

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 технології вирощування льону сорту Міандр з удосконаленням підбирача – обертача валків»

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

Стоцький Я.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Дідух В.Ф.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Хомич С.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Тараймович І.В.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2024

**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри аграрної інженерії  
ім. проф. Г.А.Хайліса

доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_ С.М. Хомич  
«30» грудня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Стоцькому Ярославу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження технології вирощування льону сорту Міандр з удосконаленням підбирача – обертача валків

керівник роботи Дідух Володимир Федорович, професор, д.т.н.

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

затверджена наказом ЛНТУ від «30» грудня 2023 р. № 445/01-02

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 \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	17.06. – 01.07.2024 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	20.08 – 31.08.2024 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2024 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2024 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2024 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2024 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2024 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2024 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2024 р.	
10	Нормоконтроль	до 04.12.2024 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	04.12.– 14.12.2024 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Стоцький Я.О.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Дідух В.Ф.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

\_\_\_\_\_ (підпис)

Хомич С.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Стоцький Я.О. Дослідження вирощування органічного льону сорту « Міандр » з удосконаленням підбирача – обертача валків. Рукопис.

Магістерська робота ОП « Агроінженерія » спеціальності 208 Агроінженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024.

Робота спрямована на удосконалення технології вирощування органічного льону сорту « Міандр », для підвищення врожайності , якості отриманого волокна та насіння, а також збереження екологічної стійкості процесу. Проведено польові дослідження, що включало в себе: визначення біологічної врожайності насіння льону « Міандр »; визначення вологості в стеблах під час процесу збирання; визначення зусилля розтягування валка стеблостою, визначення кута леза для ефективного скошування стебел; визначення кута зламу в трьох точках трести сорту « Міандр »; розробка підбирача – обертача валків для отримання рівномірної вологи.

*Структура та обсяг магістерської роботи.* Магістерська робота складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 59 сторінок, включає 24 рисунки, 10 таблиць, 10 використаних джерел та 2 додатка.

Ключові слова: органічний льон, технологія вирощування, сорт « Міандр » , вологість стебел, біологічна врожайність.

## ABSTRACT

Stotsky. Research on growing organic flax of the Miander variety with the improvement of the picker-rotator of the rolls. Manuscript.

Master's thesis of the OP "Agroengineering" specialty 208 Agroengineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2024.

The work is aimed at improving the technology of growing organic flax of the "Miander" variety, to increase the yield, quality of the obtained fiber and seeds, as well as maintaining the environmental sustainability of the process. Field research was conducted, which included: determining the biological yield of flax seeds of the "Miander" variety; determining the moisture content in the stems during the harvesting process; determining the force of stretching the roll by the stem, determining the blade angle for effective mowing of the stems; determining the angle of break at three points of the "Miander" variety's trestle; developing a picker - a roll rotator to obtain uniform moisture.

Structure and scope of the master's thesis. The master's thesis consists of an introduction, four chapters, general conclusions, a list of used sources and appendices. The total volume of the work is 59 pages, includes 24 figures, 10 tables, 10 used sources and 2 appendices.

Keywords: organic flax, cultivation technology, variety "Miander", stem moisture, biological yield.

## ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ	2
АНОТАЦІЯ	4
ВСТУП	8
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ	10
1.1 Місце льону у виробництві сільськогосподарської продукції	10
1.2 Технологія вирощування органічного льону на дослідній ділянці ЛНТУ	12
1.2.1 Процес вирощування льону на агрополігоні ЛНТУ	12
1.2.2 Процес цвітіння льону та їх тривалість	15
1.2.3 Процес формування коробочок та фази стиглості льону	17
1.2.4 Скошування стеблостою льону та приготування трести	19
Висновок до розділу 1	21
2 ПРОЕКТНО – КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	22
2.1 Проектування машини підбирача-обертача для рівномірного перетворення стебел у тресту	22
2.2 Особливості будови конвеєра підбирача - обертача	24
Висновок до розділу 2	26
3. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	27
3.1 Визначення біологічної врожайності органічного льону	27
3.2 Досліди на зусилля брання стебел з ґрунту	30
3.3 Досліди на зрізання стебел органічного льону	32
3.4 Визначення вологості стебел льону	34
3.5 Досліди на розтягування валка органічного льону	37
3.6 Досліди на прогин валка льону	39
3.7 Дослідження кута зламу стебел трести	40
Висновок до розділу 3	42
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ	

МАТЕМАТИЧНОГО МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ	44
4.1 Дослідження процесу перевертання переплетених валків льону	44
Висновок до розділу 4	51
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	54
ДОДАТКИ	55

## ВСТУП

**Актуальність проблеми.** Льон має значну цінність завдяки своїй універсальності. Він забезпечує отримання двох основних продуктів: волокна, що слугу сировиною для текстильного виробництва та насіння, яке застосовують фармацевтичних та косметичних галузях. При переробці трести утворюється костриця. Вона є відходом деревної частини стебел, але застосовується в різних галузях. У світі її використовують як, підстилок для тварин, органічне добриво, наповнювач у будівництві.

