ключовим показником стану зберігання. Її підвищення, якщо воно не спричинене зовнішніми температурними змінами, сигналізує про порушення режиму зберігання та можливий ризик самонагрівання і псування насіння. Для вимірювання температури використовують термоштанги або електротермометри, проводячи заміри у різних зонах насипу – як по висоті, так і по площині. Якщо висота насипу перевищує 1,5 метра, температуру контролюють у трьох рівнях: у верхньому шарі (на глибині 30–50 см), у центральній частині й безпосередньо біля підлоги. Після кожного вимірювання термоштанги переміщують приблизно на 2 метри, щоб охопити весь обсяг маси.

Частота термометрії залежить від пори року та стану насіння. Навесні особливу увагу звертають на тенденцію підвищення температури у верхніх шарах, особливо з боку південних стін або ділянок насипу. Якщо фіксується швидке неконтрольоване нагрівання, необхідно терміново охолоджувати партію, посилити вентиляцію або перемістити насіння. У таких випадках контроль здійснюють щоденно.

Не менш важливо відстежувати вологість, оскільки саме вона визначає стійкість насіння до псування. Вологість у насипних партіях перевіряють не рідше двох разів на місяць, а також після кожного переміщення або додаткової обробки. Підвищену увагу приділяють некондиційному насінню, схильному до самозігрівання. Відбір проб на вологість проводять у кожній засіці або секції, а у силосах – у верхній частині насипу на глибині до трьох метрів.

Схожість насіння різних культур зберігається неоднаково: найтриваліше

життєздатність зберігають зерна пшениці та кукурудзи, дещо швидше втрачає схожість ячмінь і овес, а найменш довговічним у процесі зберігання є насіння жита. Після закінчення терміну дії посвідчення про кондиційність або при підготовці насіння до тривалого зберігання необхідно повторно оцінити його посівні якості, зокрема провести визначення схожості чи повний сільськогосподарський аналіз у Державній насіннєвій інспекції. Відповідно до чинних стандартів термін чинності посвідчення для зернових і олійних культур за показником схожості становить чотири місяці. У процесі зберігання схожість перевіряють щонайменше раз на два місяці, а отримані результати фіксують у журналі спостережень, а також у штабельних ярликах встановленої форми № 91.

Оскільки насіння протягом усього періоду зберігання може зазнавати різних фізіологічних та біохімічних змін, важливо мінімізувати вплив несприятливих факторів, щоб не лише зберегти його енергію проростання, а й запобігти погіршенню інших якісних показників. Одним із головних чинників зниження схожості є інтенсивне дихання насіння з підвищеною вологістю. За такого дихання у внутрішньому просторі насипу накопичується вуглекислий газ, а в клітинах зародка починають переважати процеси анаеробного дихання. У результаті утворюються токсичні продукти, зокрема етиловий спирт, який руйнує клітини ембріона та викликає швидку втрату схожості. На відміну від цього сухе насіння дихає дуже слабо, тому його можна зберігати тривалий час навіть за великої висоти насипу.

Відчутне зниження схожості також спричиняє активізація мікрофлори та шкідників – кліщів, комах, плісневих грибів. На ранніх стадіях ураження цвілевими грибами лабораторні показники схожості можуть залишатися високими, тоді як польова схожість істотно зменшується. Партії насіння, уражені кліщами, автоматично переводять у третій клас, оскільки їх присутність майже завжди супроводжується різким погіршенням посівних властивостей.

Одним із небезпечних явищ під час зберігання є самозігрівання зернової

маси. Навіть початкові його прояви негативно впливають на життєздатність насіння. Ще одним критичним фактором є передчасне проростання насіння в умовах складу, що категорично неприпустимо при формуванні насіннєвих фондів. Насіння з надмірною вологістю особливо чутливе до низьких температур: за тривалого впливу холоду воно швидко втрачає якість і не придатне для висіву.

Температурний режим також відіграє суттєву роль. Чим більшою є кількість вільної вологи в насінні, тим сильніше воно реагує на вплив негативних температур. Якщо сухе насіння більшості культур може витримувати охолодження до $-20...-25$ °C упродовж тривалого часу без значної втрати схожості, то при вологості 20–22 % багато зернин гине вже за температури $-5...-10$ °C протягом короткого періоду. Саме тому підтримання насіння у стані безпечної вологості є одним із найважливіших чинників його тривалого та якісного зберігання.

У процесі тривалого зберігання насіння його схожість неминуче знижується, причому темпи цього зниження різняться залежно від культури. Дослідження показують, що за оптимальних умов пшениця яра, ячмінь, овес та гречка можуть зберігати життєздатність упродовж приблизно 1,5–3,5 року. Насіння озимої пшениці та жита залишається придатним для висіву протягом 1–3 років, тоді як рис, просо та люпин – від 1,5 до 2,5 року. Насіння соняшнику характеризується найкоротшим терміном збереження схожості – до 1,5 року, і лише за умови, що вологість під час закладання була на 2 % нижчою за критичну.

Підготовка зерносховищ до приймання нового врожаю є обов'язковою умовою забезпечення безпечного та якісного зберігання продукції. Для цього застосовують комплекс заходів, спрямованих на захист хлібних запасів від шкідників. Усі їх поділяють на карантинні, запобіжні та винищувальні. Остання група включає методи фізичного, фізико-хімічного та хімічного впливу. До фізико-нехімічних відносять біологічні й мікробіологічні методи, термічну дезінсекцію, очищення зерна та обробку газовими сумішами; до хімічних –

фумігацію з використанням спеціальних пестицидів.

Карантинні заходи спрямовані на недопущення проникнення на територію країни карантинних видів комах, збудників хвороб або насіння бур'янів. Їх виконання покладено на Державну службу з карантину рослин, яка контролює імпорт і переміщення підкарантинної продукції.

Запобіжні заходи реалізують безпосередньо на хлібоприймальних і зернопереробних підприємствах. Вони включають підтримання території та приміщень у чистоті, ретельний контроль за прийманням і зберіганням зерна, виділення окремих зон для заражених партій, а також організацію спеціальних приміщень для зберігання й очищення тари. Основне завдання таких заходів – не допустити проникнення та розповсюдження шкідників у місцях зберігання харчового та насінневого зерна.

Винищувальні заходи включають дезінсекцію та дератизацію – тобто знищення комах, кліщів і гризунів, здатних пошкодити зернову масу. До цієї групи належать також біологічні методи, які передбачають використання природних ворогів шкідників. Проте їх застосування досить обмежене, адже внесення у сховище живих організмів може призвести до додаткового забруднення зерна. Натомість мікробіологічні методи, що базуються на використанні мікроорганізмів, здатних викликати масове ураження шкідників, вважаються перспективними у майбутньому.

Окрему групу становлять термічні методи дезінсекції, які передбачають застосування високих (як під час сушіння) або низьких температур (під час охолодження). Найефективніше термічну обробку здійснюють на рециркуляційних зерносушарках, де забезпечується рівномірний прогрів зернової маси.

Серед хімічних засобів боротьби з шкідниками найчастіше використовують пестициди для фумігації. Обробка проводиться газоподібними препаратами або твердими речовинами, що виділяють токсичні гази. Для аерозольної дезінсекції пестициди застосовують у вигляді диму чи туману, а для вологої – у формі водних розчинів та емульсій. Найпоширеніші препарати,

що використовуються у зерносховищах: метилхлорид, металилхлорид, препарат 242, фосфін, метилнітрофос, карбофос, трихлорметафос, ДДВФ і дезінсекційні шашки «Гамма». Усі роботи з агрохімікатами виконують з дотриманням суворих правил безпеки – у захисному одязі, гумових рукавицях, окулярах та спеціальному взутті; після завершення обробки обладнання і засоби захисту ретельно миють.

Після завершення очищення та дезінсекції зерносховищ складають офіційний акт про готовність приміщень до приймання зерна і насіння нового врожаю, що є обов'язковою складовою підготовчого етапу зберігання продукції.

1.2 Формування умов при виконанні технологічної операції сушіння сипких сільськогосподарських матеріалів

Сушарка для обробки сипких матеріалів слугує обладнанням, яке забезпечує зниження вологості різних видів дрібнофракційної сільськогосподарської продукції. Завдяки її роботі можна отримати якісний фуражний матеріал, технічну сировину та посівне насіння, яке відповідає вимогам подальшого зберігання й використання. Машина створює оптимальні умови для стабільного проходження тепломасообмінних процесів, що є вирішальним фактором для збереження властивостей висушуваного продукту.

Технологічні особливості роботи сушарки найбільш наочно проявляються під час обробки насіння трав, яке традиційно характеризується значною початковою вологістю та неоднорідністю маси. Такі матеріали швидко втрачають якість за відсутності своєчасного сушіння, тому їх необхідно піддавати термічній обробці перед очищенням, сортуванням та тривалим зберіганням. Для реалізації стабільного технологічного режиму передбачається конструкція сушарки, наведена на рисунку 1.1, яка забезпечує узгоджену роботу всіх функціональних вузлів.

Подача матеріалу в камеру сушіння здійснюється через завантажувальний

механізм, що вирівнює потік і не допускає надмірних коливань подачі. Завдяки цьому зернова маса або насіння трав надходять у зону сушіння рівномірно, що дозволяє підтримувати стабільні параметри обробки. Після завершення циклу сушіння висушений продукт виводиться з установки за допомогою розвантажувального пристрою, який забезпечує безперервне та контрольоване відведення матеріалу.

Сушарка орієнтована на універсальне застосування та може експлуатуватися в будь-яких природно-кліматичних умовах України. На відміну від вузькоспеціалізованих сушильних машин, вона здатна обробляти широкий спектр культур, що робить її придатною для використання на господарствах різного типу. Конструкція установки передбачає стаціонарне розміщення, тому для її ефективної роботи необхідно обладнати відповідне приміщення з електричним освітленням, що дозволяє організувати роботу в декілька змін. Оскільки експлуатаційні умови практично не залежать від пори року, сушарка може застосовуватися протягом усього року, забезпечуючи безперервність технологічного процесу.



Рисунок 1.1 – Структурна схема сушарки сипких матеріалів на прикладі обробітку вороху насіння трав

До характеристик технологічного процесу сушіння сипких сільськогосподарських матеріалів висувається низка вимог, які визначають ефективність, стабільність і якість роботи машини. Передусім сушарка повинна мати стаціонарне виконання, що забезпечує її надійність та здатність працювати як у безперервному, так і в циклічному режимах. Такий підхід дозволяє адаптувати обладнання до різних обсягів і темпів виробництва, а також до особливостей сировини, яка надходить на обробку. Важливою умовою є сумісність сушарки з серійними теплогенераторами, що спрощує її інтеграцію до існуючих технологічних ліній та гарантує стабільне постачання теплової енергії для сушильного агента.

Однією з визначальних характеристик технологічного процесу є рівномірність подачі матеріалу в сушильну камеру. Механізовані агрегати, що виконують функцію завантаження, повинні забезпечувати рівний розподіл матеріалу по всій площі та висоті сушильної зони, оскільки відхилення товщини шару понад десять відсотків призводить до порушення тепломасообмінних процесів та нерівномірності кінцевої вологості. Так само важливим є контроль процесу сушіння: нерівномірність обробки по пробах повинна бути мінімальною і не перевищувати двох відсотків, навіть якщо початкова вологість матеріалу змінюється в межах п'яти відсотків. Такий рівень точності гарантує стабільність якості кінцевої продукції. Сушильний процес не повинен супроводжуватися надмірним подрібненням насіннєвої маси – його допустимий рівень обмежується одним відсотком, що особливо важливо для збереження посівних властивостей культур. Для оперативного спостереження за температурним станом сушильного агента машина має бути обладнана дистанційними термометрами, які дозволяють здійснювати постійний контроль параметрів процесу без участі оператора в небезпечних зонах.

До технічних та експлуатаційних характеристик, що визначають продуктивність і надійність сушарки, належить комплекс основних параметрів. Продуктивність обладнання при обробці сухого вороху насіння становить

близько 1,2 тонни за годину, однак при доведенні насіння до стандартної кінцевої вологості – близько 14,5 % – робоча продуктивність зменшується до приблизно 0,5 тонни на годину, якщо початкова вологість матеріалу сягає 35 %. Встановлена потужність сушильної установки становить 90 кВт, що узгоджується з потребами теплотехнічного процесу, а в якості енергоносія використовується рідке паливо, переважно пічне. Теплова енергія, яка подається в сушильну камеру на випаровування одиниці маси вологи, не повинна перевищувати 1500 ккал на кілограм, що свідчить про достатню енергоефективність агрегату. Витрата теплоносія досягає близько 2000 м³ за годину, що дозволяє підтримувати необхідні умови для інтенсивного тепломасообміну.

