Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет аграрних технологій та екології
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу сушіння сорго з удосконаленням механізмів завантаження-вивантаження сушарки»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм - 21
спеціальності *208 Агроінженерія*
за освітньо-професійною
програмою *«Агроінженерія»*

Шумивода В.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник Кірчук Р.В.
(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Хомич С.М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Дударєв І.М.
(прізвище та ініціали)

Луцьк 2025

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	*аграрних технологій та екології*
Кафедра	*аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса*
Галузь знань	*20 Аграрні науки та продовольство*
Освітній ступінь	*магістр*
Спеціальність	*208 Агроінженерія*
Освітньо-професійна програма	*Агроінженерія*

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри аграрної інженерії
ім. проф. Г.А.Хайліса
доцент, к.т.н. _____ С.М. Хомич
«01» липня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ

Шумиводі Віталію Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу сушіння сорго з удосконаленням механізмів завантаження-вивантаження сушарки

керівник роботи Кірчук Руслан Васильович, професор, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом ЛНТУ від «01» липня 2025 р. № 459/01-07

2. Термін здачі студентом роботи_____

3. Вихідні дані до роботи_____

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки

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

		к-сть листів
1.	Вихідні дані ……	1 лист
2.	Теоретичні положення ……	1 лист
3.	Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4.	Результати експериментальних досліджень	1 лист
5.	Планування та результати експерименту з використанням математичного методу планування	1 лист
6.	Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова)	1 лист
7.	Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

К А Л Е Н Д А Р Н И Й П Л А Н

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	01.07. – 16.07.2025 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	20.08 – 31.08.2025 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2025 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2025 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2025 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2025 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2025 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2025 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2025 р.	
10	Нормоконтроль	до 04.12.2025 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	04.12.– 14.12.2025 р.	

Студент _____ Шумивода В.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Кірчук Р.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП _____ Хомич С.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній магістерській роботі на тему: «Дослідження процесу сушіння сорго з удосконаленням механізмів завантаження-вивантаження сушарки» представлено вирішення науково-прикладної задачі формування енергоощадних режимів сушіння та післязбиральної обробки сорго за рахунок використання раціональних режимів сушіння. Також представлено аналіз технології вирощування сорго в природничо-кліматичних умовах України.

Сферою застосування даного дослідження може бути рослинництво, а саме вирощування хлібних, технічних і кормових культур, зокрема сорго. Застосування запропонованої технології дозволить більш ефективно використовувати енергоресурси для післязбиральної обробки насіння шляхом використання раціональних режимів сушіння.

Кваліфікаційна магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 20 назв та 3 додатків. Основна частина викладена на 60 сторінках, містить 15 рисунків і фотографій, 5 таблиць.

ABSTRACT

The qualified master's work on the topic: “Investigation of the sorghum drying process with improved mechanisms of innovative drying” presents the most advanced scientific and applied problem of the formation of energy-saving drying modes and after collecting sorghum slurry, rational drying modes. An analysis of the technology of growing sorghum in the natural and climatic minds of Ukraine is also presented.

The scope of this research may be growing, and the very development of grain, industrial and feed crops, sorghum. The use of the proposed technology will allow for more efficient utilization of energy resources for post-collection processing of soil. You need to work through different rational modes of drying.

A qualified master's thesis consists of an introduction, four sections, subdivisions, a list of shortlisted items from 20 names and 3 additions. The main part is laid out on 60 pages, including 15 drawings and photographs, 5 tables.

ЗМІСТ

ВСТУП..... 7

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ 10
1.1 Вирощування та використання сорго у світі..... 10
1.2 Агротехнологічні особливості вирощування сорго..... 15
1.3 Висновки, мета та завдання дослідження 22

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СОРГО ТА МЕХАНІЗМІВ ЇХ ЗАВАНТАЖЕННЯ-ВАВАНТАЖЕННЯ ІЗ СУШАРКИ 24
2.1 Основи теорії сушіння сільськогосподарських культур 24
2.2 Особливості сушіння зернового сорго 29
2.3 Обгрунтування конструкції мобільної сушарки зернового сорго 33
2.4 Проектування шнекового заванатажувача сушарки сорго 36
2.5 Висновки до розділу 2 41

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ 42
3.1 Схема і методика проведення досліджень 42
3.2 Агротехніка в дослідах 45
3.3 Методика польових спостережень 46
3.4 Статистичний аналіз експериментальних даних 47
3.5 Висновки до розділу 3 47

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ 48
4.1 Схожість і збереженість рослин сорго залежно від строків сівби 48
4.2 Засміченість посівів сорго за різних строків сівби 49
4.3 Площа листкової поверхні сорго залежно від строків сівби 50
4.4 Урожайність і якість зеленої маси за строками сівби 51

4.5 Вплив розрахункових доз мінеральних добрив на урожайність і якість зеленої маси цукрового сорго сорту Севілья 53
4.6 Висновки до розділу 4 53
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 55
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 57
ДОДАТКИ 60

ВСТУП

Вирощування сорго в Україні має стратегічне значення для підвищення продовольчої безпеки, оскільки ця культура демонструє стабільні врожаї навіть за умов кліматичних коливань. Завдяки високій посухостійкості та здатності ефективно використовувати вологу сорго є надійною альтернативою традиційним зерновим у регіонах із дефіцитом опадів. Це дає змогу агровиробникам зменшувати ризики втрат урожаю та забезпечувати більш прогнозовані показники виробництва.

Економічна цінність сорго полягає у його універсальності. Культура придатна для використання у харчовій, кормовій і переробній промисловості, що формує широкий спектр ринків збуту. Високий вміст поживних речовин у зерні та зеленій масі робить сорго ефективним компонентом комбікормів, а перспективи переробки на біоетанол відкривають додаткові можливості для розвитку енергетичних культур.

Для України важливо й те, що сорго добре адаптується до умов степової та лісостепової зон, де через глобальні зміни клімату зростає потреба у культурах із підвищеною стійкістю до стресових факторів. Розвиток соргівництва сприяє диверсифікації структури посівів, раціональнішому використанню земельного потенціалу та зменшенню залежності від традиційних зернових культур. Це робить сорго важливим елементом стійкого аграрного виробництва в Україні.

Актуальність дослідження. Сорго завдяки посухостійкості широко використовуються у виробництві рослинницької продукції.

Посіви соргових культур використовуються на продовольчі, технічні та кормові цілі. Соргові культури почали досліджувати більше ста років тому у зв'язку з наслідками найсильніших сухих років 1920-х років. У сучасних умовах обробіток соргових культур обумовлено корінною зміною системи введення агропромислового комплексу на основі інтенсифікації, ресурсозбереження матеріальних та трудових витрат, спрямованіна виробництво тваринницької продукції з низькою собівартістю високою якістю, конкурентоспроможною на

ринку. Для досягнення цих цілей першорядне значення має обробіток набору кормових культур з великою продукційною здатністю та з найменшими витратами, яким відповідають соргові культури.

Однак до теперішнього часу соргові культури не дісталиточного господарського використання у регіоні. Основними стримую ними факторами ширшого впровадження соргових культур у виробництво є та підвищення їх врожайності є недостатньо досконалими. Технології вирощування соргових культур та застосування добрив з урахуванням сучасних вимог досягнень науки та техніки, що є актуадьним завданням на сучасному етапі розвитку сільськогосподарського виробництва.

Метою роботи є формування науково обґрунтованих прийомів обробітку зернового сорго та сорго на зелену масу для зниження енергетичних витрат прри його вирощуванні.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети досліджень вирішили наступні завдання, а саме:

- вивчити особливості зростання, розвитку та формування врожаю сорго залежно від прийомів обробітку;
- встановити терміни посіву та обґрунтувати дози внесення мінеральних добрив під урожай зеленої маси сорго;
- визначити оптимальні параметри післязбирального оброітку зернового сорго;
- сформувати висновки та рекомендації для вирощування сорго.

Об'єкт дослідження. Процес вирощування та післязбиральної обробки зернового сорго та сорго на зелену масу.

Предмет дослідження. Зерно сорго та механічні системи його післязбиральної обробки.

Методи та способи вирішення задачі. Методологія заснована на огляді вітчизняної та іноземної наукової літератури, проведення польових дослідів, спостережень, лабораторних досліджень, статистичної обробки експериментальних даних та аналізу отриманих результатів.

Теоретичні дослідження виконувались з використанням методів механіко-математичного моделювання, класичної механіки, опору матеріалів та чисельного розв'язання задач із застосуванням ЕОМ. Експериментальні дослідження здійснювались за галузевими стандартами та власними методиками на спеціально розроблених установках і приладах.

Під час виконання кваліфікаційної роботи магістра було використано інструменти штучного інтелекту для редагування та форматування тексту записки, уточнення формулювань та опрацювання літератури. Усі твердження, висновки та результати дослідження належать автору та ґрунтуються на власному аналізі, а отримані результати від генеративного ШІ були перевірені на достовірність та відповідність академічній доброчесності.

Наукова новизна одержаних результатів. Вдосконалено методику оцінки планової врожайності на фоні розрахункових доз мінеральних добрив для сорго сорту Севілья. Визначено оптимальні терміни посіву для соргових культур (сорго-суданкового гібрида Чишмінський 84, цукрове сорго Севілья, зернове сорго Сатурн. Сформовано методику енергозберігаючого сушіння та післязбиральної обробки зернового сорго.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами досліджень розроблена методика вирощування та післязбиральної обробки сорго. За результатами експерименту встановлено доцільність культивування даної культури в кліматичних умовах України.

Структура й обсяг роботи. Кваліфікаційна магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 20 назв та 3 додатків. Основна частина викладена на 60 сторінках, містить 15 рисунків, 5 таблиць.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Вирощування та використання сорго у світі

Як давня культура, сорго було відоме за три тисячі років до н. е. в Індії та Китаї і за дві з половиною тисячі років до н. е. - у Середній Азії. До Європи сорго завезли у XV столітті з Індії через Єгипет. Із розвитком торгівлі сорго з Африки поширилося на інші континенти земної кулі. На європейському континенті перша згадка про культуру сорго міститься в «Природничій історії» Плінія Старшого (23–79 рр.), де повідомляється, що вона була відома за 2000 років до н. е. [1-3]. Культурне сорго вперше розвинулося у Північно-Східній Африці близько 5 тисяч років тому як основна хлібна культура. Сорго вирощували в Єгипті за 2200 років до н. е. Доказом цьому є знахідки зерна сорго в давніх єгипетських могильниках, а також малюнки на пам'ятках Єгипту. Давність культури сорго підтверджується також пам'ятками старовини в країнах Східної та Південної Азії - Маньчжурії, Китаї та Індії (гаоляни та цукрове сорго) [3-5]. Батьківщиною сорго академік М. І. Вавилов (1987) вважав Африку, де збереглися специфічні види сажок, не виявлені в інших частинах світу [5-8].

Особливе місце в історії вирощування сорго займає Індія. На думку Ліннея та Вірта, культура була відома тут ще 3000 років до нашої ери. Проте дикі форми сорго у цьому регіоні не були знайдені. Французький ботанік Альфонс Де Кандоль (Alphonse Louis Pierre Pyramus de Candolle) вважає, що сорго походить із екваторіальної Африки, звідки воно поширилося у спекотні сухі райони Старого Світу. У XV столітті сорго з Індії потрапило до Риму. У цей час, як стверджують деякі автори, сорго з Африки через Європу потрапило на Близький Схід, до Китаю та Америки. У XVII столітті сорго вдруге потрапляє до Європи завдяки арабам. У XIX столітті насіння сорго було завезене до Франції з Китаю, де культура була відома ще з 2000 р. до н. е. [5-11].

До Європи волотисте (метельчате) сорго проникло й закріпилося у XVII столітті. Тоді його завезли до Франції, а далі - до Америки, де з 1797 р. почали вирощувати для промислових цілей [10-12].

Цікавою є історія поширення цукрового сорго. У 1851 р. французький консул у Шанхаї (Китай) привіз насіння цукрового сорго з острова Цзун-Мін у дельті річки Янцзи. Посаджене у Франції єдине зерно виросло і дало зрілу рослину. Вісімсот зерен із його волоті були продані по 1 франку за кожне. У 1853 р. це насіння потрапило до Америки, а у 1854–1855 рр. було розповсюджене серед фермерів [10-12].

У 1927–1928 рр. у США сорго вирощували на великих площах: на зерно - 2,7 млн га, на сироп - 148 тис. га, волотисте - 148 тис. га. У цей період у Китаї площа посівів цукрового та зернового сорго становила понад 2 млн га, а світовим лідером залишалася Індія - понад 14,2 млн га [7-12].

Загальна площа культури у світі на початку 1930-х років становила близько 20 млн га, зокрема в Індії - 14 млн га, у США - 3 млн га, у Китаї та Маньчжурії - 2 млн га. Як відомо, у ті роки основною тягловою силою були коні, а головним кормом - овес. У Південній Африці, посушливих районах США та Середньої Азії коням замість вівса давали зерно сорго як більш поживне (900 г сорго дорівнювали 1000 г вівса, або 1,1 к. од.). У 1930 р. збиральна площа сорго у США становила 3,4 млн га (на зерно - 40%, на сіно - 59%, на силос - 1%). Сорго висівали лише в окремих штатах [8-10]. У 50-ті роки XIX століття широкого поширення набуло цукрове сорго як сировина для виробництва цукру.

Як зазначалося, найбільші площі зернового сорго припадають на Індію, США, Пакистан, африканські країни, де посіви розміщені по всьому континенту - саме там, звідки культура походить. Також сорго вирощують у Китаї, Аргентині, країнах Південно-Західної Азії, Екваторіальної та Південної Африки. У засушливих регіонах сорго використовують як кормову культуру, особливо у штатах Канзас, Небраска, Техас, Оклахома, Юта та інших у США [7-10].

Динаміка виробництва сорго у світі свідчить, що за останні пів століття посівні площі значно зросли. У 1978 р. культуру вирощували на 45 млн га,

валовий збір зерна становив 60 млн т. На той момент сорго вирощували фермери 85 країн світу, і воно посідало п'яте місце за значенням після пшениці, рису, жита, кукурудзи та ячменю [5-10].

Нині зернове сорго вирощують у засушливих і напівзасушливих регіонах та зонах недостатнього зволоження багатьох країн на всіх континентах. Воно займає 16,6% земель, що становить понад 50 млн га. За останні 40 років світові площі під сорго зросли більш ніж на 50%. За валовим збором зерна сорго займає третє місце у світі серед зернофуражних культур після кукурудзи та ячменю і третє як харчова культура після пшениці та рису. Світове виробництво зерна сорго становить близько 70 млн т. Переважна частина припадає на Африку (21,6 млн т), США (26,5 млн т), Азію (16,2 млн т), Мексику (6,4 млн т) та Аргентину (2,5 млн т). В Європі розташовано менш ніж 1% площ зернового сорго, з них 0,3% - у Україні, Казахстані, Середній Азії та Молдові. Валовий збір тут становить 0,5–0,8 млн т. У США вся площа засівається лише зерновими гібридними сорго. Урожайність гібридів у штаті Каліфорнія становила 80,5 ц/га. Нині у світі вирощується близько 50 видів сорго [8-11] у 104 країнах, і культура посідає третє місце як харчова після пшениці та рису [11-12].

Отже, сорго у світі займає важливе місце і є значущою продовольчою, технічною та кормовою культурою.

Залежно від господарського призначення соргові культури поділяються на чотири групи: зернові, цукрові, віничні та трав'янисті. Соргові культури класифікують за такими видами.

Зернове сорго гвінейського типу поширене в країнах Західної Екваторіальної Африки. Для цього типу характерна особлива форма зерна з широкими розкритими лусками. Використовується для виробництва харчового сорго та круп. Наприкінці XVI ст. цей вид сорго, що отримав назву «гвінейська кукурудза», вирощували американські колоністи на території сучасної Південної Кароліни [8-9].

Зернове сорго кафрське вирощують у країнах Центральної й Східної Екваторіальної Африки. Відрізняється підвищеним вмістом крохмалю в зерні та скоростиглістю.