Україна має багату історію культурного льонарства і є однією з провідних країн у цій галузі. Щорічно в Україні вироблялось понад 100 тисяч тонн цінного продукту.

Льонарство в Україні було не лише економічно вигідним, але й відіграло важливу роль у культурній спадщині країни. Відновлення галузі льонарства дало б великий потенціал для розвитку екологічно чистого виробництва.

З соломи органічного льону отримують екологічно чисте целюлозне волокно, для подальшого виготовлення текстильних та целюлозних матеріалів.

Найбільше вирощують льон у південно-степовій зоні України: Запорізькій, Дніпропетровській, Миколаївській та Херсонській областях.

Льон кучерявець є однією з найцінніших культур отримання якісного волокна. Він має довгі стебла, які забезпечують вихід якісного волокна, а також має низку властивостей.

Стебло льону-кучерявцю має 20 відсотків волокна, деревину, лігнін.

На жаль в Україні органічний льон не використовується належним чином, незважаючи на його високу цінність. Більшість солону льону використовують як добриво, спалюють або загортається у ґрунт. У багатьох країнах світу з органічного льону створюють біорозкладні матеріали, також ізоляційні

матеріали та альтернативні види палива.

Використання льону дозволяє країнам не лише зменшувати екологічний вплив на довкілля, а й підвищити економіку сільського господарства завдяки суміжних галузей.

**Мета роботи.** Вивчення особливостей вирощування органічного льону, проаналізувати та обґрунтувати сучасні методи підвищення врожайності, дослідити технологічні особливості вирощування, визначити біологічну врожайність органічного льону.

**Завдання досліджень:**

- провести дослід на зусилля виривання стебел з ґрунту на агрополігоні ЛНТУ;
- провести дослід на визначення вологості органічного льону;
- провести дослід на визначення біологічної врожайності стебел льону, використовуючи рамку 1м<sup>2</sup>;
- провести дослід на розтягування переплетеного валка льону за допомогою натяжного механізму та фіксуючих планок;
- провести дослід на визначення зусилля зрізання стебла;
- провести дослід на визначення кута зламу стебла;
- розробити схему підбирача-перевертача для перевертання стебел на 180 градусів;

*Методи досліджень.* Основна частина експериментів проводиться на агрополігоні ЛНТУ, де створено необхідні умови для вирощування органічного льону, також вивчення властивостей чотирьох сортів органічного льону. Наприклад, для визначення міцності стебел, використовуються польові та лабораторні дослідження.

Для проведення досліджень, використовувались такі прилади як динамометр, сушарка, вимірювальні пристрої, натяжні пристрої.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ

#### 1.1 Місце льону у виробництві сільськогосподарської продукції

Льон довгунець - має найбільше значення серед прядивних культур в Україні. Його значення зумовлюється продукцією, що отримується в результаті переробки: волокно, насіння, костриця.

Стебла льону містять 25-31% волокна, яке вирізняється технологічними характеристиками: гнучкість, міцністю. За міцністю льняне волокно переважає бавовняне удвічі, а шерстяне - утричі[1].

Цінним джерелом високоякісної олії є насіння льону, оскільки його вміст становить 35-40%, а також білкові речовини, які містять 25%. Льняна олія має широке застосування у багатьох галузях: паперовій, лакофарбовій, харчовій, електротехнічній промисловості та медицині. Це все за рахунок своїм властивостям і універсальності.

Продуктом переробки насіння є макуха, яка є концентрованим кормом для тварин, збагаченим білком та поживними речовинами.

Насіння та олію льону дуже часто використовують в медицині. Лляну олію рекомендують вживати у разі порушення обміну речовин, як профілактику, а також при лікуванні атеросклерозі. Ще льон застосовують в дієтології, завдяки вмісту омега-3 жирних кислот антиоксидантів, що позитивно впливає на здоров'я людини.

При zalиванні насіння окропом через 2-3 години утворюється слизоподібна маса, яка має обволікаючу та протизапальну дію.

Також льону має значну кормову цінність, оскільки в 1 кг насіння міститься 1,8 кормових одиниць. Макуха має високий вміст білка – 33% , і

жиру - 9%. Це робить її поживною та легко засвоєною для тварин.

Вирощують льон у багатьох країнах світу. Наприклад: Франція, Нідерланди, Бельгія, Казахстан, Україна. Європа є лідером по виробництву льону-довгунця для текстильної промисловості.

Попит на культуру поступово зростає через популяризацію екологічно чистих матеріалів.