Параметри шару матеріалу в сушильній камері залежать від його сипучості: для звичайних сипких матеріалів товщина шару може становити до 40 см, тоді як для малосипких – до одного метра. ККД теплогенератора складає близько 75 %, що є типовим для обладнання такого класу. Маса сушарки без паливного блока становить приблизно 800 кг, а її габаритні розміри забезпечують можливість обробки значних обсягів сировини. Довжина установки сягає 11 225 мм, ширина становить 12 395 мм, а висота – 6 375 мм, що визначає її просторові потреби при монтажі.

Конструкція сушарки повинна бути не лише продуктивною, а й надійною. Коефіцієнт готовності машини має бути не нижчим за 0,97, що означає її високий рівень працездатності в умовах багатозмінної експлуатації. Надійність виконання технологічного процесу повинна забезпечуватися на рівні не менше 0,96, а фактичне використання робочого часу протягом зміни – близько 0,85, що свідчить про оптимальну організацію процесів завантаження, сушіння та вивантаження матеріалу. Термін служби установки визначається приблизно восьмирічним періодом експлуатації. Трудомісткість виготовлення сушарки для льоновороху не повинна перевищувати 250 людино-годин, а її конструктивні особливості повинні гарантувати низьку матеріалоємність, яка не має бути більшою за 10 200 кг на тонну годинної продуктивності.

Особливо важливою вимогою є можливість швидкого очищення внутрішніх поверхонь та робочих камер під час переходу від однієї культури до іншої або при зміні сорту. Це дозволяє уникнути змішування партій та зберегти чистоту насіннєвого матеріалу. Витрати праці на повну очистку обладнання не повинні перевищувати двох людино-годин, що робить процес оперативним та зручним для персоналу.

Порівняно з іншими типами сушильного обладнання, застосування цієї сушарки дозволяє значно підвищити ефективність виробництва. Використання машини забезпечує зростання продуктивності праці приблизно у 1,2 рази та зменшення трудових витрат на одну тону обробленої продукції приблизно на п'ятнадцять відсотків. Такий результат досягається завдяки оптимізації технологічних процесів, раціональній організації теплопостачання та вдосконаленню конструктивних елементів, що роблять роботу сушарки стабільною, економічною та технологічно доцільною.

1.3 Обґрунтування основних вимог при експлуатації сушарки

Запропонована конструкція сушарки сипких сільськогосподарських матеріалів належить до стаціонарних типів обладнання, а тому може ефективно експлуатуватися в будь-якій природно-кліматичній зоні України. Оскільки робочі процеси сушарки не залежать від сезонних коливань температури чи вологості зовнішнього середовища, умови місцевості не створюють суттєвих обмежень для її функціонування. Проте кліматичні фактори безпосередньо впливають на властивості сировини, яка надходить на теплове оброблення. Особливо відчутним цей вплив є для західних регіонів України, які належать до зон підвищеної вологості. Клімат тут переважно помірно-континентальний, але з більш високими показниками вологості повітря порівняно зі східними областями держави. Річна кількість опадів у середньому становить від 600 до 800 мм, при цьому найбільша їх частка припадає на період з квітня по вересень,

коли випадає до 78 % річної норми. Саме в цей час відбувається активне зростання, досягання та збирання багатьох культур, у тому числі й тих, що потребують інтенсивного сушіння після збирання.

Україна характеризується значною різноманітністю природно-господарських зон, однак важливе місце серед них займає Полісся, де переважають родючі чорноземи та сірі лісові ґрунти. Саме ці ґрунтово-кліматичні умови сприятливі для вирощування широкого спектра культур, серед яких зернові з типовою врожайністю 20–45 ц/га, кукурудза на зерно, урожайність якої коливається в межах 80–90 ц/га, а також значні площі займають посіви багаторічних трав, урожайність насіння яких сягає 8–10 ц/га. Усе це створює потребу в обладнанні, здатному забезпечити якісне та швидке сушіння великих партій сировини.

Сушарка може функціонувати протягом усього періоду активних польових робіт – від початку літа й до пізньої осені. Перші партії матеріалу надходять уже в червні, коли розпочинається заготівля трав'яної різки для сінажу. Восени, аж до жовтня, триває збирання насінників конюшини та інших багаторічних трав, які потребують ретельного післязбирального доведення до кондицій. Однак найбільше навантаження припадає на період масового збирання зернових культур та очищення вороху насіння трав, коли обсяги сирої продукції суттєво зростають.

Інформація про технологічні процеси сушіння має ключове значення для узгодження всіх параметрів машини, вибору оптимальної структури її вузлів та визначення режимів роботи. Оскільки сушарка є складним і технічно насиченим агрегатом, її ефективність безпосередньо залежить від правильного поєднання продуктивності окремих елементів і від злагодженості їх функціонування в загальній технологічній схемі.

Ураховуючи високу вартість обладнання, для скорочення строків його окупності необхідно забезпечити максимально інтенсивне використання сушарки впродовж усього сезону. Це потребує не лише правильної організації власне процесу сушіння, а й наявності цілого комплексу допоміжних машин,

які беруть участь у збиранні сировини, її подрібненні (за потреби), первинному очищенні, транспортуванні та підготовці до сушіння. Від узгодженості роботи цього комплексу залежить безперебійність функціонування сушильного обладнання та стабільність завантаження сушильної камери.

Післязбиральна доробка трав, як і інших сипких культур, передбачає багатоетапний технологічний процес, у якому сушарка займає центральне місце. Її участь у загальній технологічній схемі показано на рисунку 1.2. Надходження вороху, його попереднє очищення, подача до сушильної камери, доведення вологості до кондиційних значень та подальше виведення матеріалу – усі ці операції повинні бути ретельно узгоджені з роботою інших механізмів. Саме така комплексна взаємодія забезпечує високий вихід якісної продукції та мінімізацію втрат у процесі сушіння.

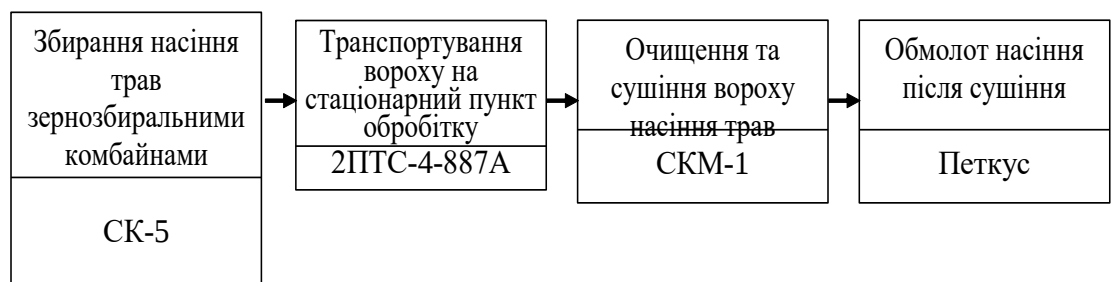


Рисунок 1.2 – Схема технологічного процесу обробітку насіння трав

Підбір конкретних видів техніки та визначення їх кількості для роботи в технологічному процесі визначається не стільки продуктивністю сушарки, скільки строками проведення збиральних робіт. Будь-яке затягування із сушінням свіжозібраної вологого сировини створює ризик її самозігрівання, що призводить до різкого погіршення якості та втрати посівних або товарних властивостей.

Характеристики матеріалу, який надходить у сушарку, є базою для визначення оптимальних режимів її роботи та параметрів основних елементів конструкції. Найважливішими фізико-механічними показниками, що

впливають на ефективність сушіння сипких сільськогосподарських матеріалів, виступають початкова та необхідна кінцева вологість. Відповідно до державних стандартів і природних властивостей культур, рівень вологості після сушіння для насіннєвих матеріалів не повинен перевищувати 15,5 %, що забезпечує можливість їх безпечного зберігання протягом певного проміжку часу без втрати якості.

На прикладі вороху насіння трав, для обробки якого й розробляється конструкція сушарки, можна відзначити значні коливання вологості. Початковий її рівень зазвичай становить близько 30 %, тоді як кінцевий має бути в межах 14...17 %. Тому сушильна установка повинна працювати в режимі, який не допускає нагрівання насіннєвого матеріалу вище 44 °С, адже перевищення цієї температури здатне негативно вплинути на схожість і життєздатність насіння.

Інші фізико-механічні властивості насіннєвого вороху, що визначають конструктивні рішення сушарки та параметри її робочих органів, наведені в нижче. Важливо враховувати особливості як насіння, так і домішок (плутанини), оскільки їхня структура й поведінка під час сушіння суттєво впливають на результативність і стабільність процесу.

Фізико-механічні властивості вороху насіння трав суттєво впливають на процес сушіння, формування конструкції робочих органів та вибір режимів роботи машини. Однією з базових характеристик є щільність матеріалу. Для вороху насіння трав вона зазвичай становить від 0,62 до 1,06 г/см³, що свідчить про досить пухку структуру суміші, у якій поєднуються насіння різних розмірів, частки оболонок та легкі домішки. Подібна неоднорідність потребує точної організації подачі повітряних потоків, оскільки від щільності залежить швидкість руху матеріалу в сушильній камері та рівномірність його прогрівання.

Важливою характеристикою є швидкість витання частинок, яка змінюється в широких межах – від 0,8 до 6,0 м/с. Це означає, що різні елементи вороху мають відмінну аеродинамічну поведінку: легкі частинки можуть

швидко підійматися повітряним потоком, тоді як важчі – опускатися значно повільніше. Такий розкид значень визначає необхідність точного регулювання інтенсивності повітряного потоку, щоб запобігти видуванню легких фракцій та забезпечити рівномірне сушіння.

Поведінка вороху на різних поверхнях також має вирішальне значення. Кут тертя матеріалу змінюється залежно від того, з якою поверхнею він контактує. На металевих площинах цей показник становить $13\text{--}32^\circ$, на дерев'яних – $6\text{--}29^\circ$, а на транспортерній стрічці – $21\text{--}60^\circ$. Ці дані демонструють, як різноманітні властивості поверхонь впливають на рух частинок: наприклад, на деяких видах транспортерних стрічок ворох може затримуватися чи навпаки рухатися надто швидко, що слід враховувати при конструюванні завантажувальних і вивантажувальних вузлів.

Не менш суттєвим показником є кут природного скосу матеріалу, який визначає, як ворох поводить себе у стані спокою. Для сухого вороху насіння трав цей кут зазвичай становить близько 33° , тоді як для вологого підвищується до 45° . Зростання кута для вологого матеріалу свідчить про підвищену злипливість і зменшення сипкості, що ускладнює рівномірну подачу та може повністю змінювати характер руху матеріалу в сушарці. Саме тому системи подачі повинні враховувати зміну фізичних властивостей залежно від вологості.

Окремо слід відзначити еквівалентний діаметр насінини, який коливається від 0,78 до 4,40 мм. Така мінливість розміру частинок також впливає на режим сушіння, інтенсивність перемішування та конфігурацію решіт, каналів або повітряних потоків у сушильній камері. Великі частинки прогріваються повільніше, тоді як дрібні можуть швидко перегріватися або втрачати життєздатність.

У сукупності всі ці властивості формують комплекс вимог до сушарки: вона повинна забезпечувати стабільний рух матеріалу, рівномірне його прогрівання та контрольоване відведення вологи, враховуючи неоднорідність вороху, різні його аеродинамічні характеристики та зміну фізичних властивостей залежно від вологості. Такі параметри стають ключовими при

проектуванні сучасних сушильних установок, призначених для делікатної обробки насіннєвих культур.

Для забезпечення коректного вимірювання швидкості повітряного потоку спочатку проводять встановлення трубки мікроманометра на висоті, що відповідає площині проведення замірів. Після фіксації приладу запускають привод вентилятора, створюючи стабільний повітряний потік у робочій зоні аеродинамічної труби. У таких умовах здійснюється реєстрація динамічного тиску, значення якого є основою для подальших розрахунків швидкості руху повітря.

Паралельно з цим визначають фізичні параметри зернового матеріалу досліджуваної культури, зокрема встановлюють його масу та геометричні характеристики, оскільки саме ці показники істотно впливають на умови витання насіння в повітряному потоці. Після підготовки насіння його завантажують у робочу частину аеродинамічної труби, де за допомогою зміни швидкості руху повітря встановлюють вертикальний діапазон витання частинок. Спостереження дозволяють зафіксувати нижню та верхню межі положення насіння, визначивши простір, у якому сила аеродинамічного опору зрівноважується із силою тяжіння.

Подальша робота передбачає визначення площ поперечного перерізу аеродинамічної труби в тих зонах, де відбувається витання насіння. Для цього обчислюють площі перерізу на рівні вимірювання динамічного тиску, а також на висотах, що відповідають верхній і нижній межах стабілізованого положення зернин у потоці. Ці дані є необхідними для точного аналізу руху повітря та визначення взаємозв'язку між швидкістю потоку, характеристиками насіння і геометрією каналу.