Зернове сорго хлібне (сорго-джугара-майло) вирощується в країнах Північно-Східної Африки, на Близькому і Середньому Сході, в Індії та Пакистані, де є основною продовольчою та кормовою культурою. Вид має значне еколого-географічне різноманіття, зокрема за формою та будовою колосків [6]. У засушливих районах південних регіонів країни зернове сорго має велике значення як фуражна культура, використовується для виробництва комбікормів для тварин і птиці.

Сорго цукрове має соковиту й солодку серцевину. Вирощується на корм, для виробництва патоки й спирту. Wей вид вирощують як для отримання зерна, так і для зеленої маси [5-9]. Цукрове сорго містить понад 10% сахарози та має великі перспективи як резервна культура для виробництва цукру [4]. У стеблах цукрового сорго міститься до 85 % соку. Цукристість стебел становить близько 18 %. В 1 тонні стебел міститься 150 кг цукру. У сиропах із сорго містяться три види цукрів: буряковий (або тростинний), глюкоза й фруктоза [8].

Сорго технічне вирощують для виробництва віників. Відрізняється наявністю сухої серцевини й укороченого стрижня - волоті. Як і інші види соргових культур, характеризується високою посухостійкістю, невибагливістю до ґрунтів, має спільне місце в сівозміні та схожу агротехніку. Відрізняється від інших видів, особливо зернового й цукрового, вищим темпом початкового росту, що пов'язують із більшою холодостійкістю та здатністю пригнічувати бур'яни [7].

Сорго трав'янисте включає дикорослі однорічні та багаторічні види. У нас вирощується як кормова культура під назвою суданська трава, батьківщиною якої є Судан [4].

Сорго - культура широкого спектру використання. Насамперед - хлібна культура. Зерно сорго є рослинною сировиною для технічної переробки: виробництва комбікормів для тварин і птиці, круп, каш швидкого приготування,

хлібців, соргового крохмалю. Для технічної переробки придатні також стебла й листя. Із стебел цукрового сорго отримують сироп, що використовується для виготовлення лимонної кислоти, оцту, як замінник цукрової сировини в кондитерському виробництві, для отримання глюкозо-фруктозного сиропу (ГФС), напоїв та настоянок із додаванням екстрактів лікарських рослин.

Зерно сорго характеризується високим вмістом крохмалю. Крохмаль є основним джерелом вуглеводів для людини. Його широко застосовують у харчовій, текстильній, паперовій, медичній та інших галузях промисловості. Нині у світі спостерігається зростання виробництва крохмалю. Лідерами з його виробництва є США, Канада, Данія, Німеччина, Франція, Нідерланди, Японія та Таїланд.

Стебла цукрового сорго використовують для виробництва соргової патоки або «соргового меду». Патоку отримують як додатковий продукт без втрати врожаю зерна. Віджимання соку зі стебел проводять шляхом пропускання їх тонким шаром через вальці [6,7].

Поживна цінність зеленої маси сорго визначається не лише вмістом цукру, а й білка, кількість якого знижується у процесі переходу між фазами розвитку. Найвищий вміст білка спостерігається у фазі «кущіння-трубкування». На початку викидання волоті рівень білка зменшується до 13–18 %, а при повній стиглості зерна - до 7–8 %.

Поживність 100 кг зеленої маси сорго становить у середньому: 0,8 % перетравного протеїну, 23,5 к. од., 14,1 крохмальних одиниць і 4,3 кг на 1 к. од. Хімічний склад: вода - 72,1; протеїн - 2,8; білок - 2,3; жири - 0,7; клітковина - 8,3; безазотисті екстрактивні речовини - 14,0. Коефіцієнт перетравності: протеїну - 47, жиру - 70, клітковини - 62, безазотистих речовин - 75 [4].

Солома сорго є більш поживною та якісною, ніж солома зернових злакових культур. Якщо поживність соломи пшениці становить 21,7 к. од., то солома сорго-50,2, тобто удвічі більше. Культура сорго успішно використовується у сумішах з іншими кормовими культурами для отримання збалансованої зеленої маси.

1.2. Агротехнологічні особливості вирощування сорго

На формування врожаю зерна сорго впливає поєднання біологічних та генетичних властивостей кожного гібриду з одного боку, а також забезпеченість рослин сприятливими умовами зростання, особливо в критичні періоди розвитку, з іншого. Для досягнення оптимального результату важливо розуміти періоди розвитку сорго та стадії його органогенезу. Загалом у розвитку рослин виділяють два основні етапи: формування вегетативних органів (коріння, стебла, листя) і генеративних (суцвіття, квітки, насіння).

Розвиток сорго поділяється на 12 стадій органогенезу:

1. Проростання - 10–12 днів;
2. Сходи, утворення третього листка - 8–10 днів;
3–4. Кущіння та продовження кущіння - 12–14 днів на кожну стадію;
5–6. Вихід у трубку та його продовження - відповідно 12–14 і 5–7 днів;
7. Ріст стебла - 16–18 днів;
8. Викидання волоті - 5–7 днів;
9. Цвітіння - 4–7 днів;
10. Формування та початковий ріст зернівки - 12–14 днів;
11. Налив зернівки - 18–20 днів;
12. Воскова і повна стиглість - 10–12 днів.

Проте для практичного застосування агровиробники можуть орієнтуватися на видимі ознаки для визначення стадії розвитку рослин. Зокрема, у США прийнято методику, яка розподіляє розвиток сорго на стадії від нульової (сходи) до дев'ятої (повна стиглість). Ці стадії об'єднуються у два основні періоди: формування вегетативних органів (0–5 стадії) і генеративних органів (6–9 стадії).

Час, необхідний для проходження кожної стадії розвитку, залежить від особливостей гібрида та умов навколишнього середовища. Навіть у межах одного гібрида, вирощуваного в однакових умовах, тривалість стадій може змінюватися через зміщення строків висіву. Крім того, на розвиток рослин впливають такі

чинники, як удобрення ґрунту, наявність хвороб, підвищена вологість, густота посіву та забур'яненість.

Застосування правильних агротехнічних заходів з урахуванням основних етапів розвитку рослин сорго дозволяє забезпечити оптимальні умови для їхнього росту, формування врожаю та реалізацію інтенсивної технології вирощування сучасних високоврожайних гібридів. Комплекс агротехнічних прийомів має бути націлений на підвищення продуктивності та якості врожаю, регулювання зовнішніх факторів росту рослин, врахування біологічних характеристик культури, ґрунтово-кліматичних умов, різноманітності сортів і цільового призначення посівів. Досягнення високих врожаїв залежить від ретельного вибору поля, раціональної системи обробітку ґрунту, застосування добрив, ефективного збереження вологи, дотримання оптимальних строків сівби, належного догляду за рослинами та своєчасного збирання урожаю.

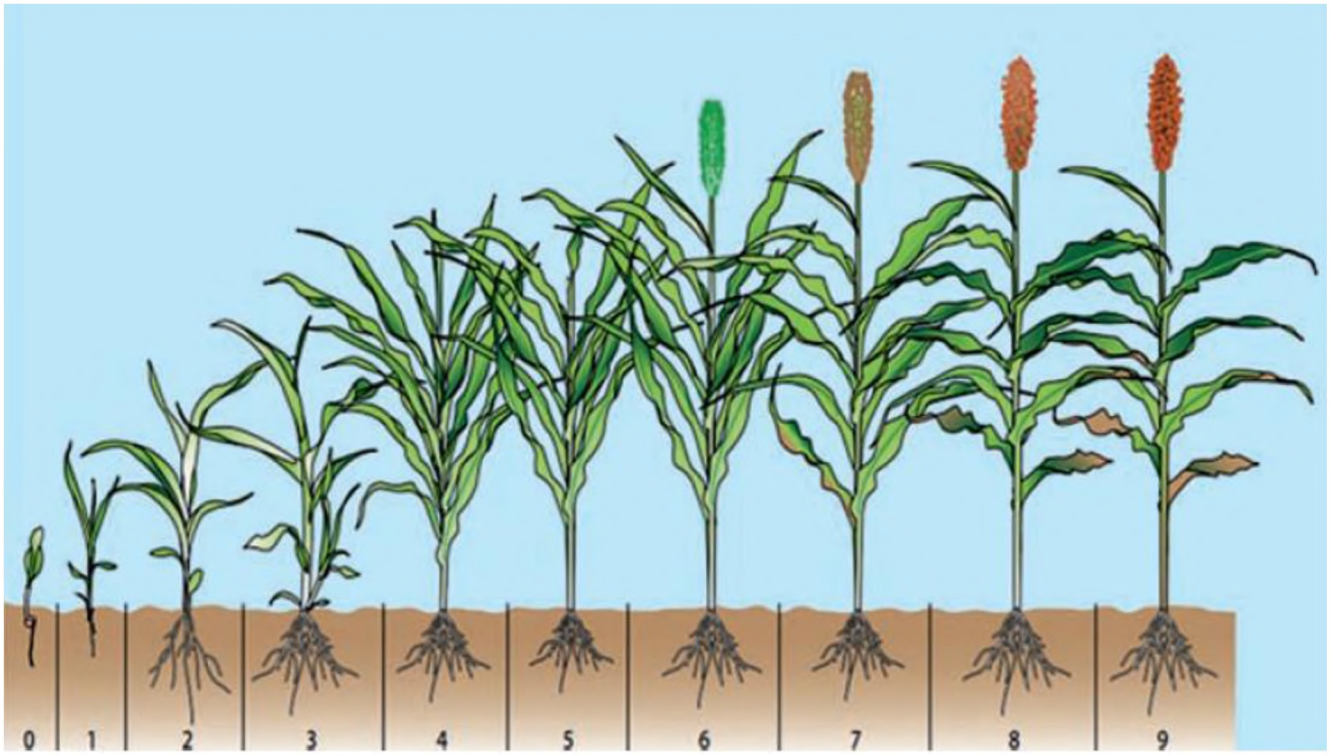


Рисунок 1.1 – Фази вегетації зернового сорго

Повільний ріст надземної частини сорго протягом перших 30–40 днів після появи сходів визначає специфіку цієї культури, зумовлюючи потребу в чистоті полів, ретельній передпосівній підготовці ґрунту та застосуванні гербіцидів. Через

такі особливості біології сорго боротьба з бур'янами стає ключовим аспектом технології його вирощування, який необхідно реалізовувати з ранніх етапів розвитку рослин. Усі агротехнічні заходи повинні бути спрямовані на знищення небажаної рослинності, акумуляцію вологи та вирівнювання поверхні ґрунту. Теплолюбність сорго, невеликий розмір насіння і поступовий розвиток надземної маси у післясходовий період створюють ризик пригнічення рослин бур'янами, тому комплекс весняно-польових робіт, особливо передпосівна обробка ґрунту, потребує максимальної уваги і точності.

Таблиця 1.1 – Фази вегетації зернового сорго, час проходження стадії росту

Стадія розвитку	Днів після сходів, приблизно	Визначення особливостей
0	0	Сходи. Поява колеоптилю на поверхні ґрунту
1	10–20	Видима піхва третього листка, формуються головне та бічні стебла
2	20–25	Кущення. Видима піхва п'ятого листка, швидкий розвиток кореневої системи, поява бокових стебел
3	30–40	Фаза інтенсивного росту (приблизно до фази 8–10 листка), швидкий ріст стебла, посилене пагоноутворення, коренева система глибоко проникає у ґрунт, початок формування волоті
4	40–50	Поява верхівкового (прапорцевого) листка, формування 80% усієї листкової поверхні, посилення фотосинтетичної активності
5	50–60	Стадія утворення обгортки — сформована волоть пробивається через піхву верхівкового листка. Ріст стебла закінчується
6	67–70	Цвітіння. Ріст листостеблової маси припиняється, починається інтенсивне пилкоутворення, запилення і запліднення квіток
7	78–80	Молочна стиглість. Починається формування зерна, накопичення поживних речовин, його наливання. Стебло втрачає масу. Вміст зернівки набуває консистенцію густого клейкого молока
8	93–95	Воскова стиглість. Накопичені в зернівках поживні речовини перетворюються на запасні, їхній ріст припиняється, зернівки твердіють і мають воскоподібну консистенцію
9	113–115	Повна стиглість

У посушливій зоні весняну підготовку до сівби рекомендується розпочинати з боронування у два сліди, як тільки ґрунт досягне фізичної стиглості. Далі проводять культивацію на глибину 10–12 см з одночасним боронуванням. У періоди, коли настають оптимальні строки сівби, виконують другу культивацію на глибину 5–6 см, за необхідності додаючи ґрунтові гербіциди [13].

Рисунок 1.2 – Посіви сорго

Після першої культивації варто прикочувати ґрунт разом із боронуванням - це позитивно впливає на збереження вологості та підтримання сприятливої температури. У посушливі весняні періоди таке прикочування після першої культивації й перед сівбою сприяє підвищенню врожаю та забезпечує швидке проростання бур'янів, які знищуються у процесі передпосівної культивації.

Один із ключових факторів для отримання високих урожаїв - використання якісного насіння. Підготовка до сівби має починатися з калібрування насіння. Крім цього, обов'язковим є його попереднє повітряно-теплове прогрівання на сонці протягом 4–5 днів, обробка від плісневих грибів, бактеріальних хвороб, сажки, а також для захисту від попелиці та ґрунтових шкідників.

Сівбу слід розпочинати, коли ґрунт на глибині 10 см стабільно прогрівається до температури 12–15°С. Глибина загортання насіння має становити 5–6 см. Рекомендований спосіб сівби - пунктирний або широкорядний з міжряддями шириною 45–70 см. Норма висіву залежить від ширини міжрядь і передбачуваної густоти рослин на гектарі. Для умов Південного Степу

оптимальна густота складає 100–120 тисяч рослин на гектар, що відповідає витраті насіння від 5 до 6 кг/га.

Сівбу можна здійснювати як звичайними просапними сівалками (наприклад, УПС-8, УПС-6, Клен), так і сівалками прямого висіву (типу John Deere, Kinze) із одночасним внесенням фосфорних добрив у кількості 10–15 кг діючої речовини. Після посіву обов'язково проводиться прикочування грунту для кращого контакту насіння із вологою.

Сорго є страховою стратегічною культурою, яка використовуються у разі втрати урожаю озимих або ранніх ярових через посуху. Його можливо висівати навіть у пізні строки - до кінця травня чи початку червня.

Догляд за посівами включає наступні заходи:

- боронування легкими зубовими боронами до появи сходів (у перші дні після сівби, за 4–5 днів до виникнення сходів);
- боронування після появи сходів (у фазі формування другого-третього листка і на етапі розвитку чотирьох-п'яти листків). Згідно з дослідженнями, цей метод у багатьох випадках дозволяє уникнути першого міжрядного обробітку;
- проведення міжрядних культивацій: першу виконують у фазі п'ятого листка на глибину 5–6 см, другу - у фазі появи сьомого листка на глибину 6–8 см;
- хімічний захист у випадку значної кількості бур'янів. Це включає внесення ґрунтових гербіцидів (перед передпосівною культивацією або одразу після сівби з боронуванням) та страхових гербіцидів (до фази п'ятого листка);
- у випадку заселення посівів попелицями до етапу п'ятого-сьомого листка, а також під час масового появлення гусені кукурудзяного метелика, проводять обробку інсектицидами.

Збирання сорго здійснюють у фазі повної стиглості зерна прямим комбайнуванням за допомогою зернових комбайнів, коли вологість рослин становить 22% або нижче. Під час збору врожаю рекомендується знижувати швидкість обертання барабана до 500–600 обертів за хвилину. Для зменшення вологості рослин до потрібного рівня та пришвидшення дозрівання зерна застосовують десикацію посівів. У разі дефіциту вологи в ґрунті, як це

спостерігається цього року, доцільно висівати скоростиглі та ранньостиглі сорти й гібриди. Найкраще адаптовані для умов посухи такі сорти: Прайм, Спрінт W, Даш Е, Свіфт, Бургго, Юкі, Сонцедар.

Збирати врожай рекомендується з появою перших ознак висихання листя в нижній частині рослин. Для отримання якісного силосу важливо, щоб фураж мав вміст сухої речовини на рівні 27-30%. Такий силос не протікає, добре зберігається і легко засвоюється. Водночас важливо правильно налаштувати нарізку силосу із сорго - не надто дрібну і не занадто крупну, щоб забезпечити його стабільність після відкриття.