У кореневій системі (рис.1.1) льону довгунця, бічні корені, розвинуті слабше у порівнянні з льоном олійним. Корені мають здатність формуватись по всій довжині головного кореня, який здатний заглиблюватись у ґрунт на глибину 1-1,5м. Рівень розвитку кореневої системи і характер розгалуження залежать від сорту та умов вирощування.



Рисунок 1.1 – Коренева система льону-довгунця

На території Західного Полісся на структуру корневих систем льону-довгунця вплинула зміна кліматичних умов. Льон довгунець у більшості має

стрижневу будову та незначні відмінності між сортами. Проте льон-довгунець дуже вразливий до високих температур, що значно знижує його врожайність на якість продукції [2,3]. Окрім цього, розвиток кореневої системи залежить не лише від клімату, а й від глибини обробітку ґрунту, забезпеченість поживними речовинами.

Також волокна льону є цінним джерелом целюлози, яка може перетворитись на нітроцелюлози при спеціальній хімічній обробці. Нітроцелюлоза - основний компонент бездимного пороху. Волокно льону має високу міцність, довжину та чистоту, які забезпечують якісну сировину. У порівнянні з деревиною, лляне волокно має вищий вихід чистої целюлози, що робить його перспективним у цій галузі.

Історично виробництво пороху з льону, використовувався в країнах, де цю культуру вирощували у великих масштабах. У наш час, ця технологія не дуже поширена, оскільки на заміну їх є синтетичні матеріали.

## **1.2 Технологія вирощування органічного льону на дослідній ділянці ЛНТУ**

### **1.2.1 Сортові особливості досліджуваних сортів**

Вирощування органічного льону проводилось на агрополігоні Луцького Національного Технічного Університету відповідно до базових технологій.

Для отримання високих врожаїв необхідно витримувати агротехнічні терміни виконання технологічних операцій. Підготовку ділянок під посів льону розпочали у вересні місяці 2023р. Спочатку ми виконували глибоке розпушування та оранку, щоб покращити аерацію ґрунту та зберегти вологу. Оранку проводили восени на глибину 20–25 см вже після того, як було зібрано попередні культури. Саме це дозволило нам зруйнувати залишки рослин і знищити бур'яни, а також забезпечити кращу структуру ґрунту для подальшого

накопичення вологи. Цей процес також допомагає оздоровити ґрунт, зменшує ризик поширення шкідників і хвороби, оскільки рослинні залишки та бур'яни загортаються глибоко в землю. Для підвищення родючості ґрунту також використовували органічні добрива або сидерати. В органічному землеробстві застосування хімічних добрив не допускається.

Наступний етап – посів - ми здійснювали 1-2.05.2024р. На даний момент ґрунт був добре прогрітий і мав необхідну кількість вологи для росту рослин. Насіння ми висівали на глибину близько 2 см. Ширина смуг - 1 метр з міжряддями 0,1м. Використовували для посіву 4 сорти органічного льону, а саме:

Сорт Міандр (льон-довгунець) (рис. 1.2) – відомий своєю здатністю витримувати посуху та деякі хвороби. Цей сорт показав високі результати у вирощуванні волокна у 2023р. і став популярним у текстильному виробництві. Льон-довгунець має однорідне стебло та високу якість волокна – саме це є дуже цінним у текстильній галузі.



Рисунок 1.2. - Льон Міандр

Сорт Оберіг (льон-довгунець) (рис.1.3) – це культура з підвищеною

стійкістю до хвороби (наприклад, до корневих гнилій і бактеріальних захворювань). Льон швидко адаптується до кліматичних умов. Оберіг зазвичай вирощують у регіонах з більшою вологістю. Саме його низька схильність до грибкових захворювань робить цей сорт особливо цінним.



Рисунок 1.3 - Льон Оберіг

Сорт Лірина (льон олійний) (рис.1.4) – сорт льону, який має високу врожайність насіння. Цей сорт доволі популярний для виробництва лляної олії. Добре переносить короткочасні стресові умови (наприклад, температурні коливання). Даний сорт також вирощувався у 2023р. і показав високу біологічну врожайність, яка склала 25,8 ц/га.



Рисунок 1.4 - Льон Лірина

Сорт Антант (льон олійний) (рис 1.5) – культура, яка має високу густоту стебел на квадратний метр, разом із великою кількістю коробочок на стеблі. Це робить його перспективним сортом як для отримання насіння, так і для отримання волокна. Антант має дуже високі показники врожайності в сприятливих умовах. Проте рівень його стійкості до хвороб - середній.



Рисунок 1.5 - Льон Антант

### 1.2.2 Процес цвітіння льону та їх тривалість

Цвітіння льону - це наступний важливий етап розвитку культури. Цей етап розпочинається через кілька тижнів після посіву, коли рослина набирає потрібну висоту і формує листя для ефективного забезпечення фотосинтезу. Саме від цвітіння льону залежить подальша кількість насіння та його якість.