Спираючись на сукупність отриманих результатів, проводиться подальший розрахунок основних аеродинамічних параметрів, що характеризують поведінку насіння в повітряному потоці, а також визначають умови його витання та можливість застосування цих даних у технологічних процесах сортування або калібрування.

2 АНАЛІТИКО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз властивостей насіння як об'єкта сушіння

Вивчення аеродинамічних характеристик насіння є необхідним етапом для розуміння його поведінки у повітряному потоці. Те, як насінина переміщується або зависає у струмені повітря, визначається її власними аеродинамічними параметрами. До основних показників, що описують ці властивості, належать критична швидкість або швидкість витання K_f , коефіцієнт опору повітря K та коефіцієнт парусності K_p .

Щоб зрозуміти, як саме насіння реагує на повітряний потік, розглянемо його рух у вертикально спрямованому струмені. У такому потоці на насінину одночасно діють дві протилежні сили: сила тяжіння G , яка намагається опустити її вниз, і сила аеродинамічного піднімання R , що виникає з боку повітряного потоку та спрямована вгору. Величину сили R можна визначити на основі рівняння, запропонованого Ісааком Ньютоном, яке описує взаємодію тіла з потоком рухомого середовища

$$R = K \cdot \gamma_n \cdot F(V_n - V_m)^2, \quad (2.1)$$

де γ_n - густина повітря, кг/м³;

F - площа проекції тіла на площину, перпендикулярну напрямку повітряного потоку (міделевий переріз тіла), м²;

V_m - швидкість повітряного потоку, м/с; V_n - швидкість руху тіла, м/с.

У вертикальному повітряному потоці сили тяжіння G і сила піднімання R діють у протилежних напрямках, створюючи різні варіанти руху насінини. Залежно від того, яка з цих сил переважає, насіння може опускатися вниз, якщо $G > R$, підніматися догори, коли $R > G$, або залишатися у стані рівноваги. Останній випадок спостерігається тоді, коли обидві сили зрівноважуються ($G = R$), а вертикальна швидкість переміщення насіння стає нульовою ($V_n = 0$).

Швидкість повітряного потоку V_v , за якої насінина зависає в повітрі, отримала назву критичної швидкості або швидкості витання. Саме це значення є ключовим параметром при оцінці аеродинамічних властивостей сипких сільськогосподарських матеріалів.

Виходячи з умови рівноваги $G = R$, можна записати основне рівняння, яке лежить в основі розрахунку критичної швидкості та використовується для подальшого визначення аеродинамічних коефіцієнтів насіння. Якщо потрібно, можу продовжити виведення формули або додати подальші теоретичні обґрунтування

$$V_{kp} = \sqrt{\frac{G}{K\gamma_n F}}, \quad (2.2)$$

де G - маса тіла, Н.

Коефіцієнт опору є однією з ключових характеристик, що визначають взаємодію частинки з повітряним середовищем. Він відображає, наскільки інтенсивно тіло протидіє повітряному потоку, і формується під впливом низки чинників. Передусім його величина залежить від геометричної форми насінини, особливостей її поверхні, а також від фізичних властивостей середовища, у якому відбувається рух. Значну роль відіграє і швидкість повітряного потоку: зі збільшенням швидкості струменя повітря коефіцієнт опору має тенденцію до зменшення, оскільки змінюється характер обтікання частинки.

Ще однією важливою характеристикою, що описує поведінку насіння у повітряному потоці, є коефіцієнт парусності. Цей показник фактично відображає здатність частинки «вловлювати» повітряний потік, тобто ступінь, з яким вона реагує на рух повітря, піддаючись вертикальному чи горизонтальному переміщенню. Коефіцієнт парусності визначають за відповідною залежністю, що враховує площу поверхні насінини, її масу та інтенсивність повітряного потоку, і дозволяє оцінити, наскільки активно

частинка може утримуватися у завислому стані або переміщуватися разом із потоком

$$K_n = \frac{9,81K\gamma_n F}{G}. \quad (2.3)$$

Коефіцієнти опору K та парусності K_n мають складну природу, оскільки їх значення залежать як від геометричних і фізичних характеристик самої частинки, так і від параметрів повітряного середовища, у якому вона перебуває. Через таку багатофакторність аналітичне визначення цих коефіцієнтів є вкрай ускладненим і практично не застосовується. Саме тому в технічній практиці широко використовують зворотний підхід: значення K і K_n визначають на основі експериментально отриманої критичної швидкості витання, яку встановлюють під час дослідів в аеродинамічній трубі.

Робота установки для дослідження аеродинамічних властивостей насіння побудована таким чином, що вентилятор створює спрямований повітряний потік, який засмоктується всередину труби. Для отримання рівномірного, стабільного повітряного струменя передбачено систему вирівнювання – колектор та спеціальна сітка. Досліджувані насінини розташовують на сітці, встановленій у дифузійній частині труби.

Визначення критичної швидкості відбувається в момент, коли насіння зависає в робочій зоні аеродинамічної труби, тобто перебуває у стані рівноваги між силою тяжіння та аеродинамічним опором. Для зручності спостережень ця ділянка виконується прозорою, а її форма розширюється знизу догори, що дозволяє отримувати різні значення швидкості повітряного потоку по висоті.

Швидкість витання визначають за показником динамічного тиску повітря, який вимірюють за допомогою приймальних трубок типу Піто, Прандтля або ЦАГІ у поєднанні з мікроманометром. Оскільки аеродинамічні властивості насіння залежать від культури, сорту, вологості та ступеня очищення, значення

критичних швидкостей у технологічних розрахунках завжди встановлюють експериментально для кожного конкретного випадку.

Програма визначення аеродинамічних параметрів насіння передбачає послідовне виконання вимірювань. На першому етапі визначають швидкість повітряного потоку в мінімальному та максимальному перерізах повітропроводу аеродинамічної труби. Для цього вимірюють діаметри відповідних перерізів: D_1 – у найбільш звуженій частині та D_2 – у розширеній. Динамічний тиск повітря P_d у кожному перерізі визначають за допомогою диференціального мікроманометра ММН-1, встановлюючи відповідний рівень рідини в трубці та кут нахилу приладу відносно горизонталі.

Швидкість повітряного потоку визначають за формулою, м/с

$$V_n = 4,04 \sqrt{\frac{P_d}{10}}, \quad (2.4)$$

де P_d – динамічний тиск, Н/м²;

Середня швидкість повітряного потоку в перерізі визначається з урахуванням коефіцієнта нерівномірності поля швидкостей, який залежить від числа Рейнольдса. Такий підхід дозволяє врахувати як ламінарні, так і турбулентні компоненти потоку та забезпечує точне визначення аеродинамічних характеристик насіння

$$V_{cp} = a V_n, \quad (2.5)$$

де a – коефіцієнт поля швидкостей, ($a = 0,875$).

2.2 Обґрунтування параметрів сушарки

Сушарка для сипких сільськогосподарських матеріалів призначена для оброблення теплом зерна, насіння трав та інших видів аграрної продукції, що мають сипку структуру. Таке обладнання може працювати як окрема установка або входити до складу сушильно-очисних комплексів та спеціалізованих пунктів післязбиральної доробки.

Створення цієї сушарки зумовлене потребою підвищити продуктивність виробничих процесів, зменшити витрати фізичної праці, покращити умови роботи персоналу та забезпечити збереження посівних і товарних властивостей матеріалу під час його термічної обробки. Існуючі аналоги обладнані пасовим приводом сушильної камери, що не забезпечує плавності її руху. Це призводить до нерівномірного прогрівання та висушування матеріалу, що іноді викликає його самозігрівання і, відповідно, знижує загальну ефективність роботи машини.

Конструкція сучасної сушарки сипких матеріалів повинна включати такі основні вузли:

- механізм для подачі сировини;
- сушильну камеру, у якій відбувається процес зневоднення;
- систему вивантаження висушеного матеріалу;
- стандартний теплогенератор;
- сонячний колектор (за умови застосування альтернативних джерел енергії);
- вентилятори та дифузори для подачі і рівномірного розподілу підігрітого повітря по камері;
- пульт керування сушаркою;
- додаткове обладнання – бункери, засувки, електроапаратуру та інші допоміжні елементи.

Сушарку (без теплогенератора) рекомендується встановлювати у легкому закритому приміщенні або під навісом загальною площею до 120 м² на

заздалегідь підготовленому фундаменті. Якщо конструкція передбачає використання сонячного колектора, його розміщують на даху споруди з південного боку під кутом $30...50^\circ$ до горизонту, залежно від сезону, щоб забезпечити максимально ефективно поглинання сонячної енергії.

Для контролю режиму роботи сушильна установка повинна бути обладнана дистанційними термометрами, які фіксують температуру теплоносія в середині камери. Привід машини – електричний, а управління всіма робочими режимами здійснюється зі станції керування сушаркою.

Контроль за роботою електродвигунів сушарки повинен здійснюватися за допомогою надійної системи сигналізації. У конструкції необхідно передбачити як світлові, так і звукові попереджувальні сигнали, що спрацьовують при виникненні аварійних режимів. Разом із цим система має бути оснащена блокуванням, яке автоматично припиняє роботу обладнання у разі небезпечних відхилень, запобігаючи порушенню технологічного процесу та пошкодженню вузлів машини.

Електричні схеми управління електродвигунами повинні включати ефективний захист від перевантажень та коротких замикань, що забезпечує стабільність роботи сушарки та підвищує її загальну експлуатаційну надійність.

Обслуговування сушарки покладається на одного працівника – сушильного майстра. Він повинен пройти спеціальну підготовку, знати конструктивні особливості обладнання, правила його експлуатації та мати відповідне посвідчення на право роботи з сушильними установками.

Конструкція сушарки повинна забезпечувати такі експлуатаційні показники:

коефіцієнт технічної готовності обладнання – не нижче 0,97;

коефіцієнт надійності виконання технологічного процесу – не менше 0,96;

коефіцієнт використання робочого часу протягом зміни – не нижче 0,85;

мінімальний строк служби обладнання – щонайменше 8 років.

Трудомісткість виготовлення сушарки не повинна перевищувати 125

люд.-год., що свідчить про достатню технологічність конструкції. Окрім цього, конструкція має забезпечувати матеріалоємність на рівні не вище 10 200 кг на 1 т/год продуктивності, а всі вузли й деталі повинні бути зручними у виготовленні, складанні, технічному обслуговуванні, ремонті та діагностиці.

Для зниження трудових витрат під час виробництва сушарки доцільно максимально використовувати стандартні елементи – гнуті профілі, прокатні та штамповані деталі. При цьому кількість частин індивідуального виготовлення повинна бути зведена до мінімуму, що суттєво оптимізує виробничий процес.

Аналогом для розроблення документації виступає карусельна сушарка марки СКМ-1. Рівень уніфікації із цим зразком за стандартними покупними деталями та елементами загальномашинобудівного призначення має становити не менше 15 %, що дозволяє зменшити витрати на виготовлення та спростити обслуговування обладнання.

Сушарка для сипких сільськогосподарських матеріалів має відповідати чинним нормативним вимогам, зокрема положенням «Вимог до конструкції тракторів і сільськогосподарських машин щодо безпеки та гігієни праці», а також правилам пожежної безпеки. Її компоновка та конструктивні рішення повинні забезпечувати вільний і безпечний доступ до основних механізмів під час технічного обслуговування, монтажу, ремонту та повсякденної експлуатації.

Усі рухомі елементи, що обертаються або можуть створювати небезпеку для працівників, мають бути належним чином інтегровані в корпус машини або закриті захисними кожухами та огороженнями. Зони підвищеного ризику, які потребують періодичного огляду, мають бути обладнані огороженнями, що легко відкриваються або знімаються, не порушуючи безпеки роботи.

Вузли та деталі масою понад 20 кг повинні бути оснащені спеціальними елементами для стропування під час підйому. Місця зачеплення потрібно чітко позначати стійкою фарбою, контрастною до основного кольору конструкції відповідно до вимог ДСТУ.

Усі металеві частини, які не проводять струм, але можуть опинитися під

напругою в аварійній ситуації, зобов'язані мати надійне підключення до нульового проводу та контуру заземлення через відповідні провідники.

На помітних ділянках сушарки повинні розміщуватися інформаційні таблички з чіткими позначеннями положення важелів, рукояток, кнопок керування, а також нагадуваннями щодо правил техніки безпеки.

Конструкція обладнання має забезпечувати оперативний і безпечний доступ персоналу до елементів, які потенційно становлять пожежну небезпеку. За ергономічними параметрами сушарка повинна відповідати діючим «Єдиним вимогам до конструкції тракторів і сільськогосподарських машин з урахуванням безпеки та гігієни праці», а також рекомендаціям щодо ремонтпридатності сільськогосподарських машин (РТМ 23.2.13-70), враховуючи антропометричні та професійні особливості механізаторів.