Рекомендації: розпочинати збір врожаю можна із серпня-вересня за умови, що вологість зерна опустилася нижче 20%. Не відкладайте час збирання в надії додатково знизити вологість зерна, адже зростає ризик її повторного підвищення, а також погіршення якості через вплив повітряної вологості (наприклад, туманів). Крім того, затримка зі збором підвищує небезпеку вилягання рослин.

Слід уникати надмірного збору стебел і листя, оскільки це уповільнює процес і призводить до підвищення вологості зерна.

Рисунок 1.3- Збирання сорго прямим комбайнуванням

За даними експертів, Україна вже протягом кількох сезонів, попри відносно скромні посівні площі, належить до п'ятірки провідних світових експортерів сорго. Зокрема, за результатами 2018–2019 маркетингового року країна зайняла

четверте місце у світі за експортом цієї культури. Проте за обсягами виробництва та посівними площами сорго Україна не входить до десятки найбільших виробників у світі. Найвищих показників посівних площ зернового сорго було досягнуто у 2012 році — 171,8 тис. га. Після цього вони стабільно знижувалися і в останні два роки досягли мінімального рівня — 43,1 тис. га та 46,4 тис. га відповідно. Найбільші площі посівів спостерігаються в Дніпропетровській, Миколаївській, Черкаській, Херсонській, Кіровоградській та Одеській областях (рис. 1.4).

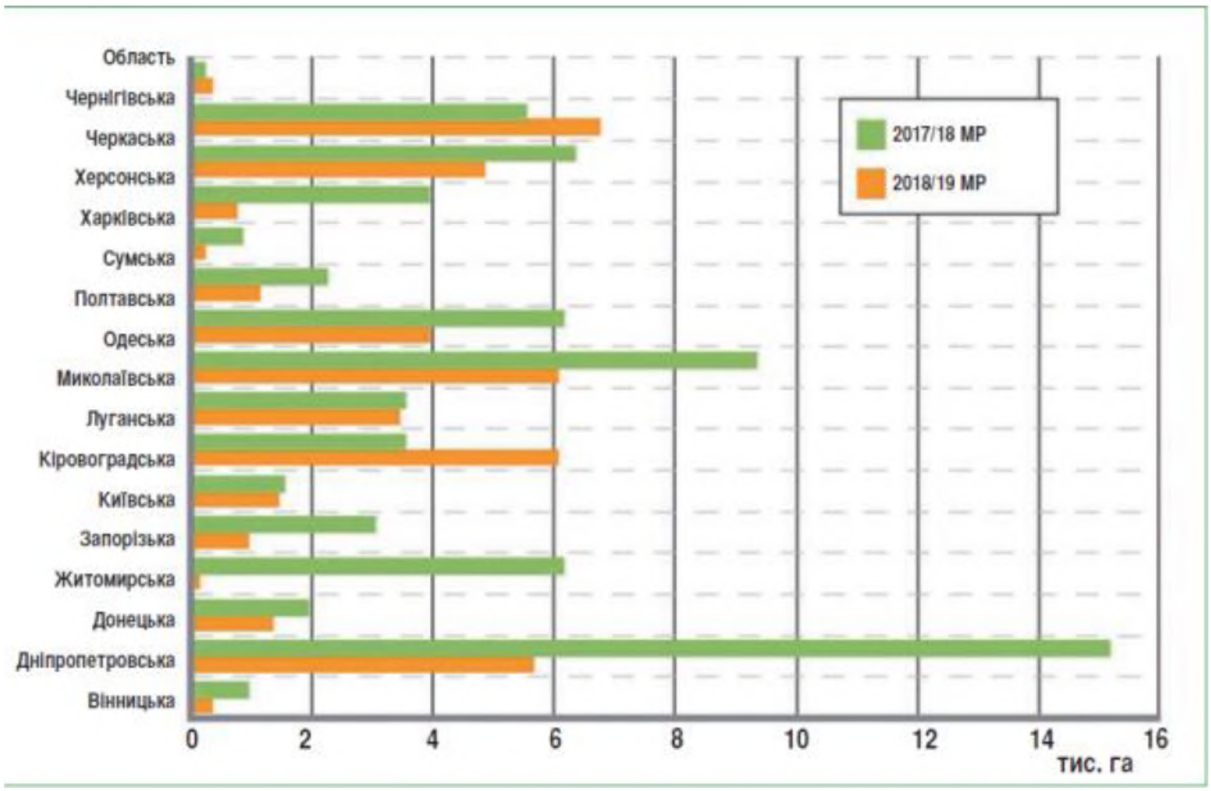


Рисунок 1.4 - Площі посівів сорго в Україні

Основними імпортерами сорго з України є європейські країни, зокрема Іспанія, Італія та Польща. Упродовж останніх років Україна також експортувала зерно сорго до Ізраїлю та Туреччини. Як зазначають українські експерти, у країни є значний потенціал для розширення експорту цієї культури. Завдяки вигідному географічному положенню Україна має конкурентну перевагу порівняно з найбільшими світовими виробниками сорго, такими як США, Індія, Мексика та Аргентина, враховуючи попит у країнах Близького Сходу, Африки та ЄС. Крім

того, особливо перспективним для України вважається експорт сорго на китайський ринок [13,14].

1.3 Висновки, мета та завдання дослідження

Вирощування сорго в Україні за останні роки демонструє стабільно позитивні тенденції. На основі наукових даних, аграрної практики та спостережень можна зробити такі узагальнені висновки:

1. сорго є однією з найбільш посухостійких культур для умов України. У зв'язку зі змінами клімату, частішими посухами та нерівномірними опадами сорго забезпечує стабільніші врожаї порівняно з традиційними зерновими, особливо в південних і центральних регіонах;
2. культура добре адаптується до різних ґрунтово-кліматичних умов. Сорго придатне для вирощування практично в усіх областях України, включно з регіонами ризикованого землеробства, де кукурудза чи соняшник часто не дають очікуваного результату;
3. висока економічна ефективність. Сорго потребує менше добрив, води та засобів захисту, ніж багато інших культур. Це знижує собівартість вирощування та підвищує рентабельність, особливо на малопродуктивних землях;
4. Універсальність напрямів використання. В Україні перспективними є:
   - зернове сорго (кормові та харчові цілі),
   - цукрове сорго (біоетанол, силос),
   - трав'янисте сорго (корм),
   - технічні підвиди.

   Це розширює можливості для фермерів і переробників;
5. зростає інтерес до сорго в умовах ринку. Підвищений попит на корми, альтернативні культури та енергоносії робить сорго стратегічно важливим для аграрного сектору. Також відкриваються нові експортні ніші;

6. сорго позитивно вписується в сівозміни. Культура є добрим попередником для багатьох інших рослин, зменшує тиск бур'янів та хвороб, а також сприяє раціональному використанню земель.

Сорго стає однією з ключових культур для адаптації українського землеробства до кліматичних викликів. Воно забезпечує стабільні врожаї за умов дефіциту вологи, економічно вигідне та має широкий спектр застосування. Подальше поширення сорго в Україні є перспективним і обґрунтованим як з агрономічної, так і з економічної точки зору.

Завдання кваліфікаційної роботи магістра полягає у проведення комплексних досліджень післязбиральної обробки насіння сорго, вдосконалення системи завантаження-вивантаження насіннєвого матеріалу у сушарку, вибір типу сушарки та енергозберігаючих режимів сушіння..

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СОРГО ТА МЕХАНІЗМІВ ЇХ ЗАВАНТАЖЕННЯ-ВАВАНТАЖЕННЯ ІЗ СУШАРКИ

2.1. Основи теорії сушіння сільськогосподарських культур

Конвективний метод сушіння передбачає використання нагрітого повітря, зазвичай у поєднанні з топковими газами, яке служить одночасно теплоносієм і вологопоглиначем. Цей спосіб вважається найбільш поширеним через його здатність забезпечувати рівномірне нагрівання всіх шарів матеріалу. Крім того, обладнання для такого методу є відносно простим і має порівняно невисокі енерговитрати завдяки значному коефіцієнту корисної дії.

Особливу увагу заслуговують зерносушарки, що функціонують за цією технологією. Конвективний спосіб має багато конструктивних варіантів. Наприклад, сушіння зерна в нерухомому шарі відбувається за умови, що зерно залишається статичним, а швидкість повітря не перевищує швидкість витання. Подібні установки доволі прості й компактні, проте використовуються нечасто через недоліки, такі як нерівномірність прогріву зерна та неможливість застосування у потокових процесах через їх періодичний режим роботи.

До таких установок належать стелажні, лоткові, камерні, стрічкові, платформні, жалюзійні сушарки, а також вентильовані бункери. Кожен із цих типів має свої особливості та обмеження залежно від умов використання.

Відповідно до агротехнічних вимог, для тривалого зберігання використовують зерно з вологістю, що не перевищує 14%. Водночас вологість свіжозібраного зерна часто становить 20–30%. Природне сушіння застосовують, якщо вологість зернової маси не перевищує 20%, тоді як мокріше зерно піддається сушінню в спеціальних сушарках.

У барабанних сушарках температура теплоносія встановлюється в діапазоні 180–220° для харчового зерна та 100–160° для насіннєвого. При цьому максимальна температура нагрівання харчової пшениці має бути не більше 55°,

а насіннєвої - до 48°. У шахтних сушарках температура теплоносія коливається в межах 100–140°. У таких пристроях харчове зерно нагрівають до 50°, а насіннєве - до 45°. Ці температури трохи нижчі, ніж у барабанних сушарках, адже час перебування зерна у нагрітому стані в шахтних сушарках є тривалішим.

Під час одного циклу сушіння допустиме зниження вологості становить не більше 6–8%. Однак ці показники є орієнтовними й можуть змінюватися залежно від типу культури чи тривалості процесу сушіння.

Серед багатьох фізичних характеристик зерна, які впливають на вибір параметрів сушіння (зокрема, теплоємність, теплопровідність, температуропровідність, здатність віддавати вологу тощо), особливу увагу слід звернути на його гігроскопічність. Ця властивість визначає такий ключовий показник, як рівноважна вологість зерна. Рівноважна вологість - це стабільний граничний рівень вологості, до якого зерно прагне за конкретної відносної вологості повітря.

Процес сушіння полягає у передачі тепла матеріалу, який висушується, і видаленні водяної пари з його структури в навколишнє середовище. Для сушарок конвективної дії таким середовищем виступає агент сушіння - це може бути суміш топкових газів із повітрям або попередньо нагріте в калорифері повітря.

Статика процесу сушіння вивчає взаємодію вологих матеріалів із агентом сушіння, не враховуючи час. Переміщення вологи від матеріалу, що висушується, до агента сушіння або навпаки (вологообмін) визначається фізико-хімічними властивостями обох компонентів.

Ключовим показником у цьому процесі є гігроскопічність матеріалу, тобто його здатність поглинати чи віддавати вологу. В умовах сухого агента сушіння вологий матеріал поступово передає частину вологи у формі пари. У протилежній ситуації сухий матеріал може поглинати водяну пару з агента сушіння.

Процес десорбції, тобто випаровування вологи, можливий тільки тоді, коли парціальний тиск водяної пари на поверхні матеріалу перевищує тиск пари у навколишньому середовищі. Інакше відбувається сорбція - поглинання водяної пари матеріалом із агента сушіння. Якщо ж тиск пари на поверхні матеріалу і в агенті сушіння однаковий, обмін вологою припиняється. Такий стан називають рівноважною вологістю матеріалу.

Якщо відносна вологість агента сушіння зростає, збільшується й парціальний тиск водяної пари, що порушує рівноважний стан і призводить до накопичення вологості матеріалом через процес сорбції. Однак таке поглинання триває лише до рівня гігроскопічної вологості - це значення відповідає стану повного насичення агента сушіння вологою (при 100% відносній вологості повітря).

Зменшення вологості матеріалу можливе лише до моменту звільнення гігроскопічної вологи. Фізико-хімічно зв'язана волога залишається всередині матеріалу навіть після процесу сушіння.

Процеси обміну вологою між матеріалом і повітрям проходять доволі повільно. Для прискорення процесу сушіння слід підвищити парціальний тиск водяної пари біля поверхні матеріалу та знизити його у навколишньому середовищі. Це досягається шляхом нагрівання як самого матеріалу, так і агента сушіння.

Кінетика сушіння аналізує взаємодію вологого матеріалу з агентом сушіння у прив'язці до тривалості цього процесу. Найзручніше характеризувати процеси сушіння за допомогою графіків, які дозволяють краще уявити динаміку змін у часі.

Так, на осі абсцис (рис.2.1) позначено час T сушіння, а по осі ординат - вологість матеріалу, що віднесена до маси сухої речовини W, і температура нагріву матеріалу τ. Крива 2 показує характер зміни температури матеріалу у часі.

Крива 1 характеризує зміну вологості в часі $W=f(T)$, з графіка можна отримати криву 3 зміни швидкості сушіння залежно від вологості матеріалу

$\frac{dW}{dt} = f(T)$ (рис. 2.2).

Зі збільшенням температури матеріалу процес випаровування вологи з його поверхні значно активізується. Це призведе до підвищення концентрації вологи у внутрішніх шарах, тоді як на поверхні вона залишатиметься меншою. Як наслідок, відбудеться переміщення вологи з глибинних шарів до поверхневого рівня матеріалу.

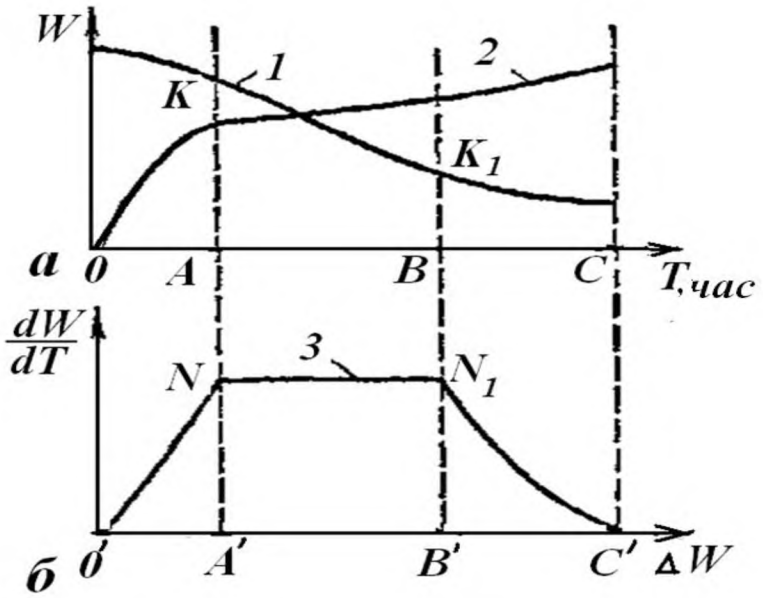


Рисунок 2.1 - Криві сушіння: 1 – зміна вологості за час T;
2 – зміна температури під час T

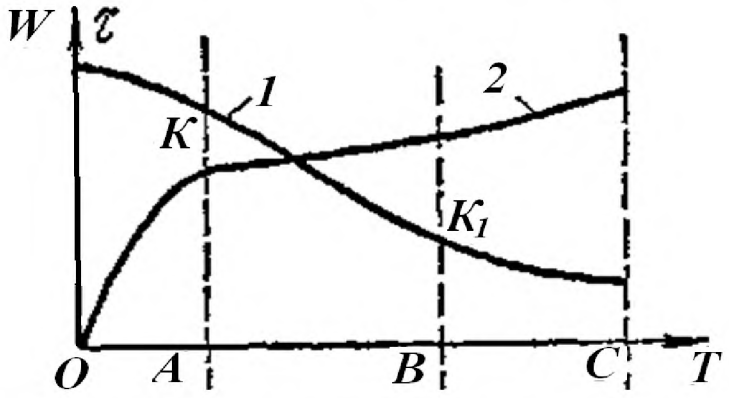


Рисунок 2.2 - Криві сушіння: 1 – зміна вологості за час T;
2 – зміна температури за час T

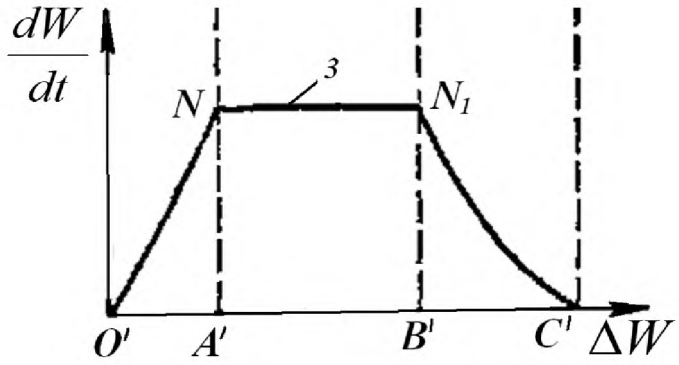


Рисунок 2.3 - Крива швидкості сушіння

Процес сушіння можна умовно розділити на три основні періоди. У фазі ОА здійснюється прогрів матеріалу, при цьому його вологість практично не зазнає значних змін. Скорочуючи даний етап, швидкість сушіння (відображена кривою 3) зростає від нуля до максимального показника.