Зазвичай кожна культура має декілька квіток, які розквітають поступово: спочатку нижні гілки і поступово до верху. Квітки льону блакитного кольору. Діаметр квітки досягає 2-3 см, що є досить дрібними, і мають по 5 пелюсток кожна (рис 1.6).



Рисунок 1.6- Цвітіння льону

Цвітіння льону тривало десь 5-7 днів на рослину. Кожного дня з'являлись нові квітки.

Розкриватись квітки починають вранці, але дуже швидко закриваються до обіду, або при погіршенні погодних умов. Для утворення насіння участь комах не є необхідною, оскільки, льон є самозапильною рослиною. Але їхня присутність прискорить процес запилення. Після цього кожна квітка починає формуватись у насіння, яке розвивається в коробочці. Цей процес є досить важливим для стабільного розвитку коробочок і є результатом завершення цвітіння.

Кінець травня - кінець червня включав в себе прополювання міжрядь для боротьби з бур'янами, оскільки гербіциди не використовувались. Для цього застосували ручне прополювання (рис. 1.7) , що дозволяло підтримувати чистоту рядків без шкоди для рослин. Також проводилося розпушування міжрядь, яке покращило аерацію ґрунту та доступ вологи до рослини.



Рисунок 1.7 - Прополювання міжрядь

### 1.2.3 Процес формування коробочок та фази стиглості льону

Після етапу цвітіння льону настає етап формування коробочок на верхівках стебел (рис.1.8). Спочатку коробочки зеленого кольору з м'якою поверхнею, оскільки насичені вологою. На цьому етапі це лише початок розвитку насіння і збільшення його в розмірах.



Рисунок 1.8 - Формування коробочок

З часом настає фаза молочної стиглості. У цей період насіння вже сформоване, але все ще м'яке і вологе. Ця фаза отримала таку назву, оскільки, якщо натиснути на насіння, з нього буде виділятися біла рідина, схожа на молоко. Варто сказати, що це є проміжний етап, тому що насіння ще не готове для збору. Під час молочної стиглості закладаються основні якості насіння, такі як маса та поживна цінність.

На стадії воскової стиглості (рис.1.9) коробочки набувають характерного кольору, стають більш твердими. Колір стає жовтуватим або світло-коричневим. На цьому етапі льон починає втрачати вологу. Це означає, що рослина дозріла і буде готова до скошування.



Рисунок 1.9 - Стадія воскової стиглості

#### 1.2.4 Скошування стеблостою льону та приготування трести

Коли льон повністю досягає, стебла стають сухими і ламкими. Колір коробочок - коричневий. Насіння всередині твердіє, легко відділяється від оболонки. Це хороший час для збору льону. Саме в цей період насіння готове до зберігання і для його подальшої обробки.

Скошування стеблостою льону потрібно провести вчасно, щоб не пересушити стебла та не втратити якість волокна.

Скошування проводили на висоті приблизно 2-3 см від поверхні ґрунту. Це дозволило зберегти довжину стебел.

Після скошування стебла залишали на полі для природного підсушування й подальшої обробки. Перетворення стебел в тресту є одним з ключовим етапом для отримання якісного волокна. Зібрані стебла розкладають на полі для того щоб вітер прискорив процес висихання. При хороших погодних умовах, сушіння може тривати 5-7 днів. Термін 10-14 днів може бути тоді якщо погода прохолодна або волога. Пересушування тож негативно вплине на якість волокна. Стебла стають крихкими і ускладнює подальшу переробку. Також пересушені стебла можуть загнитися під час зберігання, тому агрономи детально слідкують за станом стебел і визначають час для збирання.

Розпушенні валки легше збирати механічно, що може знижувати втрати врожаю.

Раніше збір льону був важким процесом. Люди вручну зв'язували стебла у снопи і стеблами міцно об'язували льон. Зараз вже за допомогою сільськогосподарських машин можна полегшити збір льону, оскільки машини можуть формувати стебла у пачки.

Після скошування льон залишили на полі для підсушування (рис. 1.2.9), а потім провели розпушування стебел за допомогою спеціального підіймача-розпушувача. Цей процес виконується для того, щоб забезпечити рівномірне

просихання та покращити якість волокна.

Розпушувач підіймає стебла з землі за допомогою гострих зубів, протягує до розпушувача, основою якого є зубці які провертаються в одну сторону. Це дозволило повітрю краще проникнути в шари льону, які контактували з землею. Цей процес допомагає уникнути утворенню хвороб та плісняви, що може пошкодити якість волокна, якщо стебла не просохнуть рівномірно. Також розпушування сприяє рівномірному процесу трести.

Розпушений валок швидше та рівномірно висихає, що знижує ризик втрати якості волокна.