Рівні шуму та вібрації у зоні, де постійно перебуває оператор, повинні відповідати нормам ГОСТ 12.1.003-83 і не перевищувати допустимих значень. Для покращення умов роботи керування електроприводом передбачається здійснювати дистанційно, що знижує навантаження на персонал та підвищує безпеку.

З погляду естетики та промислового дизайну конструкція сушарки повинна відповідати сучасним тенденціям формотворення машин аналогічного типу, поєднуючи інформативність зовнішньої форми, логічність компоновки та загальну гармонійність конструкції.

Усі матеріали та комплектувальні вироби, передбачені технічною документацією для виготовлення сушарки сипких сільськогосподарських матеріалів, мають відповідати встановленим вимогам щодо їхніх марок і найменувань, а також відповідати положенням ДСТУ та іншим чинним нормативним документам. Підбір матеріалів та комплектуючих виконується таким чином, щоб забезпечити необхідні експлуатаційні властивості обладнання, його надійність, довговічність і відповідність призначенню.

Матеріали, що застосовуються у конструкції сушарки, повинні бути сертифікованими та відповідати стандартам Міністерства тракторного і

сільськогосподарського машинобудування. Для змащування підшипників і деталей тертя передбачено використання мастила ЧС-2 за ГОСТ 1033-73, а супутні вироби та матеріали мають відповідати вимогам не нижче першої категорії якості.

Конструктивні рішення сушарки повинні забезпечувати виконання всіх пунктів технічного завдання, що визначене у відповідній експлуатаційній документації. Для даного типу обладнання допускається запровадження лише двох видів технічного обслуговування: щозмінного та післясезонного. Трудомісткість щоденного обслуговування не повинна перевищувати 0,25 люд.-год., а післясезонного – 24 люд.-год.

Час, необхідний для приведення сушарки у робочий стан після транспортування та зберігання, включаючи монтаж, наладку й контрольні випробування без навантаження та під навантаженням, не повинен перевищувати 120 люд.-год.

На машині обов'язково мають бути нанесені: товарний знак або назва виробника, марка сушарки, її серійний номер згідно системи нумерації підприємства та дата виготовлення (місяць і рік). Усі необроблені або нефарбовані поверхні складальних одиниць перед монтажем покриваються консервуючим мастилом відповідно до стандарту.

Складальні одиниці сушарки мають транспортуватися таким чином, щоб уникнути їхнього пошкодження. Елементи, що є особливо вразливими, перевозять у заводській упаковці. Технічна документація упаковується у водонепроникний матеріал та вкладається у ящик, позначений як місце № 1. На кожній упаковці обов'язково зазначають її порядковий номер і марку машини, а маркування повинно відповідати вимогам нормативних документів.

Конструкція сушарки має забезпечувати можливість її транспортування у розібраному вигляді як у напіввагонах, так і на залізничних платформах до складів або кінцевих споживачів.

Конструкція сушарки повинна дозволяти її доставку до місць монтажу автотранспортом або транспортними причепами зі швидкістю до 20 км/год.

Завантаження сушарки має виконуватись відповідно до затверджених схем, погоджених з Міністерством шляхів і транспорту України. При цьому необхідно зберігати захисне пофарбування вузлів машини, а будь-які способи завантаження, які можуть призвести до вм'ятин, інших пошкоджень або забруднення обладнання, суворо забороняються.

Зберігання сушарки у споживачів здійснюється відповідно до стандартів і правил, зазначених у технічному описі та інструкції з експлуатації. Консервація обладнання повинна забезпечувати його тривале зберігання за умовами категорії «Ж» відповідно до чинного стандарту.

Порівняно з іншими типами сушарок, застосування даної установки для обробки сільськогосподарських культур має забезпечити:

підвищення продуктивності праці в 1,5 раза;

зниження трудових витрат на обробку однієї тонни продукції на 85 %.

2.3 Кінематичний розрахунок приводу механізму сушильної камери

Одним із напрямків зниження затрат при отриманні насіння трав в процесі їх вирощування та обробітку є зменшення витрат на післязбиральний обробіток. Однією з важливих операцій в післязбиральному обробітку є сушіння вороху насіння трав. Сушіння вороху насіння трав може бути здійснене як у господарствах так і на насінневих станціях. Ця операція технологічного процесу є дуже енерговитратою. Ці і інші причини призводять до зниження об'ємів виробництва, зменшення площ посівів трав, втрат якісних показників продукції.

Зниження енергозатрат на післязбиральний обробіток вороху насіння трав можна досягти шляхом впровадження нових енергозберігаючих режимів сушіння, що реалізуються на нових засобах сушіння.

Задля правильного дотримання режимів сушіння необхідно встановити

кінематичні параметри сушарки сільськогосподарських матеріалів.

Час перебування матеріалу, що піддається сушінню, напряму залежить від швидкості обертання сушильної камери. Конструктивно, днище сушильної камери приводиться в рух фрикційною передачею, що являє собою сукупність прорезинених роликів. Ролики контактують із металевою поверхнею днища сушильної камери. Серед сукупності роликів лише два є приводними. Решта - підтримують сушильну камеру. Схема приводу сушильної камери показана на рис. 2.2.

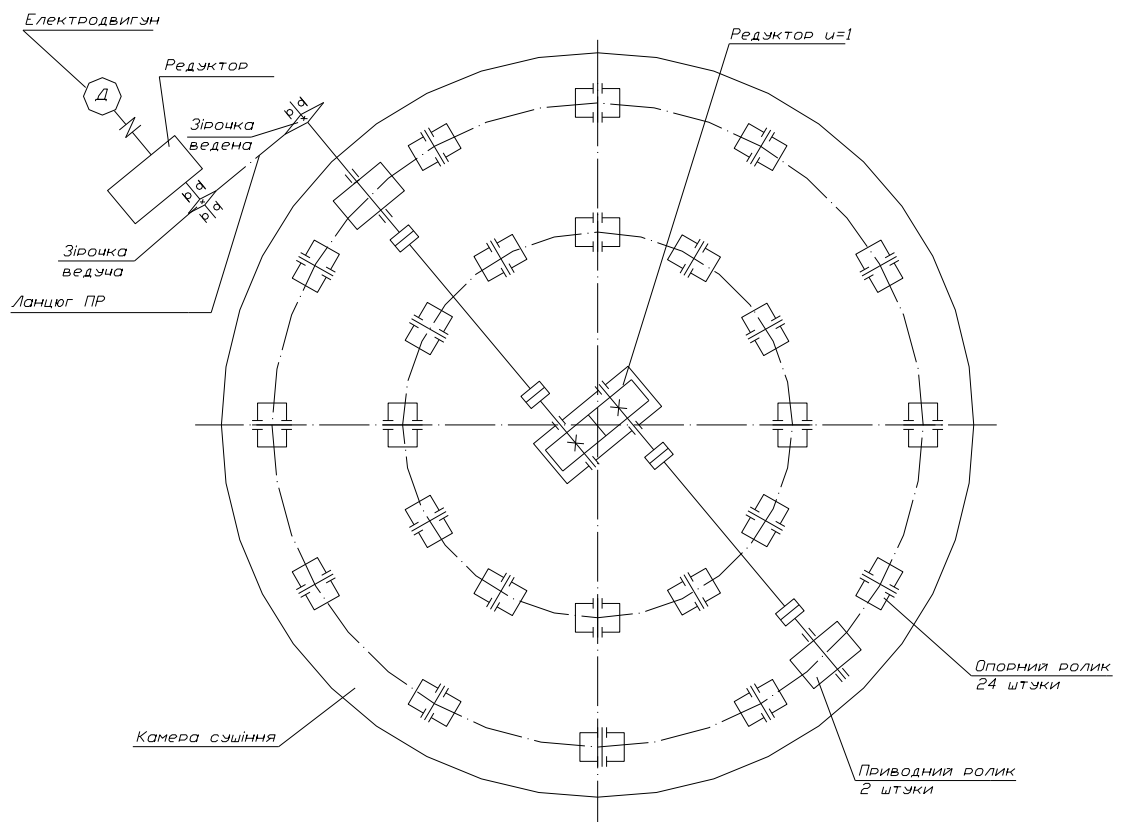


Рисунок 2.2 – Схема приводу сушильної камери карусельної сушарки

Зміна частоти обертання сушильної камери регулюється набором змінних зірочок ланцюгової передачі. Величина передаточного відношення згаданих зірочок залежить від режимних параметрів процесу сушіння, стану матеріалу, що піддається сушінню та ряду інших параметрів.

Розрахунок приводу механізму обертання сушильної камери проведемо для випадку мінімальної швидкості обертання камери. Приймаємо $n_{ск} = 1 \frac{об}{хв}$.

Вихідними даними для проектування приводу конвеєрів сушильної камери сушарки є:

- радіус сушильної камери 3,5 м;
- частота обертання сушильної камери $n_{ck} = 1 \text{ об/хв}$;
- щільність вороху насіння трав 1100 кг/м^3 ;
- продуктивність сушарки 1,2 т/год.

Лінійна швидкість днища сушильної камери в точці контакту із прорезиненим роликом визначається як:

$$V = \omega_{ck} \cdot r_p = \frac{\pi \cdot n_{ck}}{30} \cdot r_p, \quad (2.6)$$

де ω_{ck} - кутова швидкість сушильної камери;

r_p - відстань від центру обертання сушильної камери до лінії контакту фрикційної пари.

Приймаємо:

$$r_p = 2,5 \text{ м.}$$

Тоді:

$$V = \frac{3,14 \cdot 1}{30} \cdot 2,5 = 0,26 \text{ м/с.}$$

В якості приводного ролика приймаємо прорезинений ролик діаметром 300 мм. Тому кутова швидкість приводного ролика буде рівна:

$$\omega_p = \frac{V}{r_{рол}}, \quad (2.7)$$

звідки

$$\omega_p = \frac{0,26}{0,30} = 0,87 \text{ с}^{-1}.$$

Редуктор в центрі сушильної камери призначений для зміни напрямку обертання кожного із приводних роликів і має передатне відношення $u=1$.

Для ланцюгової передачі приймаємо передатне відношення $u=6$.

Тоді кутова швидкість обертання тихохідного валу редуктора даного механізму приводу складе:

$$\omega_{ред} = u_{ланцюга} \cdot \omega_p = 6 \cdot 0,87 = 5,22 \text{ с}^{-1}. \quad (2.8)$$

Або це дорівнює 50 об/хв.

Тому, в якості двигуна можна вибрати електродвигун асинхронний серії 4А із частотою обертання 750 об/хв. Тоді передатне відношення редуктора даного механізму складе:

$$u_{ред} = \frac{n_{ед}}{n_p}, \quad (2.9)$$

де $n_{ед}$ - частота обертання електродвигуна;

n_p - частота обертання тихохідного валу редуктора.

Тоді

$$u_{ред} = \frac{750}{50} = 15.$$

Приймаємо в якості редуктора двоступінчатий редуктор 7 РЧН-180-1-2 за ГОСТ 16162-78.

3 ПРОЕКТНО–РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок параметрів процесу сушіння вороху насіння трав

Схема для проведення розрахунку параметрів процесу сушіння зображена на рис. 3.1.

Кількість вологи, що випаровується у камері сушіння визначається за формулою

$$W^k = \frac{w_0 - w}{100 - w} \cdot G_1, \text{ кг/год.} \quad (3.1)$$

де $w_0 = 25...30\%$ - початкова вологість вороху насіння трав;

$w = 12...14\%$ - кінцева вологість вороху насіння трав;

$G_1 = 1200$ – продуктивність сушарки по сирій масі, кг/год.

Тоді

$$W^k = \frac{30 - 14}{100 - 14} \cdot 1200 = 233,3 \text{ кг/год.}$$

Маса сировини, що виходить з камери сушіння:

$$G = G_1 - W^k \text{ кг/год.} \quad (3.2)$$

де G_1 - продуктивність сушарки, т/год;

W^k – кількість вологи, що випарувалась, т/год.

Тоді

$$G = 1200 - 233,3 = 966,7 \text{ кг/год.}$$

Втрати тепла на нагрів вороху насіння трав в камері сушіння:

$$q_{np} = \frac{G}{W^k} (Q_1 - Q_0) \cdot C_3, \text{ кДж/кг} \quad (3.3)$$

де G - маса сировини, що виходить з камери сушіння, кг/год;

W^k - кількість випаровуваної води, кг/год;

Q_1, Q_0 – температура вороху насіння трав відповідно при виході і вході в сушильну камеру, °C;

C_3 – теплоємність вороху насіння трав при вологості 14,5%, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$.