Під час другого періоду, позначеного як АВ, волога з поверхні матеріалу випаровується аналогічно до процесу випаровування води із відкритої площини. Уся підведена енергія спрямовується на цей етап, забезпечуючи ефективне видалення вологості.

У заключній фазі сушіння, періоді ND, відбувається поступове зниження вологості матеріалу. Випаровування води з внутрішніх шарів уповільнюється, що призводить до зменшення швидкості сушіння. З'являється дисбаланс між кількістю вологи, яка випаровується з поверхневих шарів, і тією, що надходить із глибших частин матеріалу. Через це інтенсивність випаровування зменшується, що супроводжується підвищенням температури продукту. Наприкінці цього етапу матеріал досягає рівноважної вологості, процес сушіння завершується, а швидкість його стає нульовою.

Особливу увагу слід приділяти температурі нагрівання зерна протягом сушіння, щоб не порушити його біологічні властивості. Визначення допустимих температурних умов залежить від початкової вологості зерна та тривалості перебування в нагрітому стані. За методикою С.Д. Птицина допускається розрахунок температури за спеціальною формулою:

$$\tau = \frac{2350}{0,37(100 - W) + W} + 20 - 10lqt \qquad (2.1)$$

де - τ припустима температура нагріву зерна, град.;

W – відносна вологість зерна, %;

t - час знаходження зерна в нагрітому стані до необхідної температури, хв.

Сушіння вологих матеріалів полягає у переміщенні вологи з внутрішніх шарів матеріалу до його поверхні, випаровуванні цієї вологи з поверхні та подальшому відведенні водяної пари за межі матеріалу, що сушиться.

У конвективних сушарках нагрітий газоподібний агент сушіння передає матеріалу тепло, необхідне для випаровування вологи, і при цьому поглинає вологу, яка утворюється в процесі випаровування.

Чим більша площа поверхні випаровування, тим більше вологи випаровується за одиницю часу за однакових умов. Збільшити площу випаровування зернової маси, а відповідно і швидкість сушіння, можна завдяки створенню розпушеного або зваженого шару.

Такий підхід зменшує площу контакту окремих зерен між собою, що, своєю чергою, збільшує загальну активну площу тепло- та вологообміну. Використання розпушеного або зваженого стану зернового шару реалізується в сушарках вібраційного, аерофонтанного або пневмогазового типу.

2.2. Особливості сушіння зернового сорго

Зерно сорго досягає фізіологічної стиглості тоді, коли вміст вологи знижується приблизно до 30%. За вологості понад 25% насіння буде занадто м’яким і непридатним для обмолоту, адже під час цього процесу вологі зерна можуть пошкоджуватися. Сорго висихає досить швидко: наприклад, на рівнинах, де вологість повітря становить лише близько 12%, для його

висихання достатньо кількох тижнів. Однак через високу ймовірність дощів і різких вологих циклонів багато західних фермерів віддають перевагу штучній сушці зерна.

У штаті Індіана часто доводиться здійснювати раннє збирання врожаю через місцеві особливості. Тут умови значно вологіші, ніж на рівнинах, а властивості ґрунтів додатково затримують висихання полів

Домішки становлять серйозну проблему під час сушіння сорго і створюють значно більше труднощів, ніж під час сушіння зерна пшениці. Якщо сорго зібране до настання заморозків, до зернової маси потрапляє велика кількість зелених стебел та листя, які під час сушіння залишаються в одній ємності із зерном.

Домішки та сухі залишки рослин накопичуються в кутах і щілинах, створюючи високу пожежну небезпеку та порушуючи циркуляцію повітряних потоків.

Очищення сухого сорго потрібно проводити як до сушіння, так і після. Чисте зерно має меншу масу, а також дозволяє повітряному потоку глибше проникати в насип, забезпечуючи рівномірне висихання. Проблемою можуть бути також мокрі та липкі шари: під тиском верхньої маси нижній шар сорго може деформуватися, ставати м’яким і вологим.

Очищення сорго - це тонкий і уважний процес, оскільки потрібно відсіяти якомога більше домішок і мінімізувати втрати зерна. Використовуючи ротаційні решета, слід враховувати, що зерно може провалюватися крізь них разом із домішками. Нині існує багато спеціалізованих очищувальних засобів, які допомагають затримувати домішки та зберігати якість зерна.

Оскільки насіння сорго менше за розміром, воно створює більше опору повітряному потоку. За стандартної ефективності установки - 3 $м^3$ повітря на хвилину - шар сорго товщиною 0,9 м створює такий самий опір, як шар зерна завтовшки 1,2 м.

Сорго потрібно сушити на товщині шару понад 1,2м. Опір залежить від обсягу повітря, яке проходить крізь простір між зернами. Якщо зменшити

повітряний потік, опір відповідно теж зменшиться.

Окреме насіння сорго, піддане повітряному потоку, висихає швидше, ніж зернівка, оскільки внутрішня волога виходить швидше при меншому опорі. Однак великий опір шару сорго в ємності зменшує кількість потоку при заданому статичному тиску. У результаті швидкість сушіння та охолодження становитиме приблизно ⅔–¾ від аналогічного процесу для інших зернових.

Згідно зі статистичними даними, рівень загоряння під час сушіння сорго значно вищий, ніж при сушінні інших зернових. Основна причина - велика кількість рослинних домішок, які накопичуються в сушарці у важкодоступних місцях. Сухі залишки блокують потоки зерна і становлять серйозну загрозу.

Стебла та листя висихають набагато швидше, ніж зерно сорго, тому під час наступного циклу сушіння вони можуть займатися від високої температури. Особливо небезпечним є недостатній досвід оператора сушарки, який може несвоєчасно очистити нагрівальні елементи або підвищити температуру на критичний рівень, що часто призводить до аварій.

Для запобігання пожежам необхідно проводити регулярні та детальні огляди. Відповідно до норм безпеки, сушарку потрібно оглядати щонайменше раз на добу, включно з частковим розбиранням і ретельним очищенням. Конвеєрні автоматизовані пристрої слід перевіряти двічі на день. Категорично забороняється залишати автоматичну сушарку без нагляду на тривалий час.

Волокниста пилюка та пух накопичуються на рухомих деталях, електродвигунах, системах керування та обладнанні. Волога пилюка може проводити електрику або виводити з ладу механізми, тому необхідно щоденно очищати обладнання, бажано стисненим повітрям.

Часті випадки загоряння виникають через накопичення ущільнених рослинних залишків. Тому важливо підтримувати чистоту навколишньої території та подавати в сушарку тільки очищене зерно. Ємності для сміття повинні знаходитись на відстані від повітрозабірників сушарки, щоб уникнути затягування пилу всередину і небезпечного розпилення.

Для сушіння сорго підходить більшість методів, які використовують для

інших зернових культур, однак необхідний дещо менший повітряний потік. Сушіння в ємності має бути глибоким та ефективним, оскільки зерно далі перероблятиметься. Вологість у шарах не повинна перевищувати:

- верхній шар - 25%,
- нижній - 40%.

Перед сушінням зерно потрібно рівномірно розподілити, або змішати з іншими зерновими, якщо вони використовуватимуться як корм.

Оптимальні температури для сушіння зерна сорго:

1. до 43 °C - для зерна, призначеного на насіння;
2. 49–60°C - для фуражного зерна в партіях у ємностях, для шару 0,75–1,2 м;
3. 71–93°C - для фуражного зерна у партіях або в безперервних потокових установках;
4. слід додати 6…12°C до температури зовнішнього повітря для глибоких шарів із високотемпературним сушінням під контролем таймера або гідростату.

Усі методи, рекомендовані для сушіння зерна, придатні і для сорго. Вологе сорго зазвичай не проростає швидко й може псуватися, однак досвід фермерів Індіани свідчить, що це не настільки критично. Щільні маси сорго обмежують доступ повітря, що іноді сприяє швидкому проростанню.

Рекомендації щодо вологого сорго:

1. слід дотримуватись обережності при витримуванні сорго в сушарці понад добу, особливо без належного досвіду. Перед новою партією старе зерно потрібно повністю видалити;
2. слід переконатись, що поточна вологість становить 23–25%, а температура зерна - 27…32°F;
3. слід розглянути можливість додаткової вентиляції накопичувальної ємності, якщо нічні температури на 6…12°C нижчі за денні, провітрювання буде дуже корисним.

Вологе сорго може бути покрите оболонкою зерна. Щоб отримати якісне, життєздатне зерно, його потрібно витримувати у герметичній тарі. Сухе сорго зберігається без особливих вимог - як звичайне зерно.

Під час зберігання дуже важлива належна циркуляція повітря, оскільки за тривалого перебування в ємності зерно може пріти й псуватися. Правила зберігання наступні:

- слід використовуйте рекомендований рівень повітряного потоку;
- варто контролювати вологість під час охолодження. Залежно від погодних умов регулюйте роботу системи. При підвищенні температури або вологості понад 22% потрібно контролювати стан зерна;
- якщо вологість менше 22% у холодному стані, слід прогрівати повітря на 5–10°C, роблячи кілька сеансів обдуву на годину.

Через підвищений опір повітряного потоку в сорго витрати на вентиляцію можуть бути меншими, ніж у випадку інших зернових.

Для успішного вирощування, сушіння та зберігання сорго потрібно дотримуватися базових правил безпеки, забезпечувати якісне очищення та контролювати вологість зерна на всіх етапах.

2.3. Обґрунтування конструкції мобільної сушарки зернового сорго

На початку роботи сушарки активується електрокалорифер разом із високотисковим вентилятором. Після нагрівання камери сушіння запускається завантажувальний шнек, який транспортує насіння сорго через норію до сушильної камери. Сушильна камера має кільцевидну форму з перфорованими стінками, через які видаляється відпрацьований сушильний агент. У процесі завантаження шнекові конвеєри працюють для заповнення приймального бункера сушильної камери.

У верхній частині камери розташований розподільчий елемент у формі

конуса, що забезпечує рівномірний розподіл зерна сорго по площі камери. В процесі сушіння насіння рухається вниз, перемішується й розпушується, що сприяє інтенсифікації сушильного процесу. Через зернові шари проходить сушильний агент, який забезпечує підсушування насіння. У нижній частині камери знаходиться перфороване днище, через яке насіння за допомогою вивантажувального шнека подається на вертикальну норію. Шнек піднімає зерно, яке після зміни напрямку спрямовуючого жолоба в протилежну сторону вивантажується назовні сушарки.

Система розподілення повітря працює наступним чином. Електрокалорифер нагріває атмосферне повітря до необхідних параметрів, перетворюючи його у сушильний агент. Потім цей агент подається відцентровими вентиляторами через дифузор і спеціальний "коридор" до сушильної камери. Проходячи крізь шари зерна, він видаляється через бокові отвори камери та виходить в атмосферу.

У сушарці застосовується принцип бокової подачі сушильного агента до сорго, що проходить процес сушіння. Це рішення дозволяє оптимізувати використання агенту для максимального ефекту.

Витрату сушильного агента регулюють за допомогою повітряної заслінки, а температура на вході до системи контролюється спеціальними температурними датчиками.

Мобільна сушарка є складною конструкцією, оснащеною автономними електроприводами для основних робочих механізмів. Далі розглянемо кінематичну схему цих механізмів.

Процес завантаження сушарки виконується за допомогою двох шнеків-завантажувачів. Шнеки мають діаметр 110 мм і крок гвинтової поверхні 250 мм. Привід кожного шнека включає електродвигун моделі 4А100L4У3 потужністю 1,1 кВт і швидкістю обертання 1500 об/хв. Крутний момент від двигуна передається через пружні втулково-пальцеві муфти на швидкохідний вал одноступінчатого редуктора.

Вертикальне транспортування зерна сорго забезпечується норією. Для

рівномірного розподілу зерна в камері сушіння та його правильного переміщення використовується конусоподібний розподільник. Під час сушіння зерно перемішується самопливом і направляється до зони вивантаження.

Вивантажувальний пристрій представлено транспортуючим шнеком. Його привід здійснюється від електродвигуна потужністю 2,2 кВт із частотою обертання 1000 об/хв. Крутний момент передається з двигуна через пружну втулково-пальцеву муфту на швидкохідний вал редуктора конічно-циліндричного типу.

Сушарка призначена для обробки зернових культур та інших сипучих сільськогосподарських продуктів. Вона є комплексним механізмом, який складається з кількох вузлів, що функціонують у тісному взаємозв'язку.

Ключовим компонентом сушарки є камери сушіння. Сухе зерно вивантажується самопливом по скатних поверхнях, розташованих у кінці зони сушіння. Потім воно надходить до горизонтального вивантажувального шнека, далі - до вертикального шнека, яким піднімається вгору. Зерно направляється до спрямовуючого жолоба із можливістю повороту, після чого вивантажується назовні.

Контроль технологічного процесу та управління сушаркою виконує оператор із пульта керування за участі двох робітників.

Розташування вузлів та конструкція механізмів забезпечують зручний доступ для монтажу, експлуатації й обслуговування. Усі рухомі й обертові частини сушарки обладнані кожухами та огородженнями, що гарантують безпеку для персоналу. Зони, які потребують постійного візуального контролю під час зміни, мають легкознімні захисні елементи, що спрощує їх обслуговування.

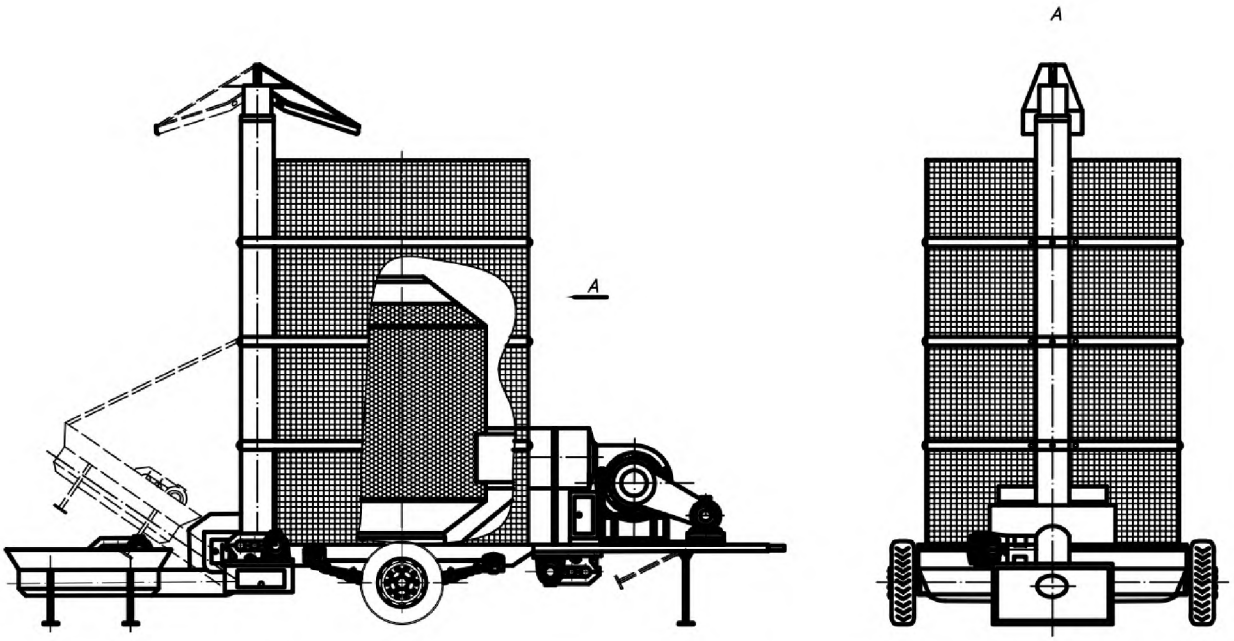


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд мобільної зерносушарки для сорго

2.4. Проектування шнекового заванатажувача сушарки сорго

Шнекові транспортери використовуються для транспортування сипких продуктів, зокрема зерна, в різних напрямках: горизонтальному, вертикальному та похилому. Вони також ефективні для переміщення будь-яких інших сипких матеріалів.