Рисунок 1.2.9 – Підсушування валків

Отже, на агрополігоні Луцького національного технічного університету, ми вирощували вище згадані сорти органічного льону для того, щоб оцінити біологічну врожайність стебел, провести дослід з визначення вологості, розтягування валків та у подальшому, отримати високоякісне волокно. Також у

участь у проведенні досліджень дозволило отримати нові знання з технологій вирощування органічного льону з врахуванням таких технологічних операцій, як: оранка, сівба, скошування та перетворення соломи льону у тресту. Протягом періоду вегетації дослідних зразків з початку травня по 12.08.2024 р. особлива увага зверталась на основні етапи формування насінневої і стеблової частин врожаю та отримання трести.

Варто зазначити, що при вирощуванні льону застосували лише органічні добрива у вигляді сидерату Гірчиці, для того, щоб отримати органічну продукцію.

### **Висновок до розділу 1**

Вивчаючи літературні джерела зроблено такі висновки:

- вирощуючи органічний льон можна підвищити родючість ґрунту та зменшити кількість шкідників та хвороб;
- з органічного льону можна отримати екологічно чисту продукцію, що безпечно для здоров'я людини;
- продукція льону застосовується в багатьох галузях: паперовій, лакофарбовій, харчовій промисловості, медицині та виробництва пороху.

## РОЗДІЛ 2

### ПРОЕКТНО – КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### **2.1 Проектування машини підбирача - обертача для рівномірного перетворення стебел у тресту**

Збирання врожаю органічного льону є важливим етапом у процесі вирощування, оскільки на цьому етапі можна визначити якість отриманого насіння. Найбільш поширеною технологією збирання льону є комбайновий метод. цей метод забезпечує максимальне збереження якості насіння. Висота стебла перед збиранням льону олійного не повинно перевищувати 45 см. Якщо перевищує то це може ускладнити процес збирання, і погіршити якість насіння.

Комбайнова технологія включає в себе одночасне скошування рослин, віддалення насіння від стебла. Ця технологія є швидкою і ефективною для збору насіння.

Після процесу збирання йде наступний процес - просушування стебел. Це також важливий етап, оскільки якість добре просушених стебел, впливає на подальше використання у виробництві. Стебла необхідно розкласти на полі (рис.2.1) для того щоб відбулося рівномірне підсушування.

Конструкція підбирача обертача призначена для підбирання стебел та їх перевертання на 90-180 градусів. Така конструкція пропонується для того стебла отримали рівномірну вологість та температуру.

Переваги конструкції підбирача (рис.2.2):

- конструкція зменшує обсяги ручної праці, особливо коли це стосується великих площ;
- завдяки цій конструкції можна забезпечити рівномірне підсушування стебел;

- скорочує час ручних робіт;



Рисунок 2.1 – Валки після розпушування

Основними конструктивними елементами є підбирач для підбирання валка, переплетеного стеблами, та подачі до обертача.

Головна мета підбирача є підбирання валків, які залишаються на землі після скошування, для подальшого їхнього перевертання на 90-180 градусів. Оскільки нижня частина валка є зволоженою ніж верхня яка вже прогріта, перевертання валків дуже необхідний процес.

В конструкцію підбирача входить:

- плоский ремінь – один з основних елементів, який переміщує стебла, Ремінь краще підбирати міцний, для його довгої тривалості роботи та стійкості до зношування.

- зубці – кріпляться до плоского паса та виконуються функцію захоплення стебел з ґрунту, вони мають трикутну форму, для того щоб ефективно підбирати та втримувати валок на конвеєрі;

- привідний механізм – забезпечує рух паса з зубцями. Потужність



льону з ґрунту та для просування по стрічці, можуть бути виготовленні з пластику за допомогою 3D принтера. Маючи 3D принтер можна надрукувати багато деталей для агропромисловості. Використовуючи 3D – друк можна створити деталь у форму зубця з високою точністю. Матеріал для виготовлення деталей необхідно, щоб був зносостійким та міцним.

Будова конвеєра (рис.2.3) така:

Кожен зуб кріпиться до плоского паса (рис. 2.4) та фіксуються за допомогою болтів. Для надійної фіксації застосовується додаткова пластина, яка є з'єднувальною деталлю 5-ти зубів які розташовані в одному ряді, та служить як шайбою для фіксації. Це дозволить рівномірно розподілити навантаження на ремінь. Оскільки ширина паса становить 1 метр, то для одного ряду захвату буде достатньо 5 зубців, які мають ширину 100 мм, для ефективної роботи. Використання болтових з'єднань та додаткової пластики, спростить процес заміни запчастини у разі їх зношування або пошкодження. Відстань між рядами зубів становить 500 мм..