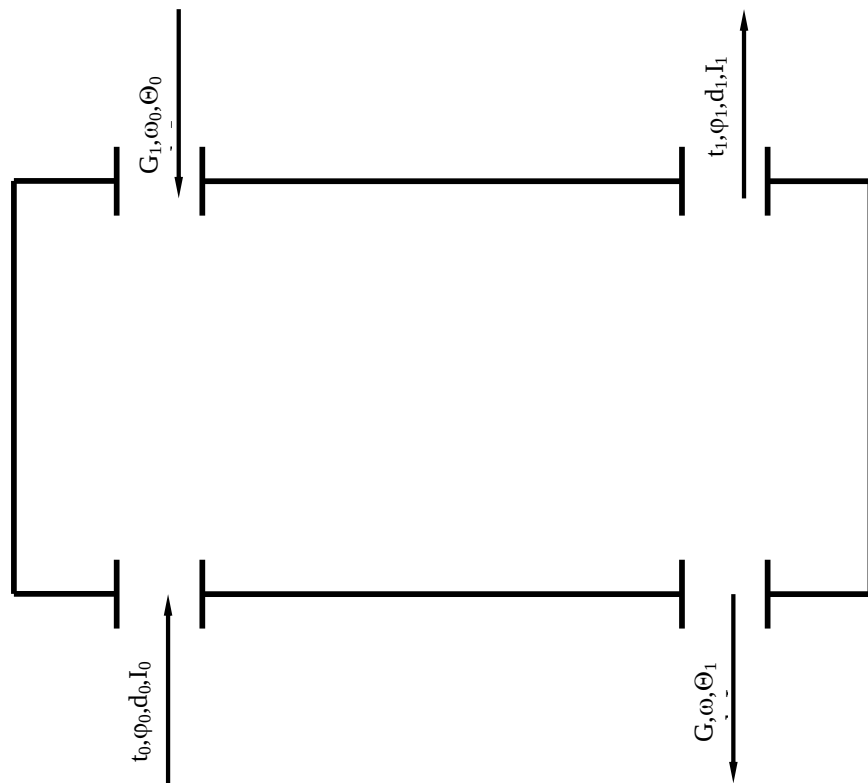


Рисунок 3.1 – Схема розрахунку параметрів процесу сушіння

Вона визначається за формулою:

$$C_3 = \frac{100 - w}{100} \cdot C_{cp} + \frac{w}{100} C, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}} \quad (3.4)$$

де w - вологість вороху при виході з камери сушіння, %;

C_{cp} - теплоємність сухої речовини насіння трав, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$

$$\text{Згідно [41]} \quad C_{cp} = 1,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}} ;$$

C – теплоємність води, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$.

$$\text{Згідно з [41]} \quad C = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}} .$$

Тоді

$$C_3 = \frac{100 - 14,5}{100} \cdot 1,5 + \frac{14,5}{100} 4,19 = 1,89 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$$

Підставляючи значення $C_3 = 1,89 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$ у формулу (3.3), отримаємо:

$$q_{np} = \frac{966,7}{233,3} (45 - 20) \cdot 1,89 = 195,8 \text{ кДж/кг.}$$

Питомі втрати тепла в навколишнє середовище через стінки камери сушіння визначимо за формулою:

$$q_{n.cp} = \frac{F \cdot k_0}{W^k} (t_p - t_s) , \text{ кДж/кг} \quad (3.5)$$

де F - сумарна поверхня стінок камери сушіння і повітропроводів, які віддають тепло в навколишнє середовище, м^2 ;

t_s - температура навколишнього середовища, $^\circ \text{C}$;

k_0 – узагальнений коефіцієнт теплопередачі, він визначається за формулою:

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}. \quad (3.6)$$

де δ – загальна товщина стінки камери сушіння, мм;

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від агента сушіння до внутрішньої поверхні стінки камери сушіння, Вт/м² · °С ;

λ – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стінки камери сушіння в навколишнє середовище, Вт/м² · °С. Згідно [41] $\lambda = 51,18$ Вт/м² · °С;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стінки камери сушіння у навколишнє середовище, Вт/м² · °С ;

При швидкості повітряного потоку ≤ 5 м/с коефіцієнти α_1 та α_2 визначаються за формулами

$$\alpha_1 = C' + D' \cdot v_1, \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}. \quad (3.7)$$

$$\alpha_2 = C' + D' \cdot v_2, \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}. \quad (3.8)$$

де C' і D' - коефіцієнти, які залежать від стану поверхні стінок камери сушіння. Згідно [41] $C' = 5,81$; $D' = 3,95$;

v_1 та v_2 – швидкість повітряного потоку відповідно біля поверхні внутрішньої та зовнішньої стінок, м/с.

Підставляючи значення отримаємо:

$$\alpha_1 = 5,81 + 3,95 \cdot 0,3 = 7 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}.$$

$$\alpha_2 = 5,81 + 3,95 \cdot 0,1 = 6,21 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}.$$

Загальна розрахункова температура (середня агента сушіння і насіння трав) t_{cp} ,

°C, визначається за формулою

$$t_{cp} = \frac{t_{a.cp} + Q_{k.cp}}{2}, ^\circ\text{C} \quad (3.9)$$

де $t_{a.cp}$ - середня температура агента сушіння, °C; визначаємо за формулою

$$t_{a.cp} = \frac{t_0 + t_1}{2}, ^\circ\text{C} \quad (3.10)$$

де t_0, t_1 - температура агента сушіння відповідно при вході і виході з камери сушіння, °C.

Тоді

$$t_{a.cp} = \frac{45 + 25}{2} = 35 ^\circ\text{C}.$$

де $Q_{k.cp}$ – середня температура вороху насіння трав, °C; визначається за формулою:

$$Q_{k.cp} = \frac{Q_0 + Q_1}{2}, ^\circ\text{C}. \quad (3.11)$$

де Q_0, Q_1 - температура вороху відповідно при вході і виході з камери сушіння, °C.

$$Q_{k.cp} = \frac{20 + 45}{2} = 32,5 ^\circ\text{C}.$$

Підставляючи отримані значення у формулу (3.9) отримаємо:

$$t_{cp} = \frac{35 + 32,5}{2} = 33,75 ^\circ\text{C}.$$

Підставляючи отримані значення в формулу (3.6) отримаємо:

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{3}{51,18} + \frac{1}{6,21}} = 2,75 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}.$$

Приймаємо, що сумарна поверхня стінок камери сушіння F буде рівна площі поверхні циліндра (форма сушильної камери), де висота рівна $H=2,5$ м, а радіус сушильної камери рівний $R=4,0$ м:

$$F = H \cdot 2\pi R, \text{ м}^2,$$

$$F = 2,5 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 4,0 = 62,8, \text{ м}^2,$$

І остаточно, підставляючи отримані значення у формулу (3.5) отримаємо:

$$q_{n.cp} = \frac{62,8 \cdot 2,75}{233,3} (33,75 - 20) = 10,2 \text{ кДж/кг.}$$

Різниця між поданим теплом і втраченим визначається за формулою:

$$\Delta = C \cdot Q_0 - (q_{np} + q_{n.cp}), \text{ кДж/кг.} \quad (3.12)$$

де C - теплоємність води, кДж/кг $^\circ\text{С}$;

Q_0 – температура вороху насіння трав при вході в камеру сушіння, $^\circ\text{С}$;

q_{np} – втрати тепла на нагрів вороху насіння трав, кДж/кг. ;

$q_{n.cp}$ – втрати тепла в навколишнє середовище, кДж/кг.

$$\Delta = 4,19 \cdot 20 - (195,8 + 10,2) = 122,2 \text{ кДж/кг.}$$

3.2 Обґрунтування величини потужності, що споживається приводом сушильної камери

При розрахунку потужності приводу сушарки слід взяти до уваги, що максимальне зусилля, яке потрібно подолати приводу, виникатиме в процесі повного заповнення сушильної камери.

Підбір фрикційної передачі проводимо за умови величини коефіцієнту запасу щеплення в межах 1,25...1,5 [39].

Коефіцієнт запасу щеплення визначається як

$$K = \frac{f \cdot Q}{P}, \quad (3.13)$$

де f - коефіцієнт тертя фрикційної пари ($f = 0,20 \dots 0,25$);

Q - сила, що діє по загальній нормалі до поверхні контакту фрикційної передачі;

P - колова сила.

Зусилля Q залежатиме від маси матеріалу, що піддається сушінню.

Маса матеріалу може бути встановлена виходячи із об'ємної маси матеріалу, що піддається сушінню, і об'єму сушильної камери. Об'єм сушильної камери, що являє собою циліндр, може бути визначена як

$$V'_{ск} = \pi R^2 \cdot H, \quad (3.14)$$

де R - радіус сушильної камери;

H - висота шару матеріалу.

Маса матеріалу в камері становить:

$$m = V'_{ск} \cdot q_{нт} = \pi R^2 \cdot H \cdot q_{нт}, \quad (3.15)$$

де $q_{нт}$ - щільність вороху насіння трав.

Тоді

$$m = 3,14 \cdot 3,5^2 \cdot 1,0 \cdot 1100 = 42333,0 \text{ кг.}$$

Так як загальна кількість роликів, що сприймає зусилля і приводить в рух платформу сушильної камери рівне 2 шт., то зусилля Q можна визначити як:

$$Q = \frac{mg}{2}. \quad (3.16)$$

Підставляючи значення, отримаємо

$$Q = \frac{42333 \cdot 9.8}{2} = 207,4 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Із умови виконання запасу коефіцієнту щеплення визначаємо колову силу P . Приймаємо $K = 1,5$.

Матимемо

$$P = \frac{f \cdot Q}{K}. \quad (3.17)$$

Тоді

$$P = \frac{0,20 \cdot 207,4 \cdot 10^3}{1,5} = 27,7 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Загальна потужність привода складе

$$N = \frac{2 \cdot P \cdot V}{\eta}, \quad (3.18)$$

де η - загальний коефіцієнт корисної дії привода, що враховує підшипники, 2 редуктори, ланцюгову передачу і з'єднувальну муфту. Тому, виходячи із кінематичної схеми привода загальний ККД складе:

$$\eta = \eta_{ред}^2 \cdot \eta_{ланц} \cdot \eta_{муфт}^3 \cdot \eta_{підш}^4 . \quad (3.19)$$

Підставляючи значення ККД елементів механізму отримаємо загальне значення ККД привода

$$\eta = 0,90^2 \cdot 0,95 \cdot 0,97^3 \cdot 0,99^4 = 0,67 .$$

Тоді

$$N = \frac{2 \cdot 27,7 \cdot 10^3 \cdot 0,26}{0,67} = 21,5 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

Остаточню вибираємо електродвигун 4A200L8Y3 потужністю 22 кВт та частотою обертання $n=750$ об/хв.

3.3 Розрахунок ланцюгових передач приводу сушильної камери

У роботі передбачена розробка приводу сушильної камери. Це є складна конструкція, що кріпиться в підшипникових опорах. Обертовий момент на вали фрикційних приводних роликів передається ланцюговою передачею із передатним відношенням $u=6$.

Кріплення валів та зірочок здійснюється за допомогою шпонкового з'єднання.

Виходячи із проведених раніше кінематичних та силових розрахунків обертовий моменти на валу привідної зірочки складе

$$T = \frac{N}{\omega_{ред}} \text{ Нм}, \quad (3.20)$$

де ω - кутова швидкість обертання вала із зірочкою, с^{-1} .

Отже,

$$T = \frac{22000}{5,22} = 4214,5 \text{ Нм}.$$

Тому на основі проектного розрахунку [34] визначається діаметри валів під підшипникові опори

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi [\tau]}}, \quad (3.21)$$

де $[\tau]$ - допустима напруга, МПа. Для валів даного механізму виготовлених з конструкційних легованих сталей $[\tau] \leq 25 \div 30 \text{ МПа}$;

T - обертовий момент, Нм.

Тоді

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 4214,5}{3,14 \cdot 30 \cdot 10^6}} = 0,050 \text{ м} = 50 \text{ мм},$$

Згідно ГОСТ 6636-69 вибираємо зі стандартного ряду значення для валу $d = 50 \text{ мм}$.

Для вибору ланцюгової передачі використовується стандартна методика розрахунку.

Результатом є:

Число зубів ведучої зірочки – 17;

Число зубів ведучої зірочки – 17;
число зубів веденої зірочки – 100;
крок ланцюга – 2х12,7 мм;
міжосьова відстань – 600 мм;

3.4 Обґрунтування до побудови схеми машини

Сушарка вороху насіння трав може працювати самостійно, а також входить в комплект обладнання пункту по сушінню та зберіганню насінневої продукції та іншої сільськогосподарської продукції. Схема розміщення технологічного обладнання та пункт сушіння і переробки показана на рис. 3.2.

В склад пункту входять цех для сушіння вороху насіння трав, цех очистки вороху, цех зберігання насіння, трансформаторна підстанція, пожежна водойма, пункт управління.

Цехи є площадками під навісом.