У проектованих транспортерах застосовуються витки, які не мають форму секторів, а виготовлені у вигляді суцільної навивки із смуги товщиною 3 мм. Це значно підвищує ефективність роботи пристрою.

Використання зовнішніх труб додатково покращує функціональність шнекового транспортера.

Під час проектування шнекового транспортера для завантаження сушарки взято за основу завантажувальні зернові шнеки типу FP 150, розроблені ПП «Технік» у 1993 році (рис. 2.5).

Рисунок 2.5- Зерновий шнек типу FP 150 ПП «Технік»

Основними даними для розробки шнекового завантажувача є:

- довжина транспортування зерна - 2м;
- частота обертання валу – 280 об/хв.;
- орієнтовна потужність приводу – 1,5 кВт;
- орієнтовна продуктивність - 17 м^3/год;
- кут підйому зерна – 45^0;
- діаметр шнека – 115 мм;
- крок спіралі – 250 мм.

У якості розрахункових такі параметри шнека:

1) діаметр зовнішній $d_1 = 115$ мм;

2) внутрішній діаметр (труби) $d_1 = 50$ мм.

Об'ємна продуктивність становить шнека [15]:

$$V = \pi\left(d_1^2 - d_2^2\right)\frac{n \cdot t \cdot c_i}{4}, \qquad (2.1)$$

де n - частота обертання валового шнека, об/с;

c_i - коефіцієнт заповнення шнека, $c_i = 0,3...0,5$.

$n = 280$ об/хв. = $4,7$ об/с.

Тоді

$$V = 3,14\left(0,115^2 - 0,050^2\right)\frac{4,7 \cdot 0,250 \cdot 0,5}{4} = 0,005 \text{ м}^3/\text{с}=18 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Зовнішній діаметр шнека обраховується за формулою [15]:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{Q}{450 \cdot k_n \cdot k_p \cdot \rho \cdot \omega}}, \tag{3.2}$$

де Q - продуктивність конвеєра, т/год;

k_n - коефіцієнт продуктивності, $k_n = 0,61...1,0$;

k_p - коефіцієнт відношення кроку гвинта до його діаметра;

ρ - густина матеріалу, що завантажується (для зерна сорго, пшениці, жита, ячменю і кукурудзи $\rho = 650...810$ кг/м^3);

ω - кутова швидкість обертання вала гвинта, с$^{-1}$.

Тоді матимемо

$$Q = V \cdot \rho,$$

або ж

$$Q = 18 \cdot 810 = 14580 \text{ кг/год}=14,6 \text{ т/год}.$$

$$k_p = \frac{250}{115} = 2,1$$

і

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{14,6}{450 \cdot 0,7 \cdot 2,1 \cdot 810 \cdot 28}} = 0,010м = 100мм$$

Розрахунковий діаметр гвинта встановлюється з урахуванням діаметра валу d_2

$$d_1' = \sqrt{d_1^2 + d_2^2}.$$

$$d_1' = \sqrt{100^2 + 50^2} = 112мм$$

Потужність на приводі конвеєра гвинтового у кВт [15]:

$$N = \frac{T \cdot n_ф}{9550}, \tag{2.3}$$

де T – крутний момент на валу гвинта, Нм;

$n_ф$ - фактична частота обертання валу шнека (залежно від виду зернового матеріалу), об/хв.

$$T = k \cdot T_1 + T_2, \tag{2.4}$$

де $k = 1{,}1 \ldots 1{,}2$ для зерна та колосся.

T_1, T_2 - крутний момент на валу гвинта зумовлений опором, що виникає при переміщенні матеріалу по жолобу, тертям матеріалу об гвинт, а також опором у підшипниках, виражений у ньютон-метрах.

$$T_1 = 0{,}5 d_{cp} \cdot F_a \cdot tg\left(\phi + \psi\right), \tag{2.5}$$

де $d_{cp} \approx d_1$;

F_a - осьова сила, що діє на гвинту, Н;

ϕ - кут тертя вантажу.

Згідно [15]

$$\psi = arctg\left(\frac{t}{\pi \cdot d_{cp}}\right), \tag{2.6}$$

$$F_a = g_в \cdot L \cdot \left(\sin\beta + f \cdot \cos\beta\right), \tag{2.7}$$

де $g_â$ - вага вантажу, що припадає на 1м довжини конвеєра, кг/м;

L - довжина конвеєра, м;

β - кут нахилу конвеєра, град;

f - коефіцієнт тертя матеріалу поверхнею жолоба ($f = tg\phi$).

$$g_в = 250 \cdot \pi \cdot \left(d_1^2 - d_2^2\right) \cdot c_i \cdot c_\beta \cdot \gamma, \tag{2.8}$$

де c_β - коефіцієнт, який враховує кут нахилу жолоба шнека до горизонту (при $\beta = 45^\circ \;\; c_\beta = 0{,}5$);

γ - об'ємна вага вантажу (для зерна $\gamma = 6{,}4 \ldots 7{,}9$ кн./м^3[15]).

Також,

$$T_2 = F_a \cdot f_1 \frac{d_{cp}}{2} + F_r \cdot f_1 \frac{d_2}{2}, \tag{2.9}$$

де f_1 - коефіцієнт тертя підшипника;

F_r - радіальна сила, що діє на гвинт, Н.

$$F_r = \sqrt{\left(G_в \cdot \cos\beta\right)^2 + F^2}, \qquad (2.10)$$

де $G_в = g_в \cdot L$ - вага гвинта з вантажем, Н;

$F = \dfrac{2T_1}{d_{ср}}$ - колова сила на гвинті, Н.

Підставляючи розрахункові дані, матимемо:

$$g_в = 250 \cdot 3{,}14 \cdot \left(0{,}110^2 - 0{,}050^2\right) \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 7{,}9 = 14{,}9 \text{ кг/м}.$$

Остаточно приймаємо $f = 0{,}5$, тоді $\phi = arctg\left(f\right) = 0{,}46$.

$$F_a = 14{,}9 \cdot 2{,}0 \cdot \left(\sin 45^o + 0{,}5 \cdot \cos 45^o\right) = 31{,}4H.$$

$$\psi = arctg\left(\frac{0{,}25}{3{,}14 \cdot 0{,}11}\right) = 0{,}62.$$

$$T_1 = 0{,}5 \cdot 0{,}110 \cdot 31{,}4 \cdot tg\left(0{,}46 + 0{,}62\right) = 1{,}4 \text{ Нм}.$$

$$F = \frac{2 \cdot 1{,}4}{0{,}110} = 25{,}5 \text{ Нм}.$$

$$G_в = 14{,}9 \cdot 2{,}0 = 29{,}8 \text{ Н}.$$

$$F_r = \sqrt{\left(29{,}8 \cdot \cos 45^\circ\right)^2 + 25{,}5^2} = 33{,}1 \text{ Н}.$$

$$T_2 = 31{,}4 \cdot 0{,}2\frac{0{,}11}{2} + 33{,}1 \cdot 0{,}2\frac{0{,}05}{2} = 0{,}52 \text{ Нм}.$$

Отже, остаточно крутний момент:

$$T = 1{,}2 \cdot 1{,}4_1 + 0{,}52 = 2{,}2 \text{ Нм}.$$

Споживана шнекова потужність буде:

$$N = \frac{2{,}2 \cdot 280}{9550} 0{,}06 \text{ кВт}.$$

Беручи до уваги коефіцієнт використання привода (ККД) та розрахункову потужність шнекового завантажувального пристрою, яка становить N = 1 кВт,

обираємо асинхронний електродвигун моделі 4А71В2У3. Він має частоту обертання n = 1500 об/хв і номінальну потужність N = 1,1 кВт.

2.5 Висновки до розділу 2

1. Виконано аналіз основ теорії сушіння сільськогосподарських культур, розглянуто статику та кінетику процесу видалення вологи конвективним способом.
2. На основі літературних джерел проаналізовано особливості сушіння сорго зернового конвективним способом.
3. Запропоновано схему сушіння та конструкцію мобільної сушарки для зернового сорго.
4. Виконано проектування системи шнекового завантажуючого і вивантажуючого механізму зернового сорго з камери сушіння сушарки.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Схема і методика проведення досліджень

Дисертаційна робота виконана відповідно до програми НДР «Наукові основи технології вирощування сільськогосподарських культур і лікарських рослин».

Досліди закладалися і проводилися відповідно до методичних вказівок Б.А. Доспєхова [1985, 1987], методики дослідних робіт на сінокосах і пасовищах ВНІІК ім. В.Р. Вільямса [1987], державної комісії з сортовипробування сільськогосподарських культур [1983], ВАСГНІЛ [1989].

За загальноприйнятими методиками проводили такі дослідження: фенологічні спостереження; посівні якості; підрахунок густоти стояння рослин; висоти рослин; показників фотосинтетичної діяльності; ботанічного складу та засміченості посівів; урожайності зеленої маси та її хімічного складу.

Досліди з вивчення прийомів вирощування сорго на зелену масу в умовах південної лісостепу Республіки Башкортостан проводили за такою схемою.

Рисунок 3.1 – Ділянка посіву сорго

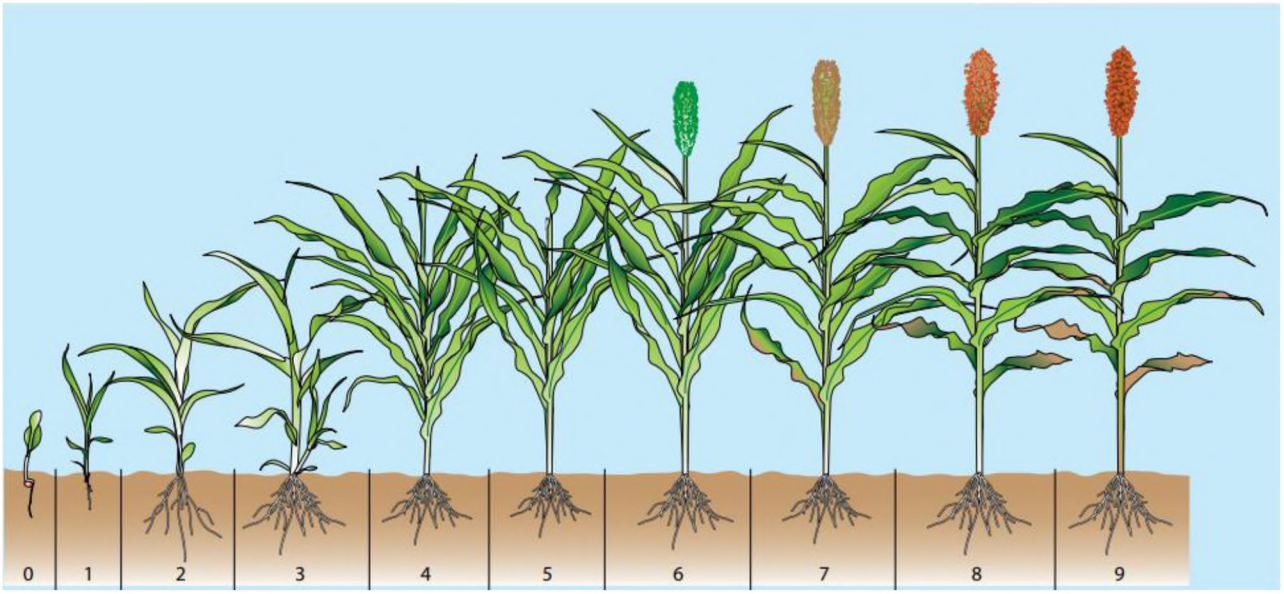


Рисунок 3.2 – Етапи вегетації сорго

Дослід 1. Вплив строків сівби та видів сорго на урожай зеленої маси (польовий, двофакторний).

Фактор А – строк сівби: А1 – 15 травня, А2 – 25 травня, А3 – 5 червня.

Фактор В – сорти сорго:В1 – сорго-суданковий гібрид, сорт Чишминський 84;

В2 – цукрове сорго, сорт Севілья;

В3 – зернове сорго, сорт Сатурн.

Площа ділянки – 150 м², облікова площа – 100 м², трикратна повторність.

Дослід 2. Вплив розрахункових доз внесення мінеральних добрив на плановану урожайність зеленої маси цукрового сорго, сорт Севілья (польовий, однофакторний).

Фактор А – фон удобрення: А1 – без добрив; А2 – N56P24K26;А3 – N84P36K39. Площа ділянки – 108 м², облікова площа – 50 м², трикратна повторність.

Досліди закладено згідно з загальноприйнятими вимогами методики дослідної справи [16,17]. Агрохімічний аналіз ґрунту проводився за загальноприйнятими методиками [16,17]: обмінний калій та рухомий фосфор гумус; обмінна кислотність (pH у сольовій витяжці); гідролітична; ступінь насичення ґрунтів основами – розрахунковим методом [17].

Аналіз водно-фізичних властивостей ґрунту: вологість ґрунту, температура ґрунту [16].

Аналіз насіння: схожість і енергія проростання – ДСТУ 4138-2002; чистота – ДСТУ 4138-2002; маса 1000 насінин [17]. Фактична норма висіву, структура врожаю – за методичними вказівками [18]. Засміченість посівів – кількісно-ваговим методом [19]. Визначення хімічного складу сухої речовини: азот, фосфор, калій [18-19].

Достовірність різниці між варіантами визначали методом дисперсійного аналізу, наявність і тісноту зв'язку – методом кореляційного аналізу за методою Доспєхова Б.А. [18-19].

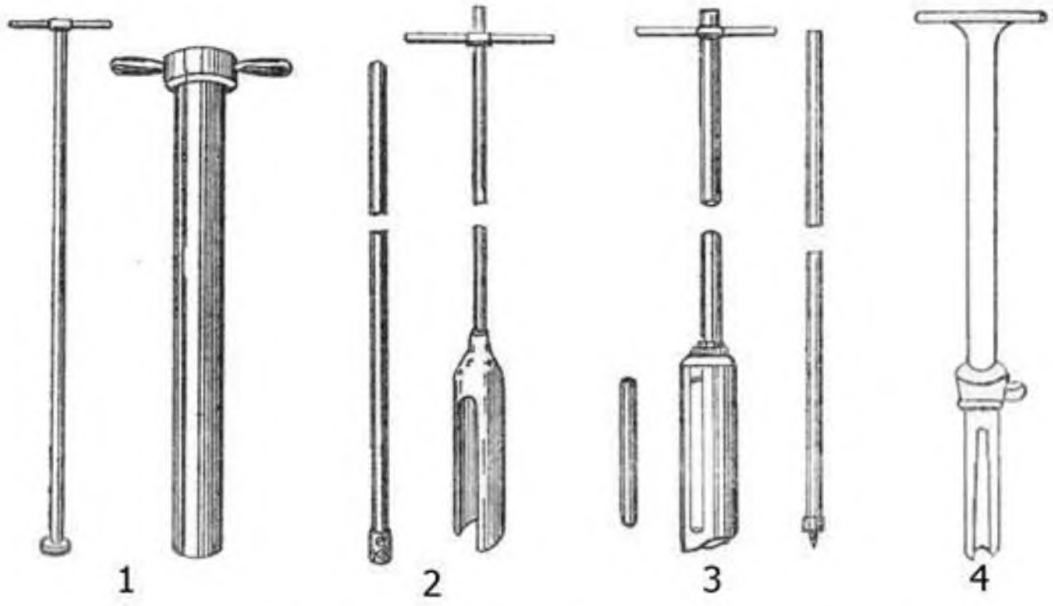


Рисунок 3.2 - Рис. 1.1. Види бурів для взяття проб ґрунту:
1 – бур Качинського, 2 – бур Ізмаїльського, 3 – бур Некрасова,
4 – бур БН 25-15

Рисунок 3.3 - Відбір проб ґрунту лопатою

Рисунок 3.4 - Відбір проб ґрунту за допомогою буру

Рисунок 3.5 - Підготовка ґрунту до агрохімічного аналізу

3.2. Агротехніка в дослідах

Дослідження проводилися в кліматичних умовах Західного Полісся на дослідних полях у п'ятипільній зернопаровій сівозміні. Попередником була озима пшениця.