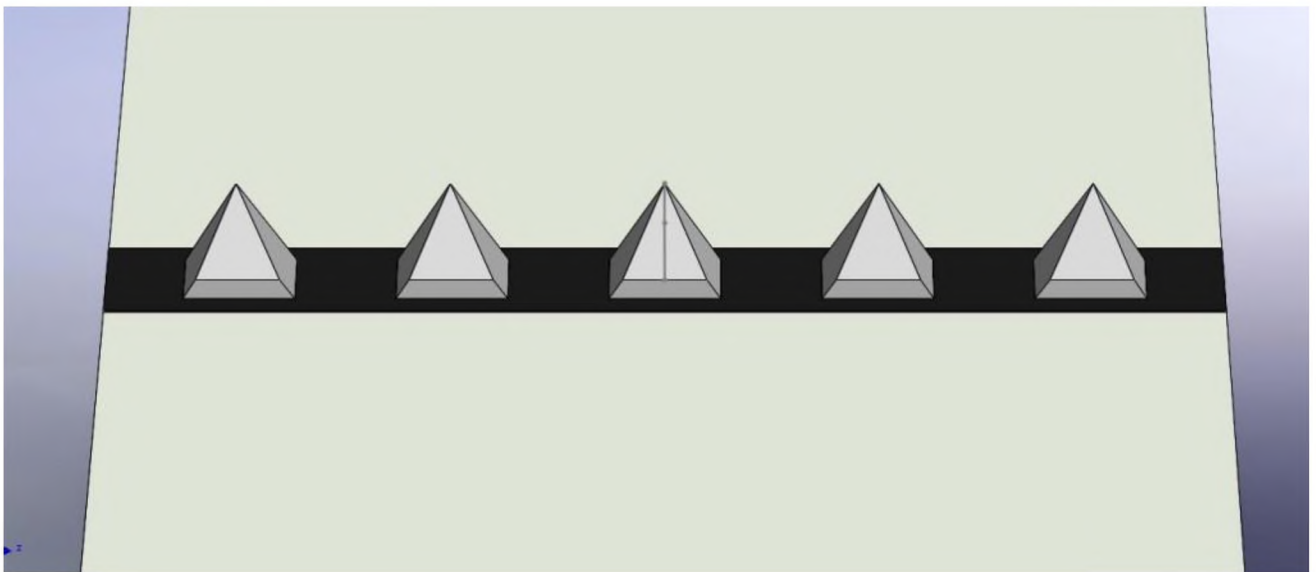


Рисунок 2.3 –3D моделювання розміщення зубів на конвеєрі підбирача

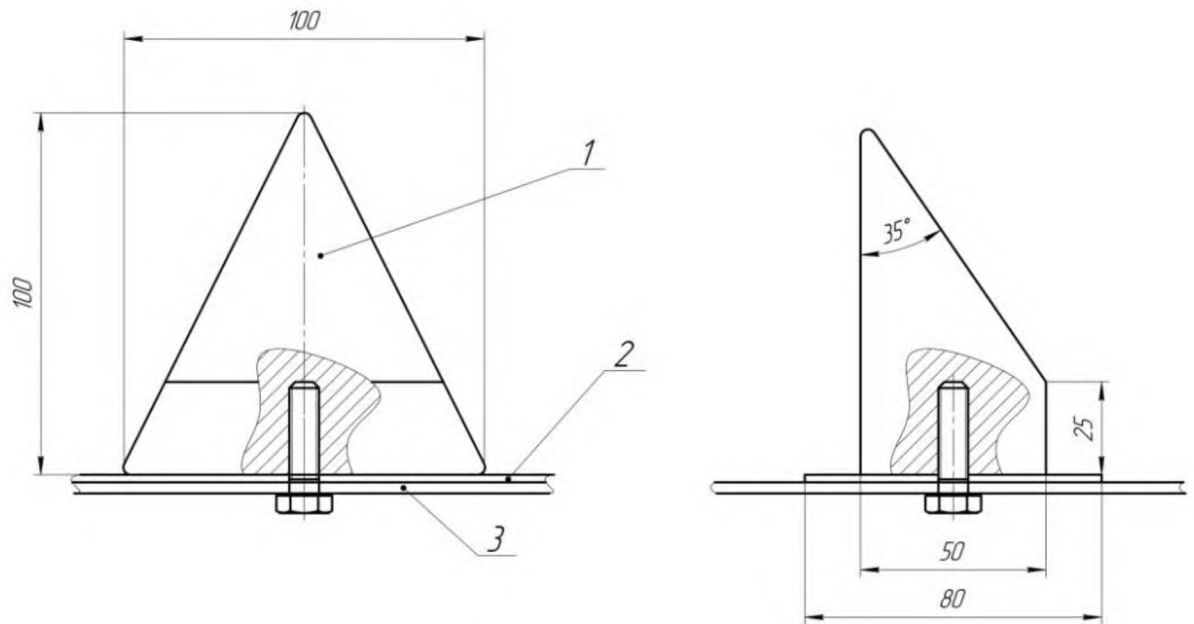


Рисунок 2.4 – Креслення кріплення зуба до конвеєра підбирача - обертача:  
 1 – зуб захвату; 2 – планка з'єднувальна; 3 – пас плоский;