В цеху для сушіння встановлена сушарка вороху насіння трав 7. Вона встановлена на бетонному фундаменті. Ворох, що підвозиться транспортними засобами, вивантажується у приймальний бункер 2. До сушильної камери підводяться за допомогою системи транспортерів 3, елеватора 5, а відводиться із сушильної камери за допомогою системи транспортерів 10. Перш ніж піддавати ворох насіння трав сушінню відбувається його первинна очистка в системі 4 (К-522). Через повітророзподільну систему подається сушильний агент, в залежності від режимів сушіння. Сушильний агент формується за допомогою паливного блоку 8 і через вентилятор нагнітається в сушильну камери. Атмосферне повітря формується шляхом вимикання пальника. В якості способу формування сушильного агенту використовується паливний блок, що працює на запалюванні нафтопродуктів. Висушений ворох від сушарки до пункту вторинної очистки 9 (ОВП-20) подається системою транспортерів 10.

Очищене насіння зберігається у складському приміщенні 11.

Для керування технологічним обладнанням в приміщенні пункту є пульт керування 12.

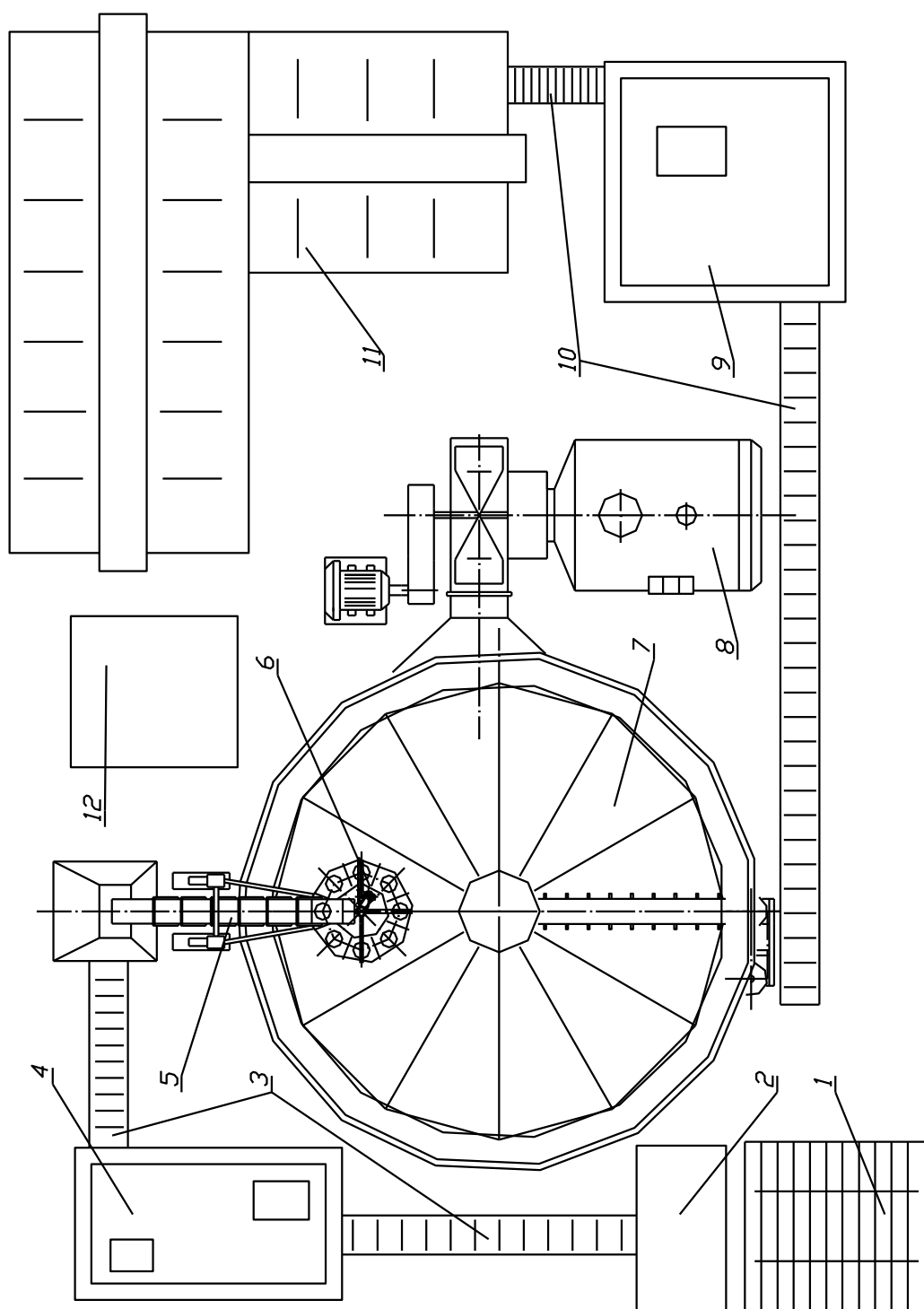


Рисунок 3.2 – Схема розміщення технологічного обладнання пункту сушіння вороху насіння

Обґрунтування функціональної схеми. Функціональна схема служить для пояснення процесів, що проходять у сушарці, на ній подається схема руху атмосферного повітря та сушильного агента при їх проходженні через сушарку, показано процеси завантаження та вивантаження матеріалу, що піддається сушінню. Крім того, на функціональній схемі показується взаємне розміщення елементів конструкції сушарки.

Функціональна схема сушарки сипких сільськогосподарських матеріалів насіння трав показана на листі №1 графічної частини роботи. Сушарка сипких сільськогосподарських матеріалів дозволяє сушити очищене та неочищене насіння трав та іншої продукції від початкової вологості $25\div 30\%$ до вологості $12\div 14\%$. Розглянемо технологічний процес роботи сушарки при сушінні насіння трав.

На початку роботи сушарки вмикається топка та вентилятор. Після розігріву обладнання розпочинає роботу завантажувальний елеватор, який безперервно транспортує вологе насіння в бункер над камерою сушіння. З бункера насінневий матеріал надходить у розподільник насіння, що забезпечує його рівномірний розподіл у камері сушіння. Розподільник насіння працює наступним чином. Матеріал, який надходить з бункера, внаслідок обертання лопатей, заповнює простір над отворами у днищі розподільника, що сполучають його з насіннєпроводами. Попадання насіння з розподільника в насіннєпроводи регулюється обертанням хрестовини, що періодично перекриває отвори. Насіннєпроводи розміщені таким чином, що підводять матеріал до певної зони за радіусом камери сушіння.

У камері сушіння до матеріалу через перфороване днище підводиться сушильний агент, який проходячи шар матеріалу за принципом протитечії підсушує його та викидається назовні. Приготування сушильного агента з атмосферного повітря відбувається у топці, що працює на рідкому паливі. З топки сушильний агент через повітропровід, в якому передбачена регульовальна заслінка, підводиться через дифузор у простір під камерою сушіння.

Вивантаження нижніх шарів матеріалу, що досягли кондиційної вологості, відбувається при обертанні камери сушіння внаслідок роботи вивантажувального механізму. Вивантажувальний механізм є ланцюговою передачею, до якої прикріплені пластинки. Після вивантажувального механізму насіння опиняється на транспортері стрічковому, який його транспортує на зберігання або для завантаження у транспортний засіб.

Регулювання витрати сушильного агента здійснюється повітряною заслінкою. Температура сушильного агента та атмосферного повітря на вході у повітророзподільну систему контролюється температурними датчиками.

Обґрунтування кінематичної схеми. Сушарка насіння трав являє собою складну конструкцію. Усі робочі механізми сушарки мають автономні електричні приводи. Розглянемо детально кінематичну схему робочих механізмів сушарки.

Камера сушіння сушарки розміщена на 24 опорних роликах діаметром $D=300$ мм. Привод камери сушіння здійснюється за наступною схемою: від електродвигуна 4A200L8Y3 потужністю $N = 22$ кВт та частотою обертання $n=750$ об./хв. через пружну втулково-пальцеву муфту та редуктор 7 РЧН-180-1-2 крутний момент передається на вал ведучої зірочки ланцюгової передачі з характеристикою $Z1=17$, $Z2=100$, ланцюг 2ПР 12.7 - 31.8 ГОСТ 13568-75. Далі крутний момент від ланцюгової передачі передається на два приводні ролики діаметром $D=300$ мм. Передача крутного моменту між приводними роликами відбувається через запобіжні муфти штифтового типу та редуктор НО 99-10-10-01.

Привод відцентрового вентилятора для підведення сушильного агента в камеру сушіння здійснюється від електродвигуна А02-71-4 потужністю $N = 22$ кВт та частотою обертання $n=1000$ об./хв. через пасову передачу (Б-1000Т) з передатним числом $u = 1,56$.

Для завантаження сушарки та бункера використовується елеватор. Привод елеватора включає електродвигун 4A112M4Y3 потужністю $N = 2,2$ кВт та частотою обертання $n = 1800$ об./хв. Від двигуна крутний момент через

пасову передачу (пас Б-950Т) з передатним числом $u = 1,6$ передається на вал ведучої зірочки ланцюгової передачі з такими характеристиками: $Z_1=13$, $Z_2=38$, ланцюг ПР-38.1-5600.

Для рівномірного завантаження насіння трав в камеру сушіння використовують розподільник насіння. Обертання хрестовини та лопатей розподільника здійснюється через привод, що включає мотор-редуктор МЦ 20-63-90 ЦУЗ потужністю $N = 4$ кВт з частотою обертання $n = 1440$ об./хв. та ланцюгову передачу з характеристиками: $Z_1=25$, $Z_2=32$, ланцюг ПР-38.1-800.

Для вивантаження насіння трав з камери сушіння передбачено вивантажувальний механізм, що являє собою ланцюгову передачу з прикріпленими пластинками до ланцюга. Привод вивантажувального механізму здійснюється від електродвигуна 4А71В2У3 потужністю $N = 1,1$ кВт та частотою обертання $n = 1500$ об./хв. Від двигуна крутний момент через пружну втулково-пальцеву муфту передається на швидкохідний вал двохступінчастого циліндричного редуктора Ц2У-160-22,4-32 КУ2. Від тихохідного вала редуктора крутний момент передається на ланцюгову передачу вивантажувального механізму, що має такі характеристики: $Z_1=38$, $Z_2=38$, ланцюг втулочно-роликовий ЦВР-1-31,75-8500.

З вивантажувального механізму матеріал подається на транспортер стрічковий. Кінематична схема приводу транспортера передбачає електродвигун А02-42-4 потужністю 2,8 кВт з частотою обертання 1420 об./хв., пружну втулково-пальцеву муфту, двохступінчастий редуктор Ц2У-125-16-12 КУ2, запобіжну муфту штифтового типу та ланцюгову передачу з характеристиками $Z_1=13$, $Z_2=38$ (ланцюг ПР-38,1-3800), що передає крутний момент на приводний вал транспортера.

Обґрунтування принципової схеми. Принципова схема необхідна для вивчення принципу роботи машини, налагодження її, проведення ремонту і контролю за роботою сушарки. Вона є основою для розробки конструкторських документів, збірних вузлів і деталей. Машина, що проектується, це сушарка для сушіння сільськогосподарських матеріалів, яка також може використовуватися

для доведення до кондиційної вологості насіння трав, зернових та бобових культур. Дана сушарка є складним механізмом, який складається з кількох окремих вузлів, що взаємодіють між собою. Принципова схема сушарки зображена на листі №3 графічної частини роботи.

Основою сушарки є камери сушіння 1 карусельного типу. Діаметр камери сушіння 8000 мм. Камера сушіння 1 розміщена на рамі та утворена зовнішньою і внутрішньою огорожею, а також перфорованим днищем. Камера сушіння 1 виконана з можливістю обертання на нерухомій основі. Над камерою сушіння 1 встановлений на рамі бункер 2 об'ємом 5 м³, до якого у нижній частині приєднано розподільник насіння 3. Розподільник насіння 3 має циліндричний корпус з днищем. У днищі передбачені отвори для проходження насіннєвого матеріалу в насіннєпроводи 4. Над отворами розподільника розміщено хрестовину з вертикальними лопатями. Завантаження насіння в бункер відбувається з допомогою елеватора 5 ланцюгово-планчастого типу.

Під камерою сушіння 1 розміщено повітророзподільну систему 6, яка включає підкамерний простір, дифузор 7 та повітропровід 8. Повітропровід 8 з'єднує дифузор 7 з вентилятором 9 камери сушіння 1. У повітропроводі 8 передбачено заслінку для регулювання витрати сушильного агента. Сушильний агент отримується при проходженні атмосферним повітрям через топку 10, що працює на рідкому паливі.

Вивантаження насіння трав з камери сушіння 1 відбувається за допомогою вивантажувального механізму 11, що являє собою ланцюг з прикріпленими до нього пластинками. Для транспортування насіння від вивантажувального механізму 11 до місця зберігання або завантаження на транспортний засіб використовується транспортер стрічковий 12.