Підготовка ґрунту включала дискування на глибину 10–15 см (БДМ-4 у агрегаті з Т-150). Далі проводили зяблеву оранку плугом ПЛН-4-35 (МТЗ-1221) на глибину 21–23 см.

Навесні після фізичної стиглості ґрунту проводили закриття вологи боронами БЗТС-1,0 у два сліди. Перед боронуванням вносили мінеральні добрива відповідно до схеми досліду (РМУ-5, МТЗ-80).

Для боротьби з бур'янами та додаткового вирівнювання ґрунту перед сівбою проводили дві культивації. Перша – культиватором КПС-4 (МТЗ-80) на 8–10 см. Друга – у день сівби на глибину загортання насіння.

Посів соргових культур здійснювали сівалкою СН-1,8 на глибину 5–6 см. До та після сівби ділянки прикочували котками ЗККШ-6А.

Скошування зеленої маси проводили у фазі викидання волоті (КІР-1,5, МТЗ-80). Транспортування виконувалося транспортерами ПТС-4.

Для дослідів використовували сорти сорго, рекомендовані для українського ринку.

3.3 Методика польових спостережень

Польові спостереження проводили згідно з «Методикою державного сортовипробування сільськогосподарських культур» [18-20].

Польову схожість (%) визначали як відношення кількості сходів до кількості висіяних схожих насінин. Кількість сходів визначали шляхом підрахунку рослин на пробних майданчиках 0,33 м² (111 см у 2 рядках) у трьох місцях ділянки.

Фази розвитку визначали за методикою сортовипробування. Стиглість – за вологістю зерна та зовнішніми ознаками.

Біометричний аналіз проводили за загальноприйнятими методами: довжину листків і стебел вимірювали у фазі 5 листка та у фазі кущення; висоту рослин – за 25 рослинами на ділянці.

Структуру врожаю визначали за пробними снопами з площі 1 м².

3.4 Статистичний аналіз експериментальних даних

Для оцінки закономірностей застосовували математико-статистичні методи. Достовірність різниць між варіантами визначали дисперсійним аналізом. Графічний аналіз здійснювали в Excel. Коефіцієнт варіації визначали за формулою:

$$CV = \alpha / x,$$

де CV – коефіцієнт варіації;

α – середньоквадратичне відхилення;

x – середнє значення.

Для статистичного аналізу використовували Excel і STATISTICA 6.0.

3.5. Висновки до розділу 3

1. Для проведення експериментальних досліджень застосовувалось відоме та спеціально розроблене лабораторне обладнання;
2. Розроблено методику визначення фізико-механічних параметрів ґрунту та насіння сорго за для оптимізації технології його вирощування.

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Наші дослідження показали, що в умовах України оптимальним строком сівби для отримання найбільшого врожаю зеленої маси соргових культур є третя декада травня. Для формування максимальної зеленої маси доцільно вносити розрахункові дози мінеральних добрив відповідно до планованої урожайності.

Дослідження також показали, що повна доза мінеральних добрив забезпечувала найбільші врожаї зеленої маси і зерна цукрового сорго завдяки потужній листковій поверхні посівів. Різні види сорго формують неоднакову площу листя: цукрове сорго за всі роки досліджень розвивало більшу асиміляційну здатність, ніж зернове (у 1,4…1,5 рази).

4.1. Схожість і збереженість рослин сорго залежно від строків сівби

За результатами наших дослідів встановлено, що схожість насіння є визначальним фактором формування врожаю зеленої маси. За температури ґрунту на глибині 10 см вище +10°С найраніші строки сівби негативно позначалися на формуванні врожаю через повернення холодів, що нерідко спричиняло загибель рослин.

Встановлено, що найбільш сприятливі умови для проростання насіння і появи повноцінних сходів забезпечують посіви у третій декаді травня. Найвища польова схожість була відмічена у: цукрового сорго – 92,3%; зернового – 89,7%; сорго-суданкового гібриду – 86,8% (табл. 3.1).

Збереженість рослин до збирання становила 90,3–98,2%.

Таблиця 4.1 - Схожість насіння та збереження рослин за період вегетації

Строк сівби	Види сорго	Польова схожість, %	Кількість рослин, шт/м²		Збереженість рослин, %
			сходи	перед збиранням	
15 травня	Чишминський 84	88,5	161	152	94,4
	Севілья	96,7	176	159	90,3
	Сатурн	91,8	167	152	91,0
25 травня	Чишминський 84	86,8	158	151	95,6
	Севілья	92,3	168	164	97,6
	Сатурн	89,7	163	160	98,2
5 червня	Чишминський 84	80,2	146	139	95,2
	Севілья	83,0	151	147	97,4
	Сатурн	79,1	144	134	93,1

4.2. Засміченість посівів сорго за різних строків сівби

Боротьба з бур'янами є одним із ключових резервів підвищення урожайності. Для сорго це особливо важливо, оскільки ранні посіви можуть пригнічуватися бур'янами після стресу від низьких температур.

У наших дослідах видове різноманіття бур'янів суттєво не змінювалося між строками сівби. Найменша засміченість відмічена у цукрового сорго сорту Севілья за другого строку сівби (табл. 4.2). Переважали однорічні бур'яни (11–13 шт./м²): марь біла, пікульник звичайний, метлюг звичайний, щириця загнута, підмаренник чіпкий, ромашка непахуча.

Також зустрічалися багаторічні (5–8 шт./м²): лапчатка сріблясta, цикорій звичайний, пирій повзучий, хвощ польовий, берізка польова, осот польовий, будяк польовий.

Найбільше зниження засміченості перед збиранням було на другому строку сівби у сорту Севілья: 6 однорічних і 1 багаторічний бур'ян на 1 м².

Таблиця 4.2 - Засміченість посівів сорго за строками сівби

Строк сівби	Види сорго	Кількість бур'янів, шт./м²					
		По сходах			Перед збиранням		
		однорічні	багаторічні	всього	однорічні	багаторічні	всього
15 травня	Чишминський 84	13	7	20	9	4	13
	Севілья	13	6	19	9	3	13
	Сатурн	12	6	18	9	4	12
25 травня	Чишминський 84	12	8	20	5	3	12
	Севілья	11	8	19	6	1	11
	Сатурн	11	5	16	5	2	11
5 червня	Чишминський 84	13	8	21	9	5	13
	Севілья	12	6	18	8	3	12
	Сатурн	12	7	19	8	5	12

4.3. Площа листкової поверхні сорго залежно від строків сівби

Площа листкової поверхні є одним із найдинамічніших показників росту та розвитку. За недостатньої площі листя сонячна радіація поглинається неповно, що знижує величину ФАР.

Найбільшу площу листкової поверхні (36,4–42,5 тис. м²/га) сформували рослини при сівбі у третій декаді травня.

У цілому, показник коливався: від 32,4 тис. м²/га (сорго-суданковий гібрид, 15травня) до 42,5 тис. м²/га (цукрове сорго Севілья, 25 травня).

За сівби 5 червня площа листя скорочувалася через зменшення тривалості вегетації.

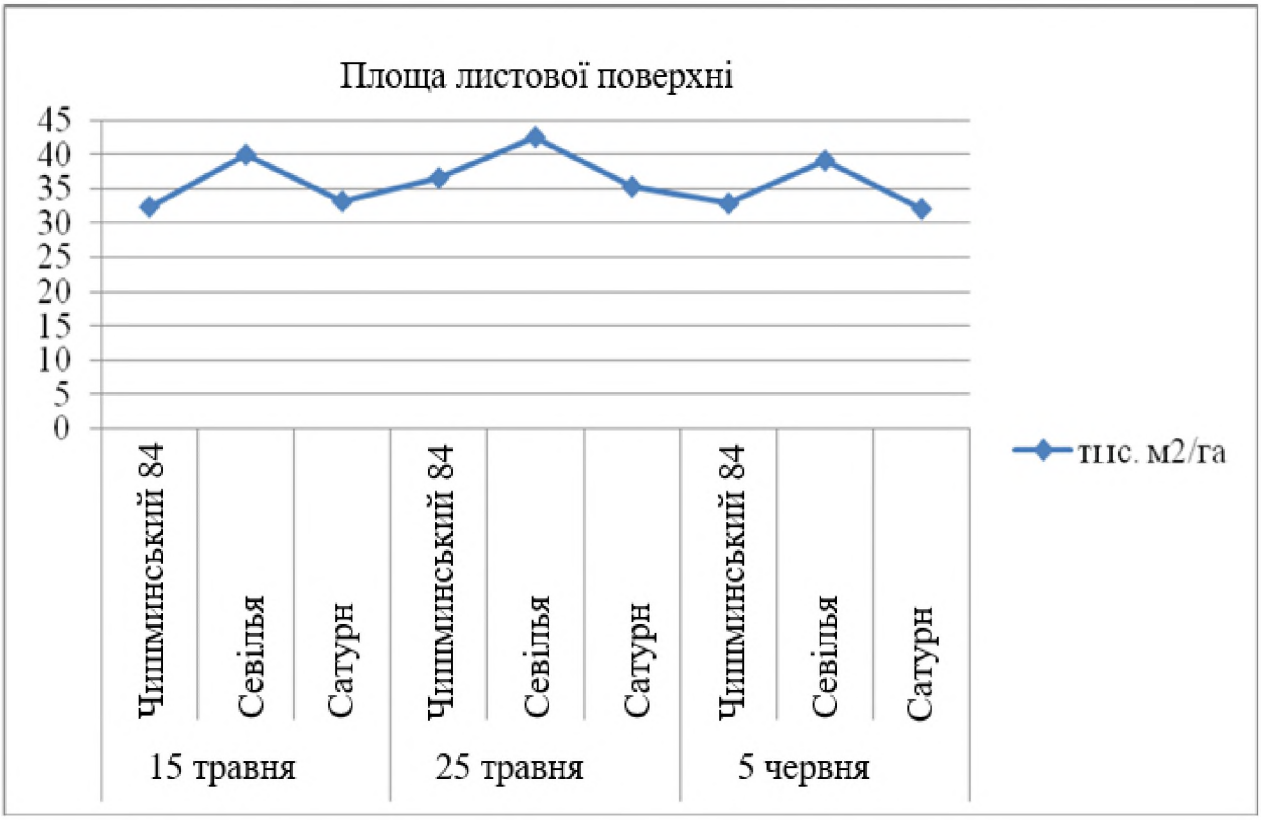


Рисунок 4.1 - Площа листової поверхні соргових культур за термінами посіву

4.4. Урожайність і якість зеленої маси за строками сівби

Урожай і його якість взаємопов'язані. Часто умови сприяють формуванню великої маси, але не забезпечують достатнього накопичення поживних речовин.

За даними табл. 4.3, найбільша урожайність зеленої маси формувалася у всіх видів сорго за другого строку сівби.

Урожайність варіювала: від 23,10 т/га (зернове сорго Сатурн, 5 червня) до 27,53 т/га (цукрове сорго Севілья, 25 травня).

Зі збільшенням урожайності відповідно зростав і вихід кормових одиниць.

Встановлено, що порівнювані культури сорго суттєво відрізнялися за темпами зростання та розвитку: сорго-суданковий гібрид характеризувався більш інтенсивним зростанням у першу половину вегетації і досягав збиральної

стиглості на зелений корм у третій декаді липня, сорго цукрове та сорго зернове забезпечили інтенсивне зростання у другій половині вегетації.

Дані культури найбільш ефективно використовували опади у липні-серпні. місяцях. Збиральної стиглості досліджувані культури досягали у II-III декадах серпня. Найбільша врожайність зеленої маси сформувалася у всіх видів сорго другого терміну посіву. Врожайність зеленої маси досліджуваних видів сорго загалом варіювалася від 23,10 т/га рослин зернового сорго сорту Сатурн при посіві 5 червня до 27,53 т/га (сорту Севілья – другі терміни посіву). Зі збільшенням урожайності вихід кормових одиниць з 1 га збільшується.

Таблиця 4.3 - Урожайність і якість зеленої маси сорго за строками сівби

Строк сівби	Види сорго	Урожайність, т/га	Кормові одиниці, т/га	Протеїн	
				Збір протеїну, т/га	Забезпеченість, г/корм. од.
15 травня	Чишминський 84	23,7	5,38	0,51	78
	Севілья	24,2	5,75	0,55	81
	Сатурн	24,0	4,96	0,47	70
25 травня	Чишминський 84	24,0	5,62	0,53	79
	Севілья	27,5	6,53	0,62	92
	Сатурн	26,2	5,42	0,51	76
5 червня	Чишминський 84	23,7	5,55	0,52	78
	Севілья	23,6	5,60	0,53	79
	Сатурн	23,1	4,78	0,45	67

4.5. Вплив розрахункових доз мінеральних добрив на урожайність і якість зеленої маси цукрового сорго сорту Севілья

Внесення мінеральних добрив забезпечує активний ріст рослин сорго. Найбільшу площу листкової поверхні формували рослини сорту Севілья за внесення розрахункової дози на плановану урожайність 60 т/га (N84P36K39).

Табл. 4.4 демонструє, що збільшення дози добрив підвищувало фотосинтетичний потенціал на всіх фазах розвитку від кущення до молочно-воскової стиглості.

Елементи живлення не лише збільшували врожайність зеленої маси, а й покращували її якість, що пов'язано з інтенсивним синтезом органічних речовин у процесі фотосинтезу.

Таблиця 4.4 – Вплив доз мінеральних добрив на фотосинтетичний потенціал сорго, тис. $м^2$/га

Фон живлення	Кущення	Трубкування	Викидання волоті	Цвітіння	Молочно-воскова стиглість
Без добрив	17,0	31,0	42,0	58,0	45,0
N56P24K26	20,0	34,0	56,0	73,0	69,0
N84P36K39	23,0	36,0	59,0	75,0	72,0

4.6. Висновки до розділу 4.

1. Видовий склад та ступінь засміченості посівів за строками посіву та видів сорго особливо не відрізнялося. На посівах переважали малолітні (11-13шт./$м^2$) та багаторічні (5-8 шт./$м^2$) бур'яни. Найбільше зниження засміченості відзначалося на посівах цукрового сорго сорту Севілья перед збиранням у другий термін

посіву: малолітні – 6 шт./м^2, багаторічні –1 шт./м^2. Це пов'язано з формуванням найбільшої площі листя (42,5 тис. м^2/га) з інтенсивним зростанням та розвитком рослин (27,53 т/га зеленої маси).

2. Збиральна стиглість досліджуваних соргових культур досягали зі другий декади серпня. Врожайність зеленої маси досліджуваних видів сорго в цілому варіювалася від 23,10 т/га у рослин зернового сорго сорту Сатурн при сівбі 5 червня до 27,53 т/га (сорт Севілья другі терміни посіву).

3. Строки посіву соргових культур не лише впливали на формування врожайності зеленої маси, а також її якості: вихід кормових одиниць з 1 га варіювався від 4,78т у сорту Сатурн у третій термін посіву до 6,53 т у сорту Севілья у другі терміни посіву.

4. Найбільша площа листової поверхні рослин цукрового сорго сорту Севілья сформувалася на рівні 72,0 тис. м^2/га у розрахунку доз добрив на заплановану врожайність зеленої маси 60 т/га (N84P36K39). Інтенсивність використання ФАР збільшилася від 1,44 до 2,00 разів.