### Висновки до розділу 2

- запропонована конструкція підбирача - обертача забезпечить стеблам льону, розміщених у валках отримати до них рівномірний доступ вологи та температури;
- підбирач - обертач – простий у будові та забезпечує механізацію приготування трести;
- захоплюючі зуби для відриву валка від поверхні поля і обертання валка можна виготовити з пластика 3D друком з високою точністю, що дозволить зменшити масу підбирача - обертача.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Визначення біологічної врожайності органічного льону

12 липня 2024 року визначали біологічну врожайність на чотирьох сортах льону. Завданням було встановити, який з чотирьох сортів органічного льону показав найкращі показники врожайності. І також порівняти з минулими роками. Посів льону проводили дослідною сівалкою. Ширина кожного рядка під сорт – 1м. В рядці було по 10 рядків.

Для визначення врожайності ми використовували рамку (рис. 3.1), яка мала квадратну форму, розмірами 1м<sup>2</sup>. В тій же рамці ми спочатку вираховували кількість стебел на 1 рядок, потім перемножили на загальну кількість рядків.



Рисунок 3.1 – Рамка для дослідів на врожайність для кожного сорту

Їх у нас 10. Для кожного сорту ми робили по 3 повторювання (рис. 3.2). Це дозволило нам отримати середнє значення. Наприклад, для сорту льону довгунця Міандр, ми нарахували 1511 ст./м<sup>2</sup>. Для інших сортів в нас вийшли такі значення: Антант – 750 ст./м<sup>2</sup>; Оберіг – 850 ст./м<sup>2</sup>; Лірина – 654 ст./м<sup>2</sup>.

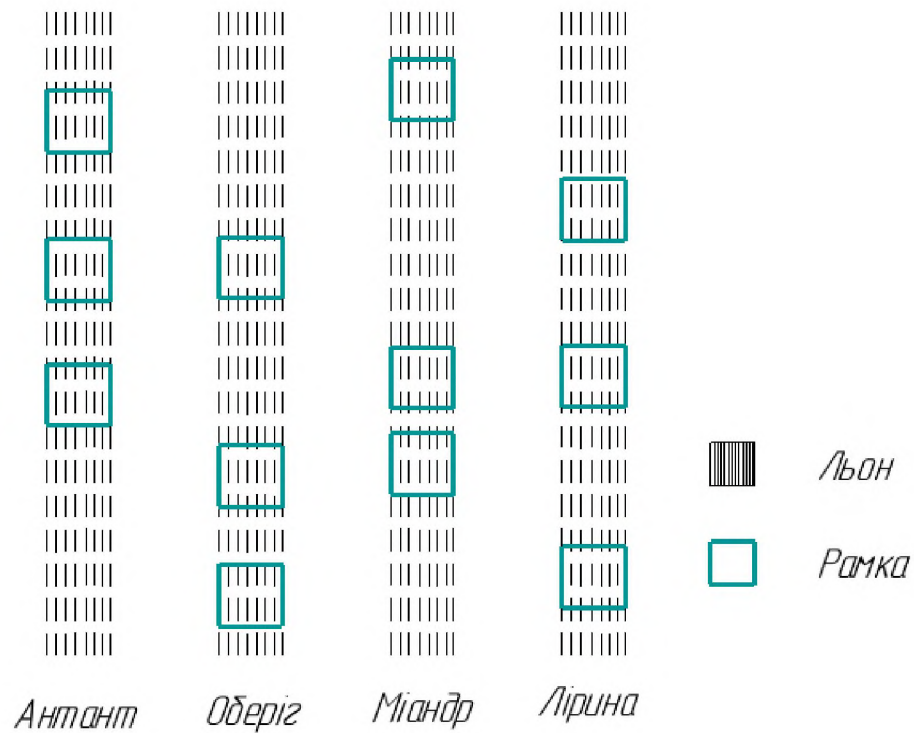


Рисунок 3.2 – Схема розташування рамки для кожного сорту

Наступним пунктом було визначити середню кількість коробочок на одному стеблі. Для цього на рамці розміром 1м<sup>2</sup> за методом конверта відбирали по п'ять стебел, повторюючи три рази для кожного сорту, та рахували кількість коробок на стеблах. Крім того нам ще необхідно було визначити кількість насінин в коробочці. З тих стебел що вираховували кількість коробочок на стеблі, ми визначали середнє значення насінин. Ці дослідження проводились перед скошуванням роторною косаркою, для перетворення стебел у тресту (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 - Процес вилежування стебел у валку у польових умовах

Після того, як отримали всі данні можна вираховувати біологічну врожайність за цією формулою:

$$B = n_{\text{ст.}} \times n_{\text{кор.}} \times n_{\text{нас.}} \times m \times 10^{-5} \text{ т/м}^2 \quad (3.1)$$

де  $n_{\text{ст}}$  – кількість стебел в рамці;

$n_{\text{кор.}}$  – кількість коробочок, які знаходяться на одному стеблі;

$n_{\text{нас.}}$  – кількість насінин в одній коробочці органічного льону;

$m$  – маса однієї насінини, г.