Габаритні розміри сушарки насіння трав: висота 6375 мм, ширина 12395 мм, довжина 11225 мм.

Контроль за ходом технологічного процесу сушіння здійснюють оператор з пульта керування та два робітники.

Розміщення та конструкція вузлів і механізмів забезпечує зручний доступ до них, безпеку при монтажі, експлуатації і ремонті. Рухомі та обертаючі частини сушарки захищені кожухами, огороженнями і не створюють небезпеки для обслуговуючого персоналу. Огороження небезпечних зон, які підлягають огляду протягом зміни, легко відкриваються або знімаються.

Ворох насіння трав з поля привозять на пункт в тракторних причепах або автомобілях. Для завантаження сушарки причіп чи автомобіль встановлюють на естакаді 1, яка обладнана відбійним брусом і заглибленнями для задніх коліс. Відбійний брус фіксує колеса по центру завантажувального пристрою, а заглиблення запобігають самовільне відкочування причепа з естакади.

В період збирання насіння трав пункт може працювати цілодобово. Можна сушити ворох в першу зміну, а очистку і транспортування зимовнику - в другу.

Майстер по сушінню організовує і відповідає за роботу пункту в цілому, слідкує за сушінням вороху і відповідає за його якість. Регулює роботу нагрівача повітря блоку, керує заслінками повітропроводів. Спостерігає і керує завантаженням і вивантаженням матеріалу, обслуговуванням паливного блоку, механізмів сушарки, та іншого обладнання.

Для обслуговування призначається додатковий робітник, ознайомлений з будовою, регулюванням і обслуговуванням сушарки. На нього покладається відповідальність за завантаження та вивантаження сировини. Розміщуються працівники в пункті управління 12. Працюють на пункті два оператора: майстер по сушінню і його помічник.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Розробка заходів з охорони праці роботі сушарок

Робота із сушарками сипких сільськогосподарських матеріалів належить до категорії виробничих процесів із підвищеним рівнем небезпеки через наявність обертових механізмів, високих температур, електроприводів, пилу та можливості займання. Тому розробка ефективних заходів з охорони праці при роботі сушарок є обов'язковою складовою експлуатації обладнання та базується на нормативних документах України, серед яких Закон України «Про охорону праці», державні санітарні норми та правила ДСанПіН 3.3.2-07, ДСТУ 17142:2019 «Сільськогосподарські машини. Безпека», правила експлуатації електроустановок споживачів (ПУЕ), а також державні норми і правила пожежної безпеки. Виконання цих вимог дозволяє забезпечити безпечні умови праці персоналу, зберегти працездатність обладнання та попередити аварійні ситуації.

Конструктивні характеристики сушарки повинні бути розроблені з урахуванням мінімізації ризику травмування обслуговуючого персоналу. Зокрема, усі рухомі деталі, що обертаються під час роботи, мають бути захищені кожухами або огорожені спеціальними конструкціями, що виключають доступ до небезпечних зон. При цьому частини сушарки, які підлягають періодичному огляду і обслуговуванню, повинні мати огороження, які легко відкриваються або знімаються без використання додаткових інструментів, забезпечуючи безпечний доступ для проведення робіт. Вузли та деталі масою понад 20 кг мають бути оснащені пристроями для зачеплення під час підйому, а точки кріплення слід чітко позначати фарбою, що контрастує із загальним кольором конструкції. Це дозволяє не тільки безпечно виконувати монтаж та обслуговування, а й запобігати механічним пошкодженням і травмам.

З точки зору електробезпеки, сушарка повинна бути обладнана надійними системами заземлення всіх металевих частин, які потенційно можуть опинитися під напругою. Крім того, електричні схеми керування обладнанням мають передбачати

захист від перевантажень і коротких замикань, а також сигналізацію аварійних режимів роботи електродвигунів. Сигналізація повинна бути як світловою, так і звуковою, і забезпечувати автоматичне блокування роботи у разі перевищення допустимих параметрів. Дистанційне керування електроприводами дозволяє зменшити час перебування персоналу у небезпечній зоні і, як наслідок, підвищує загальний рівень безпеки виробництва.

Організаційні заходи охорони праці передбачають підготовку та навчання персоналу. Обслуговування сушарки має здійснюватися лише кваліфікованим персоналом, який пройшов спеціальне навчання з будови обладнання, правил його експлуатації та дій у разі аварійних ситуацій. Працівники повинні знати правила техніки безпеки, порядок дій під час виникнення несправностей, а також способи захисту від можливих ризиків. Крім того, ведеться систематичний контроль за виконанням правил безпечної експлуатації, що включає щорічні та позапланові інструктажі, перевірку знань працівників та оформлення журналів обліку інструктажів.

Особливу увагу під час роботи зі сушарками приділяють пожежній безпеці. Приміщення, де зберігаються і експлуатуються сушарки, мають відповідати категорії пожежної небезпеки «Ж», а в зоні роботи обладнання необхідно забезпечити наявність вогнегасників, автоматичних сигналізаторів та систем гасіння. Температурні режими сушіння повинні суворо контролюватися, адже перевищення допустимої температури може призвести до самозігрівання матеріалу і виникнення пожежної небезпеки. Для зменшення ризику займання також проводиться систематичне очищення приміщень від пилу і залишків сипких матеріалів.

Ергономічні та санітарно-гігієнічні аспекти роботи сушарок включають забезпечення зручного доступу до органів управління, відповідність антропометричним даним працівників, достатню освітленість і вентиляцію робочої зони. Рівень шуму та вібрації у зоні постійного перебування персоналу не повинен перевищувати допустимі значення, встановлені ГОСТ 12.1.003-83. Для зменшення впливу пилу та забруднень на органи дихання рекомендується застосування засобів індивідуального захисту, таких як рукавички, респіратори, захисний одяг та окуляри.

Управління експлуатаційними процесами сушарки здійснюється із урахуванням

контролю температури, вологості матеріалу, швидкості повітряного потоку та стану електродвигунів. Всі ці показники підлягають регулярному контролю та запису у відповідних журналах. Для забезпечення безпеки та своєчасного виявлення відхилень від нормального режиму роботи обладнання обладнані дистанційними термометрами та сигналізаційними пристроями.

При транспортуванні та зберіганні сушарки повинні дотримуватися заходів, що запобігають її пошкодженню. Завантаження і розвантаження вузлів має виконуватися відповідно до затверджених схем і стандартів, із забезпеченням збереження фарбового покриття, уникненням механічних пошкоджень і забруднень. Консервація обладнання має відповідати умовам зберігання категорії «Ж», що дозволяє зберігати сушарку у працездатному стані протягом тривалого часу.

Використання сушарок порівняно з іншими типами аналогічного обладнання забезпечує підвищення продуктивності праці та зниження трудових витрат на обробку сільськогосподарських культур. Завдяки вдосконаленій конструкції обладнання продуктивність праці підвищується в 1,5 рази, а затрати праці на обробку однієї тонни продукції зменшуються на 85 %.

Таким чином, розробка заходів з охорони праці при роботі сушарок сипких сільськогосподарських матеріалів включає комплекс організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та ергономічних рішень, що дозволяють зберегти безпеку персоналу, підвищити ефективність експлуатації обладнання та запобігти аварійним і надзвичайним ситуаціям. Впровадження таких заходів обов'язкове для забезпечення стабільної роботи сушарок, збереження якості сільськогосподарської продукції та мінімізації ризиків для здоров'я та життя персоналу.

4.2 Надзвичайні ситуації , що виникають при роботі сушарок та способи їх уникнення

Робота сушарок сипких сільськогосподарських матеріалів пов'язана з низкою потенційно небезпечних ситуацій, які можуть призвести до травм,

псування продукції або пожеж. До основних надзвичайних ситуацій, що виникають при експлуатації сушарок, належать: перегрів матеріалу, займання сипких продуктів, поломки механічних вузлів і електрообладнання, а також отруєння чи травмування персоналу через недотримання правил техніки безпеки.

Однією з найпоширеніших надзвичайних ситуацій є перегрів зерна або насіння. При тривалому впливі високих температур, особливо якщо вологість матеріалу перевищує допустимі норми, можливе самозігрівання та часткова або повна втрата схожості насіння. Для уникнення таких ситуацій сушарки обладнують дистанційними термометрами, які контролюють температуру теплоносія та матеріалу в сушильній камері. При підвищенні температури понад нормативні значення система сигналізації подає звуковий і світловий сигнал, а електропривод блокується до нормалізації режиму. Регулярний контроль стану насипу та рівномірності прогріву матеріалу дозволяє своєчасно виявляти зони перегріву і вживати заходів для їх охолодження або перемішування продукту.

Ще одним джерелом надзвичайних ситуацій є займання або пожежі. Пил, накопичений у камері сушіння, повітропроводах та приміщенні, у поєднанні з високою температурою або іскрами від електричних контактів, може легко призвести до загоряння. Для запобігання пожежам застосовують комплекс заходів: регулярне очищення сушарки та приміщення від пилу та залишків матеріалу, контроль за електричними схемами, своєчасне технічне обслуговування нагрівальних елементів, наявність вогнегасників та автоматичних систем пожежогасіння. Важливим є також дотримання правил пожежної безпеки під час консервації та зберігання сушарки.

До надзвичайних ситуацій відносяться механічні поломки вузлів і деталей сушарки, що можуть виникнути через перевантаження, дефекти матеріалу або неправильне обслуговування. Внаслідок цього можливе раптове зупинення обладнання або розкриття небезпечних зон, що створює ризик травмування персоналу. Щоб уникнути таких ситуацій, конструкція сушарки передбачає

надійні кожухи для рухомих частин, доступ до вузлів через огорожувальні елементи, використання сигналізації аварійного стану, а також проведення планового технічного обслуговування. Усі ремонтні та профілактичні роботи повинні виконуватися кваліфікованим персоналом із застосуванням засобів індивідуального захисту.

Серед потенційно небезпечних ситуацій також виділяють електротравми або коротке замикання, які можуть виникати через порушення ізоляції проводки, неправильне заземлення або несвоєчасний ремонт електрообладнання. Для запобігання цьому сушарки оснащують надійним заземленням усіх металевих частин, автоматичними вимикачами, пристроями захисту від перевантажень та коротких замикань. Дистанційне керування електроприводами зменшує ризик контакту персоналу з потенційно небезпечними електричними вузлами.

Не менш важливим є ризик травмування персоналу при обслуговуванні та транспортуванні сушарки. Тяжкі деталі, відкриті рухомі механізми та недостатньо освітлені робочі зони можуть призвести до забоїв, порізів або інших травм. Для запобігання цим ситуаціям конструкція сушарки передбачає використання спеціальних пристроїв для підйому важких вузлів, маркування точок зачеплення, легкодоступні органи управління та надійні огороження рухомих деталей. Ергономічні рішення, які враховують антропометричні показники персоналу, а також достатня освітленість і вентиляція, значно зменшують ймовірність травмування.

Ще одним важливим аспектом є порушення технологічного процесу через людський фактор, наприклад, некваліфіковане обслуговування, недотримання правил роботи або неправильно проведене завантаження та розвантаження матеріалу. Щоб уникнути цього, персонал проходить спеціальне навчання, дотримується правил експлуатації, веде журнали спостереження та контролю за станом сушарки. Кожна операція, включно з завантаженням, консервацією, обслуговуванням та очищенням, здійснюється у суворій відповідності до технічної документації та стандартів безпеки.

Усі заходи щодо попередження надзвичайних ситуацій можна поділити на технічні, організаційні та санітарно-гігієнічні. Технічні включають надійне огороження рухомих частин, дистанційне управління електроприводами, сигналізацію аварійних режимів і контроль температури та вологості матеріалу. Організаційні заходи передбачають навчання персоналу, контроль за дотриманням правил роботи та планові профілактичні огляди обладнання. Санітарно-гігієнічні заходи включають регулярне прибирання приміщень, вентиляцію робочих зон та використання засобів індивідуального захисту.

Впровадження цих комплексних заходів дозволяє значно знизити ризик надзвичайних ситуацій при експлуатації сушарок, зберегти працездатність обладнання, забезпечити безпеку персоналу та якість сільськогосподарської продукції. Дотримання встановлених стандартів і нормативів охорони праці є обов'язковою умовою для стабільного функціонування сушарок у будь-яких виробничих умовах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконаного аналізу встановлено, що якісне зберігання насіннєвого матеріалу визначається комплексом взаємопов'язаних факторів, ключовими з яких є вологість, температура, сортова чистота та санітарний стан зернової маси. Дотримання регламентованих умов зберігання, правильне розділення партій за культурами, сортами й репродукціями, а також систематичний контроль фізичного стану насіння дозволяють мінімізувати ризики самозігрівання, розвитку мікрофлори, ураження шкідниками та передчасної втрати схожості. Обґрунтовано, що підтримання безпечної вологості є вирішальним чинником довготривалого збереження життєздатності насіння, тоді як порушення температурно-вологісного режиму призводить до інтенсивних фізіологічних і біохімічних змін у зерні.