5. Внесення розрахункових доз мінеральних добрив за запланованою врожайність зеленої маси збільшили збирання сухої речовини в порівнянні з контролем від 140 до 202%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі проведеного дослідження щодо теми магістерської роботи можна зробити ряд висновків:

1. Сорго є однією з найбільш посухостійких культур для умов України. У зв'язку зі змінами клімату, частішими посухами та нерівномірними опадами сорго забезпечує стабільніші врожаї порівняно з традиційними зерновими, особливо в південних і центральних регіонах.

2. Культура добре адаптується до різних ґрунтово-кліматичних умов. Сорго придатне для вирощування практично в усіх областях України, включно з регіонами ризикованого землеробства, де кукурудза чи соняшник часто не дають очікуваного результату.

3. Висока економічна ефективність. Сорго потребує менше добрив, води та засобів захисту, ніж багато інших культур. Це знижує собівартість вирощування та підвищує рентабельність, особливо на малопродуктивних землях.

4. Універсальність напрямів використання. В Україні перспективними є: зернове сорго (кормові та харчові цілі), цукрове сорго (біоетанол, силос), трав'янисте сорго (корм), технічні підвиди. Це розширює можливості для фермерів і переробників.

5. Зростає інтерес до сорго в умовах ринку. Підвищений попит на корми, альтернативні культури та енергоносії робить сорго стратегічно важливим для аграрного сектору. Також відкриваються нові експортні ніші.

6. Сорго позитивно вписується в сівозміни. Культура є добрим попередником для багатьох інших рослин, зменшує тиск бур'янів та хвороб, а також сприяє раціональному використанню земель.

7. Виконано аналіз основ теорії сушіння сільськогосподарських культур, розглянуто статику та кінетику процесу видалення вологи конвекстивним способом. На основі літературних джерел проаналізовано особливості сушіння сорго зернового конвективним способом.

8. Запропоновано схему сушіння та конструкцію мобільної сушарки для зернового сорго. Виконано проектування системи шнекового завантажуючого і вивантажуючого механізму зернового сорго з камери сушіння сушарки.

9. Для проведення експериментальних досліджень застосовувалось відоме та спеціально розроблене лабораторне обладнання. Розроблено методику визначення фізико-механічних параметрів ґрунту та насіння сорго за для оптимізації технології його вирощування.

10. Видовий склад та ступінь засміченості посівів за строками посіву та видів сорго особливо не відрізнялося. На посівах переважали малолітні (11-13шт./м^2) та багаторічні (5-8 шт./м^2) бур'яни. Найбільше зниження засміченості відзначалося на посівах цукрового сорго сорту Севілья перед збиранням у другий термін посіву: малолітні – 6 шт./м^2, багаторічні –1 шт./м^2. Це пов'язано з формуванням найбільшої площі листя (42,5 тис. м^2/га) з інтенсивним зростанням та розвитком рослин (27,53 т/га зеленої маси).

11. Збиральна стиглість досліджуваних соргових культур досягали зі другий декади серпня. Врожайність зеленої маси досліджуваних видів сорго в цілому варіювалася від 23,10 т/га у рослин зернового сорго сорту Сатурн при сівбі 5 червня до 27,53 т/га (сорт Севілья другі терміни посіву).

12. Строки посіву соргових культур не лише впливали на формування врожайності зеленої маси, а також її якості: вихід кормових одиниць з 1 га варіювався від 4,78т у сорту Сатурн у третій термін посіву до 6,53 т у сорту Севілья у другі терміни посіву.

13. Найбільша площа листової поверхні рослин цукрового сорго сорту Севілья сформувалася на рівні 72,0 тис. м^2/га у розрахунку доз добрив на заплановану врожайність зеленої маси 60 т/га (N84P36K39). Інтенсивність використання ФАР збільшилася від 1,44 до 2,00 разів.

14. Внесення розрахункових доз мінеральних добрив за запланованою врожайність зеленої маси збільшили збирання сухої речовини в порівнянні з контролем від 140 до 202%.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. «Технологія вирощування сорго (зернове)» - навчальний матеріал (лекція, методичні вказівки). Коротко: правила обробітку ґрунту, строки сівби, удобрення, захист рослин. URL: https://bio.gov.ua/sites/default/files/documentation/03_lekcyya_sorgo_zernove_pravdyva_1.pdf?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 03.12.2025).

2.«Сучасні тенденції вирощування сорго в Україні» (TNV-Agro, PDF) - аналіз динаміки площ і врожайності сорго в Україні, регіональні особливості URL: https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/134_2023/2.pdf?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 13.12.2025).

3.«Основні елементи технології вирощування сорго» - практичні поради (agronom.com.ua) - агротехнічні прийоми: посів, норми висіву, догляд. URL: https://www.agronom.com.ua/osnovni-elementy-tehnologiyi-vyroshhuvannya-sorgo/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 05.12.2025).

4.«Вирощування сорго зернового на кислих ґрунтах» - практикум/стаття (NDIPVT / збірник) - результати досліджень, рекомендації по удобренню й антиацидному коригуванню. URL: https://www.ndipvt.com.ua/Zbyrnyk/Edition34_48/St34_48_16.pdf?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 06.12.2025).

5.Олекшій Л. М. - «Елементи технології вирощування сорго...» (стаття у фаховому журналі) - технологічні елементи, можливості використання сорго для біоенергетики. URL: https://phzt-journal.isgkr.com.ua/ua-68-1/11.pdf?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 13.12.2025).

6. Гирка А. Д. «Особливості росту і розвитку сорго зернового сорту …» (аграрні дослідження) - прикладні дослідження щодо живлення та формування продуктивності в умовах північного Степу.

7. ACIAR - “Sorghum production guide” (Australian Centre for International Agricultural Research / country guides) - практичний посібник з агротехніки сорго в тропічних/субтропічних умовах.
URL:https://www.aciar.gov.au/sites/default/files/legacy/sorghum_169_lr.pdf?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 03.12.2025).

8. Kansas State University - “Grain Sorghum Production Handbook (C687)” - детальний практичний посібник для механізованого вирощування зернового сорго (плантації, живлення, захист, технології збирання). URL: https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/grain-sorghum-production-handbook_C687.pdf?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 03.12.2025).

9. ICRISAT / IAR тощо - “Handbook on Sorghum Production” / регіональні видання (PDF) - регіональні практичні довідники для маленьких фермерів і розширених господарств. URL: https://oar.icrisat.org/11531/1/Handbook%20on%20Sorghum%20production%20for%20NE%20printed%20version.pdf?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 9.12.2025).

10. “Lost Crops of Africa: Volume I - Grains” (National Academies Press) - монографічний огляд сорго як харчової культури: походження, типи, агрономія, потенціал розвитку. URL: https://www.nationalacademies.org/read/2305/chapter/10 (дата звернення: 03.12.2025).

11. «Handbook on Sorghum Production» (універсальний навчальний/тренінговий посібник, ResearchGate / Scribd доступні PDF-версії) - практичні модулі: посів, захист, зберігання, економіка виробництва. URL: https://www.researchgate.net/publication/349733998_Handbook_on_Sorghum_production?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 03.12.2025).

12. Global Sorghum & Millet small-holder production guidelines (recent small-holder guides / PDF) - стислі довідники для малого фермерства (посівні норми, ґрунт, добрива). URL: https://globalsorghumandmillet.com/wp-

content/uploads/2025/05/Small-Holder-Production-Guidelines-Tirfessa.pdf?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 01.12.2025).

13. В. Сидоренко, В. Малярчук. Вирощування сорго в Південному Степу // Журнал «Пропозиція», №6, 2020 р. URL: https://propozitsiya.com/articles/tekhnolohiyi-vyroshchuvannya/vyroshchuvannya-sorho-v-pivdennomu-stepu (дата звернення: 03.12.2025).

14. Макаров Л. Х. Соргові культури: монографія / Л. Х. Макаров. – Херсон: Айлант, 2006. – 263 с.

15. Конструкція, розрахунок і виробництво сільськогосподарських машин. Конспект лекцій для студентів спеціальності „Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва" машинобудівного факультету денної та заочної форм навчання –Цизь І.Є.-Луцьк : ЛНТУ, 2008.-140с.

16. Шейко В.М., Кушнаренко Н.М. Організація та методика науково-дослідницької діяльності. – К.: Знання- прес, 2002. – 295 с.

17. Ковальчук В.В., Моісєєв Л.М. Основи наукових досліджень. – Навчальний посібник. К.: Професіонал, 2007. – 239 с.

18. Єщенко В.О., Копитко П.Г., Опришко В.П., Бутило А.П., Костогриз П.В. Загальне землеробство. К.. 2004. С. 118-128.

19. Гордієнко В.П. і ін. Землеробство (навчальний посібник для вузів) К. 1991. С. 119-123.

20. Кротінов О.П. та ін. Лабораторно-практичні заняття по землеробству. К. 1993. С. 182-199.

ДОДАТКИ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СОРГО З УДОСКОНАЛЕННЯМ МЕХАНІЗМІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ-ВИВАНТАЖЕННЯ СУШАРКИ

Метою роботи є формування науково обґрунтованих прийомів обробітку зернового сорго та сорго на зелену масу для зниження енергетичних витрат прри його вирощуванні.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети досліджень вирішили наступні завдання, а саме:

- вивчити особливості зростання, розвитку та формування врожаю сорго залежно від прийомів обробітку;
- встановити терміни посіву та обґрунтувати дози внесення мінеральних добрив під урожай зеленої маси сорго;
- визначити оптимальні параметри післязбирального оброітку зернового сорго;
- сформувати висновки та рекомендації для вирощування сорго.

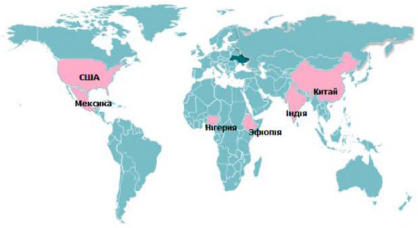
Об'єкт дослідження. Процес вирощування та післязбиральної обробки зернового сорго та сорго на зелену масу.

Предмет дослідження. Зерно сорго та механічні системи його післязбиральної обробки.

Наукова новизна одержаних результатів. Вдосконалено методику оцінки планової врожайності на фоні розрахункових доз мінеральних добрив для сорго сорту Севілья. Визначено оптимальні терміни посіву для соргових культур (сорго-суданкового гібрида Чишмінський 84, цукрове сорго Севілья, зернове сорго Сатурн. Сформовано методику енергозберігаючого сушіння та післязбиральної обробки зернового сорго.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами досліджень розроблена методика вирощування та післязбиральної обробки сорго. За результатами експерименту встановлено доцільність культивування даної культури в кліматичних умовах України.

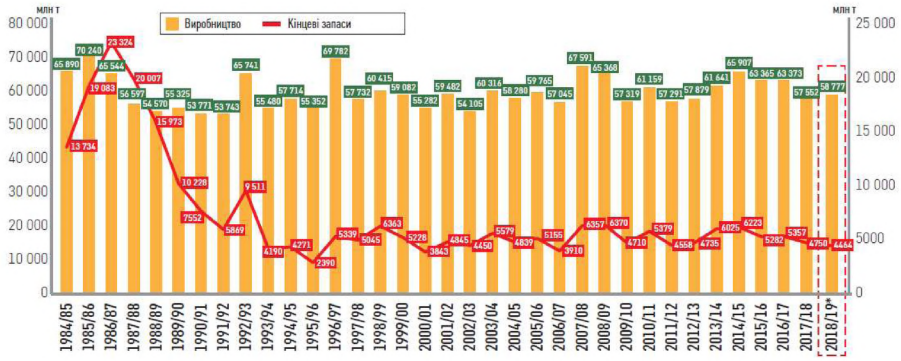
АГРОТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО



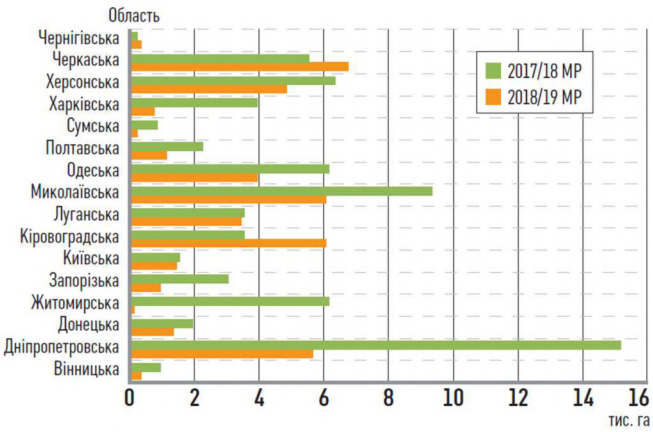
Вирощування та використання сорго у світі

Сорго

Зерно сорго



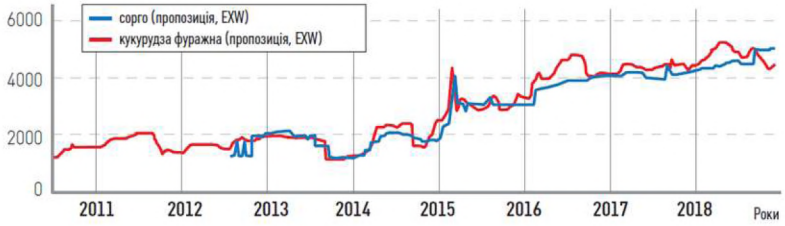
Світове виробництво та кінцеві запаси сорго протягом 1985-2019рр.



Динаміка посівних площ під сорго в Україні 2017-2019рр.

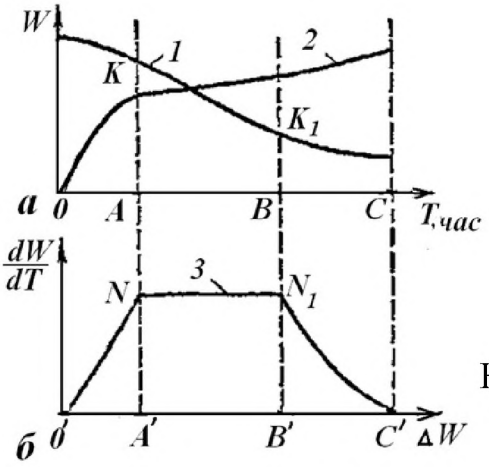
Розвиток сорго поділяється на 12 стадій органогенезу:

1. Проростання - 10–12 днів;
2. Сходи, утворення третього листка - 8–10 днів;
3–4. Кущіння та продовження кущіння - 12–14 днів на кожну стадію;
5–6. Вихід у трубку та його продовження - відповідно 12–14 і 5–7 днів;
7. Ріст стебла - 16–18 днів;
8. Викидання волоті - 5–7 днів;
9. Цвітіння - 4–7 днів;
10. Формування та початковий ріст зернівки - 12–14 днів;
11. Налив зернівки - 18–20 днів;
12. Воскова і повна стиглість - 10–12 днів.