Дослідження умов формування технологічного процесу сушіння сипких сільськогосподарських матеріалів показало, що сушарка є центральною ланкою післязбиральної доробки, від роботи якої безпосередньо залежить якість підготовки насіння до зберігання. Визначено, що ефективність сушіння забезпечується рівномірною подачею матеріалу, стабільністю тепломасообмінних процесів і точним контролем температури сушильного агента. Запропоновані технічні та експлуатаційні параметри сушарки дають змогу доводити вологі насіннєві матеріали до кондиційних показників без зниження посівних властивостей, забезпечуючи при цьому достатню продуктивність і прийнятну енергоефективність.

Обґрунтування вимог до експлуатації сушарки з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов України підтвердило доцільність застосування стаціонарної універсальної установки, здатної працювати протягом усього сезону з різними культурами. Врахування фізико-механічних та аеродинамічних властивостей вороху насіння трав дозволяє обґрунтовано вибрати режими сушіння, параметри повітряних потоків і конструктивні рішення робочих органів. Таким чином, у розділі сформовано науково й технічно обґрунтовані передумови для

подальшого конструкторського та технологічного опрацювання сушарки, спрямованого на забезпечення високої якості насіннєвого матеріалу та надійності процесів його сушіння і зберігання.

У другому розділі виконано аналітичне та експериментально-орієнтоване обґрунтування процесів сушіння насіння як сипкого сільськогосподарського матеріалу. Встановлено, що аеродинамічні властивості насіння, зокрема критична швидкість витання, коефіцієнти опору та парусності, є визначальними параметрами для вибору режимів сушіння та організації повітряних потоків у сушильній камері. Показано, що через складну залежність цих коефіцієнтів від фізико-механічних характеристик насіння та параметрів повітряного середовища їх доцільно визначати експериментально, використовуючи аеродинамічну трубу, що забезпечує достатню точність технологічних розрахунків.

Обґрунтовано основні конструктивні та експлуатаційні параметри сушарки сипких матеріалів, які спрямовані на забезпечення рівномірності тепломасообмінних процесів, збереження посівних властивостей насіння та підвищення надійності роботи обладнання. Запропоновані вимоги до компоновки, систем керування, безпеки праці й технічного обслуговування відповідають чинним нормативним документам та створюють передумови для ефективної і безпечної експлуатації сушильної установки.

У ході кінематичного розрахунку приводу механізму сушильної камери визначено раціональні параметри обертання, які забезпечують необхідний час перебування матеріалу в зоні сушіння при мінімальних енергетичних витратах. Підібрано тип електродвигуна та редуктора, що відповідають заданим режимам роботи і забезпечують стабільність процесу сушіння. Отримані результати є основою для подальших силових та енергетичних розрахунків і підтверджують доцільність прийнятих конструктивних рішень.

У проєктно-рекомендаційному розділі виконано комплекс інженерних розрахунків і технічних обґрунтувань, спрямованих на забезпечення ефективного та енергоощадного процесу сушіння вороху насіння трав.

Визначено кількість вологи, що підлягає випаровуванню, масу матеріалу на виході із сушильної камери, питомі витрати тепла на нагрів насіння та втрати тепла в навколишнє середовище. Отримані результати дозволили обґрунтувати тепловий баланс сушильної камери та підтвердили доцільність прийнятих температурних і конструктивних параметрів, які забезпечують зниження вологості насіння з 25–30 % до кондиційних 12–14 % без погіршення його посівних властивостей.

На основі силових і кінематичних розрахунків визначено потужність приводу сушильної камери, підібрано електродвигун, редуктори та параметри ланцюгових передач, що гарантують надійну роботу обладнання за умов максимального завантаження. Обґрунтовано конструктивні, функціональні, кінематичні та принципові схеми сушарки, які забезпечують раціональну організацію технологічного процесу, зручність експлуатації, обслуговування і ремонту, а також відповідність вимогам безпеки праці. Запропоновані технічні рішення можуть бути рекомендовані для впровадження у складі пунктів сушіння та зберігання насіннєвої продукції в умовах сільськогосподарських підприємств.

У 4-му розділі розглянуто комплекс питань охорони праці та безпеки при експлуатації сушарок сипких сільськогосподарських матеріалів з урахуванням чинної нормативної бази України. Обґрунтовано технічні, організаційні, санітарно-гігієнічні та ергономічні заходи, спрямовані на зниження виробничих ризиків, запобігання травматизму, пожежам і аварійним ситуаціям. Проаналізовано основні види надзвичайних ситуацій, що можуть виникати під час роботи сушарок, та визначено ефективні способи їх попередження шляхом контролю технологічних режимів, застосування захисних і сигнальних систем, належної підготовки персоналу та регулярного технічного обслуговування обладнання. Реалізація запропонованих заходів забезпечує безпечні умови праці, підвищує надійність роботи сушарок і сприяє збереженню якості сільськогосподарської продукції.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andreikiv O.E., Babii A.V., Dolinska I.Ya., and Matviiv Yu.Ya. Determination of the Residual Life of the Spraying Boom of a Field Sprinkler in the Maneuvering Loading Mode. *Materials Science*. Vol. 56. No. 1, July, 2020. P. 112–118.
2. Andreikiv, O.Y., Dolinska, I.Y., Babii, A.V. et al. Residual life of the folded bimetal plate taking into account degradation of materials at high temperature and under long-term loading. *Mater Sci* 60, 650–656 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11003-025-00932-9>.
3. Andreykiv O., Babii A., Dolinska I.,Yadzhak N., Babii M. Residual lifetime prediction of field sprayer booms under the action of manoeuvre loading and corrosive environment. *Procedia Structural Integrity*. Volume 36, 2022, P. 36-42. (ISSN 24523216, DOI 10.1016/j.prostr.2021.12.080).
4. Andrii Babii, Taras Dovbush, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Anna Tson, Vasyl Oleksyuk, 2022. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity* No 36. 203-210.
5. Babii A. Important aspects of the experimental research methodology. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 97. No 1. P. 77–87.
6. Babii A. Study of the efficiency of working mixture application in chemical crop protection. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 98. No 2. P. 99–109.
7. Babii A., Babii M. Impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU. Tern. : TNTU*, 2019. Vol. 95, No 3, P. 97–104.
8. Babii A., Blashchak B. Justification of the parameters of the soil preparation module of the potato planting machine. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 12(43), ч.ІІ. С. 165-174.
9. Babii A., Holovetskyi I. Engineering method of studying the kinematic parameters of the working body of the potato harvesting machine. *Central Ukrainian*

Scientific Bulletin. Technical Sciences. 2024. Vol. 10(41)_I. P. 200-212. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.200-212](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.200-212).

10. Babii A., Holovetskyi I., Boiko V. (2024) Analysis of the behavior of potato bearing layer particles on the oscillating plane of the potato plant ploughshare. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 116, no 4, pp. 78–89. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.04.078.

11. Babii A., Levytskyi B. (2024) Research of stress-strain state of tank of small-size self-propelled sprayer. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 115, no 3, pp. 91–99. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.03.091.

12. Babii A., Levytskyi B., Dovbush T., Babii M., Khomuk N., Dovbush A., Valiashek V. Mathematical model of sprayer tank loading. Procedia Structural Integrity, 2024. No 59, 609-616. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.086>.

13. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 105, no 1, pp. 5–12. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.005.

14. Oleg Lyashuk, Andrii Diachun, Ihor Tkachenko, Mykola Stashkiv, Andrii Babii, Maria Pankiv, Zhanna Babiak, Alexander Marunych, Oleg Lakh, Artur Starikh. Investigation of the bulk material movement kinematics in conical screw conveyor. INMATEH - Agricultural Engineering. Vol. 74, 2024. No. 3. pp. 732-744.

15. Study of the performance efficiency parameters of a potato planting machine / Andrii Babii, Bohdan Blashchak // Scientific Journal of TNTU. Tern.: TNTU, 2025. Vol 118. No 2. P. 117–127.

16. Syrotyuk A.M., Babii A.V., Barna R.A., Leshchak R.L., Marushchak P.O. Corrosion-Fatigue Crack-Growth Resistance of Steel of the Frame of a Sprayer Boom. Materials Science, 2021, 56(4), P. 466–471.

17. Бабій А., Бабій М. Дослідження міцності елементів конструкції функціонально-транспортуючих мобільних засобів. Науковий журнал «Інженерія природокористування, 2019. №3 (13) С. 87–91.

18. Бабій А., Вовк І., Гладь Ю. Багатофункціональний ротаційний робочий орган. Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Рівне, 9-10 квітня 2025 року. Рівне: НУВГП, 2025. С.6-8.

19. Бабій А.В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою збільшення його продуктивності. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine, 2019. Vol. 10. No. 4. С. 51–55.

20. Бабій А.В. Дослідження впливу горизонтальних коливань штанги на рівномірність обприскування. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників, 16 червня 2020 р. Редкол. : Непочатенко О.О. (відп. ред.) та ін. Умань : ВПЦ «Візаві», 2020. С. 121–123.

21. 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.

22. 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.

23. Бабій А.В., Бабій М.В. Динамічна модель енергозберігаючого приводного механізму косарки. Вісник ХНТУСГ. Випуск 145. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”. Харків, 2014. С.112–118.\

24. Бабій А.В., Бабій М.В. Організація і технологія механізованих робіт: навчальний посібник до курсового проєктування для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття

освітнього ступеня «Бакалавр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 144 с.

25. Бабій А.В., Брошак І.С., Мартинюк В.В. Пристрій для прикореневого підживлення вегетуючих рослин. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С.68-69.

26. Бабій А.В., Вовк І.В., Бабій В.А. Обґрунтування параметрів вала багатофункціонального ротаційного робочого органу. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 17-19 квітня 2024 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. С. 9-10.

27. Бабій А.В., Дзюра В.О., Головецький І.В. Дослідження впливу вертикальних коливань штанги обприскувача на рівномірність обприскування. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36)_І. С. 216-226.

28. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 246 с.

29. Бабій А., Лещак Р., Барна Р. Корозійна тривкість сталі рами штангових обприскувачів у рідинному середовищі агрохімікатів. Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів: спец. вип. журналу „Фізико-хімічна механіка матеріалів”. № 13. Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2020. С. 356–360.

30. Блашак Б.О., Бабій А.В., Жук Н.В., Бабій В.А. Колесо змінного діаметру. *Актуальні задачі сучасних технологій* : зб. тез доповідей XIII міжнар.

наук.-практ. конф. молодих учених та студентів. м. Тернопіль, 11-12 грудня 2024 р. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. С.78-79.

31. Вовк І., Бабій В., Бубняк Р. Переваги використання багатофункціонального ротаційного робочого органу. Матеріали VIII Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 24-25 квітня 2025 р.), 2025. С.28-29.

32. Вовк І.В., Бабій А.В. Обґрунтування доцільності у проектуванні багатофункціонального ротаційного робочого органу. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. С.96-97.

33. Дзьобан В. Особливості побудови САД-моделі пружної стійки ґрунтообробного агрегату / В. Дзьобан, І. Мартишко, М. Гаврилюк // Матеріали VIII Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 25-26 квітня 2024 р.), 2024. С. 339 – 340.

34. Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.

35. Керб Л. П. Основи охорони праці: Навч. пос. К.: КНЕУ, 2003. 215с.

36. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Аналіз конструктивних особливостей мініобприскувачів для невеликих фермерських господарств. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 116-125.

37. Олексюк В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія». / В.П. Олексюк, А.В. Бабій, М.Я. Сташків, Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Г.Б. Цьонь, В.В. Мартинюк. Тернопіль:

ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. 93 с.

38. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УРСР Г. С. Писаренко. К.:Вища школа, 1974. 304 с.

39. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: Вища шк., 1993. 556 с.

40. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку : навч. посіб. / за ред. Д. Г. Войтюка; авт. кол.: / Д.Г. Войтюк, С.С.Яцун, М.Я. Довжик. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 543 с.

41. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; За ред. М.І. Черновола. К.: Урожай, 2001. 384 с.

42. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 3: Машини та обладнання для переробки зерна та насіння / П.В. Сисолін, М.М. Петренко, М.О. Свірень; За ред. М.І. Черновола. К.: Фенікс, 2007. 432 с.

43. Хомик Н. І., Мартинюк В. В., Бабій А. В., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Довбуш А. Д. Агрозахист: навчальний посібник за заг. ред. к. т. н., доц. Хомик Н. І. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 520 с.

44. Хомик Н.І. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк , М.Я. Сташків, А.В. Бабій, Т.А. Довбуш. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 106 с.

ДОДАТКИ