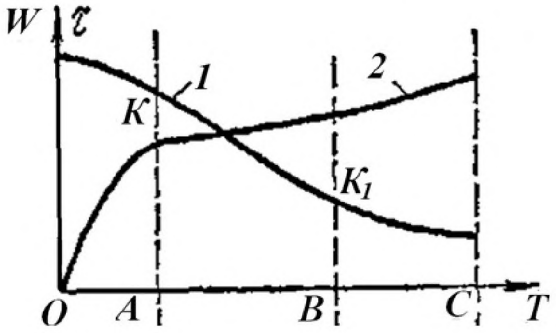


Ціни на сільгосппродукцію

ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

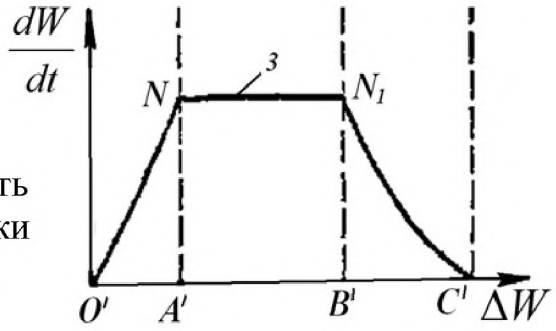


Криві процесу сушіння: 1 – зміна вологості зерна за час T; 2 – зміна температури зерна під час T



Криві процесу сушіння: 1 – зміна вологості зерна за час T;
2 – зміна температури зерна під час T

Допустима температура нагрівання залежить від вологості зерна і від тривалості витримки зерна в нагрітому стані. За С.Д. Птициним, вона розраховується за формулою:

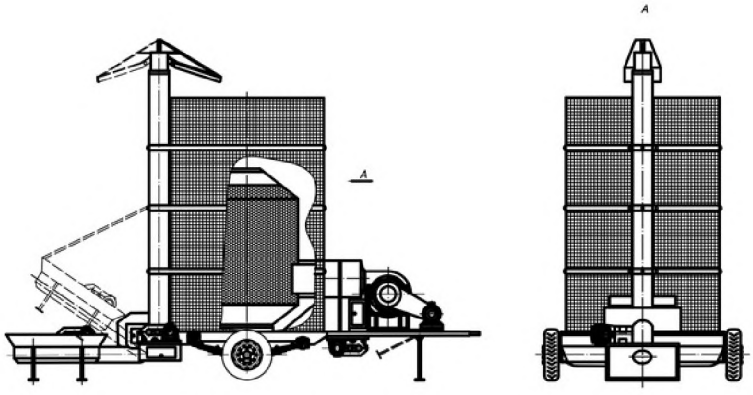


Крива швидкості сушіння зерна

$$\tau = \frac{2350}{0{,}37(100 - W) + W} + 20 - 10lgt$$

Дрипустима температура нагріву зерна

Оптимальні температури для сушіння зерна сорго:
- до 43 °С - для зерна, призначеного на насіння;
- 49–60°С - для фуражного зерна для шару 0,75–1,2 м;
- 71–93°С - для фуражного зерна у партіях або в безперервних потокових установках;



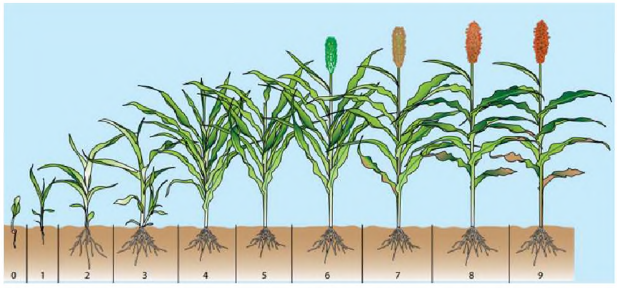
Загальний вигляд мобільної зерносушарки для сорго

Зерновий шнек типу FP 150 ПП «Технік»

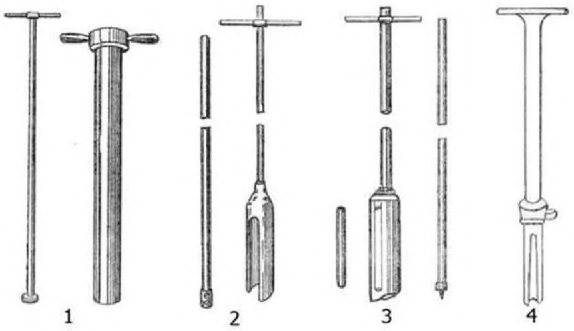
Беручи до уваги коефіцієнт використання привода (ККД) та розрахункову потужність шнекового завантажувального пристрою, яка становить N = 1 кВт, обираємо асинхронний електродвигун моделі 4А71В2У3. Він має частоту обертання n = 1500 об/хв і номінальну потужність N = 1,1 кВт.

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ділянка посіву сорго



Етапи вегетації сорго



Види бурів для взяття проб ґрунту:
1 – бур Качинського, 2 – бур Ізмаїльського,
3 – бур Некрасова, 4 – бур БН 25-15

Відбір проб ґрунту лопатою

Відбір проб ґрунту за допомогою буру

Підготовка ґрунту до агрохімічного аналізу

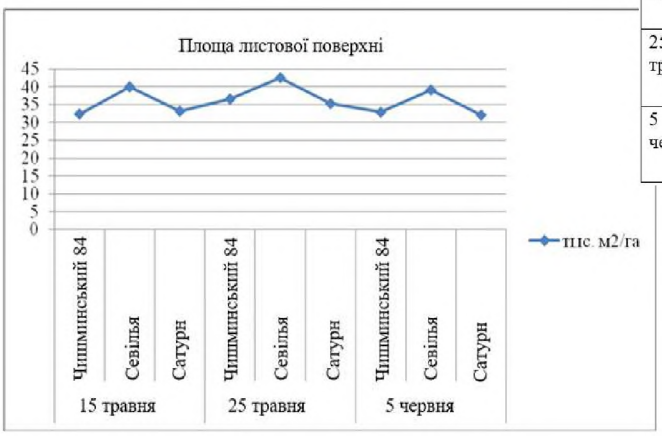
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Схожість насіння та збереження рослин за період вегетації

Строк сівби	Види сорго	Польова схожість, %	Кількість рослин, шт./м²		Збереженість рослин, %
			сходи	перед збиранням	
15 травня	Чишминський 84	88,5	161	152	94,4
	Севілья	96,7	176	159	90,3
	Сатурн	91,8	167	152	91,0
25 травня	Чишминський 84	86,8	158	151	95,6
	Севілья	92,3	168	164	97,6
	Сатурн	89,7	163	160	98,2
5 червня	Чишминський 84	80,2	146	139	95,2
	Севілья	83,0	151	147	97,4
	Сатурн	79,1	144	134	93,1

Засміченість посівів сорго за строками сівби

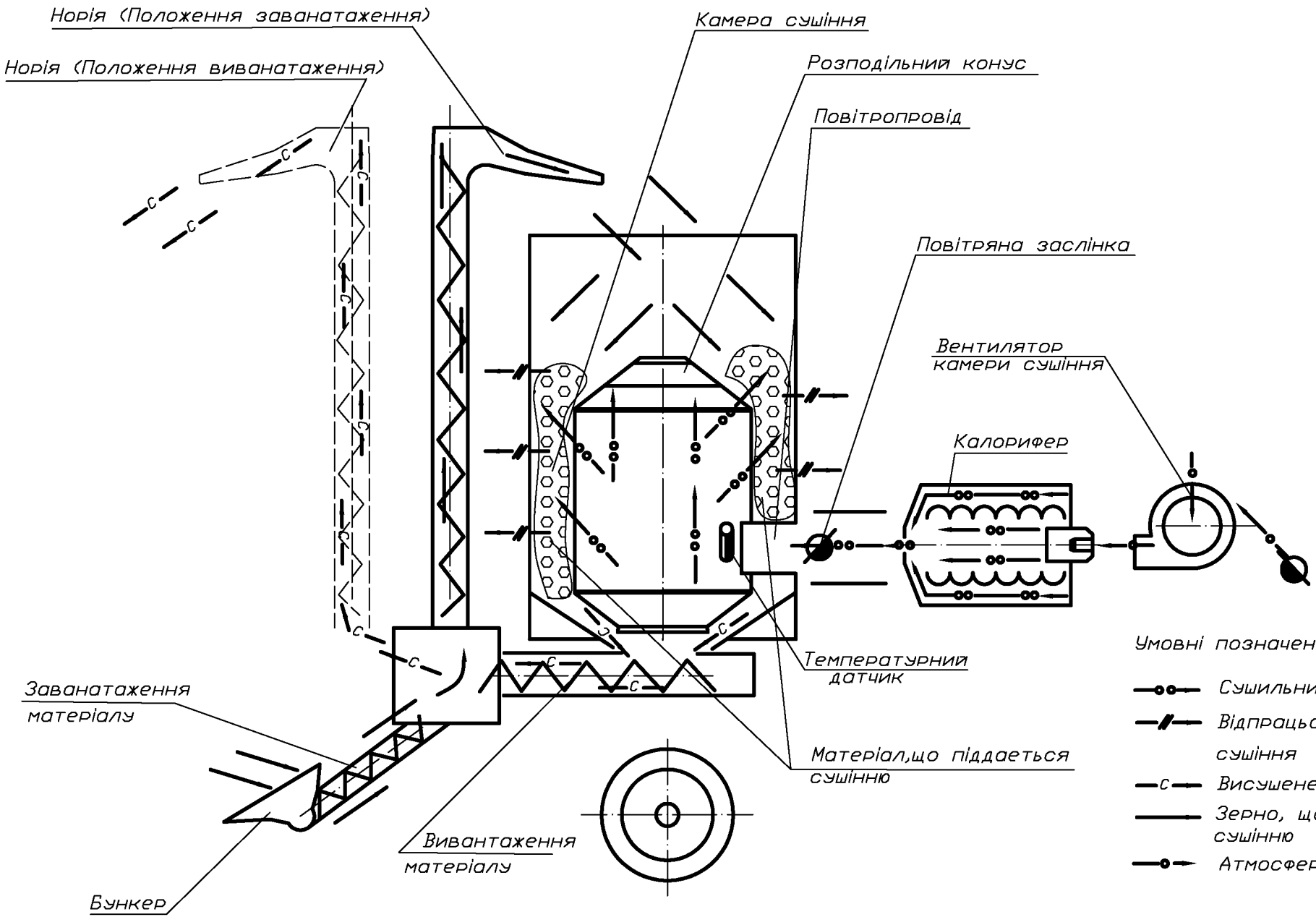
Строк сівби	Види сорго	Кількість бур'янів, шт./м²					
		По сходах			Перед збиранням		
		однорічні	багаторічні	всього	однорічні	багаторічні	всього
15 травня	Чишминський 84	13	7	20	9	4	13
	Севілья	13	6	19	9	3	13
	Сатурн	12	6	18	9	4	12
25 травня	Чишминський 84	12	8	20	5	3	12
	Севілья	11	8	19	6	1	11
	Сатурн	11	5	16	5	2	11
5 червня	Чишминський 84	13	8	21	9	5	13
	Севілья	12	6	18	8	3	12
	Сатурн	12	7	19	8	5	12



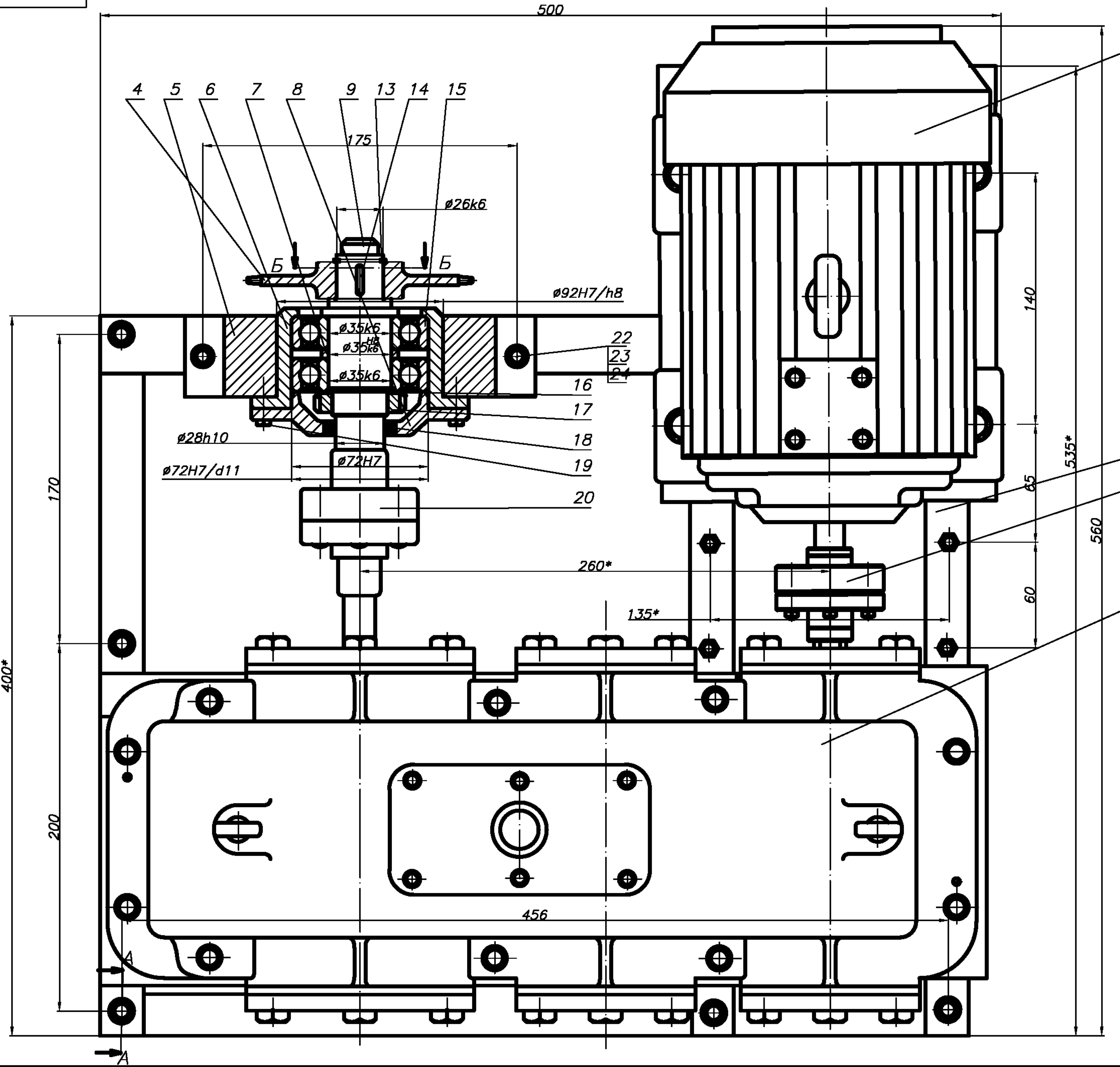
Площа листової поверхні соргових культур за термінами посіву

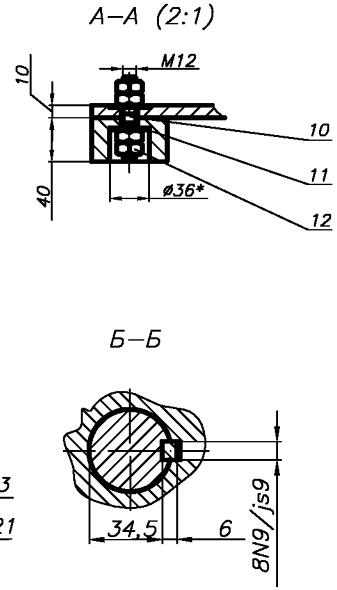
Строк сівби	Види сорго	Урожайність, т/га	Кормові одиниці, т/га	Протеїн	
				Збір протеїну, т/га	Забезпеченість, г/корм. од.
15 травня	Чишминський 84	23,7	5,38	0,51	78
	Севілья	24,2	5,75	0,55	81
	Сатурн	24,0	4,96	0,47	70
25 травня	Чишминський 84	24,0	5,62	0,53	79
	Севілья	27,5	6,53	0,62	92
	Сатурн	26,2	5,42	0,51	76
5 червня	Чишминський 84	23,7	5,55	0,52	78
	Севілья	23,6	5,60	0,53	79
	Сатурн	23,1	4,78	0,45	67

Урожайність і якість зеленої маси сорго за строками сівби



Зм.	Кіл.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	AI.CCM.00.00.0000 02			
Розроб.		Коваленко				Сушарка мобільна	Літ.	Маса	Масштаб
Перевір.		Ковач				Схема функціональна		—	—
Т. контр.							Аркуш	Аркушів	
Н. контр.		Волков					ЛНТУ кон. АІ ст. гр. АІм-21		
Затверд.		Ковач							





Технічна характеристика

1 Потужність приводу,кВт 1,1
2 Частота обертання зірочки,об/хв 50
2 Частота обертання електродвигуна, об/хв 1500

Технічні вимоги

1 Після збирання обкатати протягом 1год
2 Підтікання мастила вбпідшипникових опорах та редукторі недопускатимо
3 * Розміри для довідок

AI.CCM.13.00.0000 CK		
Привод норії	210	1 : 1