Розрахунки біологічної врожайності органічного льону проводили наступним чином. Наприклад, для сорту Міандр:

- кількість стебел в рамці становить 1115ст./м<sup>2</sup>;
- кількість коробочок на одному стеблі становить 17 шт.;
- кількість насінин, які розташовані в одній коробочці має 9 шт.;
- маса однієї насінини дорівнює 0,006 г.

Значення  $10^{-5}$  необхідне для того, щоб перевести одиницю  $\text{т}/\text{м}^2$  в  $\text{ц}/\text{га}$ . Коли ми маємо всі дання для сорту льону довгунця Міандр, можна розраховувати біологічну врожайність

$$1115 \times 17 \times 9 \times 0,006 \times 10^{-5} = 0,01024 \text{ т}/\text{м}^2$$

Далі необхідно перевести  $\text{т}/\text{м}^2$  в  $\text{ц}/\text{га}$  і отримаємо:  $B=10,24 \text{ ц}/\text{га}$ .

Для інших сортів льону вираховуємо так само по формулі (1) і отриманні результати вносимо у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Біологічна врожайність органічного льону.

Сорт	К-сть стебел на $\text{м}^2$ , шт.	К-сть коробочок на 1 ст., шт.	К-сть насінин в одній коробочці, шт.	Маса однієї насінини, г.	Біологічна врожайність, $\text{ц}/\text{га}$
Атлант	750	15	9	0,006	6,075
Міандр	1115	17	9	0,006	10,24
Лірина	654	16	10	0,006	6,28
Оберіг	850	10	10	0,006	5,10

Результати показують, що сорт Міандр має найвищий показник врожайності серед інших сортів цього сезону, з урахуванням на кліматичні умови, однакові методи вирощування.

### 3.2 Досліди на зусилля брання стебел з ґрунту

12 липня 2024 року, на агрополігоні ЛНТУ, крім того, що ми визначали врожайність органічного льону, ми також ще провели дослід на зусилля виривання стебел з ґрунту. Дослід проводили на третій день після дощу, коли

грунт не дуже сухий і не сильно вологий.

Метою цього досліду було оцінити механічні властивості стебел органічного льону, різних сортів.

На показник зусилля впливає багато факторів: різні сорти льону, товщина стебел, їхня кількість, вологість ґрунту. Наприклад для сорту Міандр, цього року, застосували менше зусилля, порівняно з іншими видами. В порівнянні з іншими сортами середній діаметр у сорту “Міандр” має 1,1 мм. Цього року, це найменший показник серед чотирьох сортів льону

Експерименти проводили в три етапи, на різних ділянках посіву. при кожному етапі, ми змінювали кількість стебел. Спочатку зусилля визначали на одному стеблі, на другому етапі - брали по три стебла, на третьому - 5 стебел. Це дозволяло нам оцінити та порівняти, наскільки змінюється сила, залежно від кількості стебел. Кожен етап проводився за однакових умов, в один той самий день, для того щоб отримати максимально точні показники.

Для проведення досліду використовували спеціальний пристрій - динамометр. Отриманні данні, вносимо у табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Результати досліду визначення зусилля виривання

Сорт	Виривання зусилля		
	1 ст.	3 ст.	5 ст.
Антант (750 ст/м <sup>2</sup> )	16,35 Н	27,3 Н	∞
Оберіг (850 ст/м <sup>2</sup> )	19,5 Н	16,25 Н	46,8 Н
Міандр (1115 ст/м <sup>2</sup> )	10,2 Н	15,25 Н	20,75 Н
Лірина (654 ст/м <sup>2</sup> )	12,25 Н	44,5 Н	∞

Результати показують (табл. 3.2), оскільки сорт “Міандр” має тонкі стебла

відносно інших трьох сортів, то це може бути перевагою для повного збирання льону

### 3.3 Досліди на зрізання стебел органічного льону

Цей дослід проводили для визначення сили зрізу стебла льону. Проводили цей дослід на чотирьох сортах льону. Щоб отримати більш точну цифру ми дослід проводили по 5 разів.

Для його виконання нам необхідний був спеціальний пристрій (рис. 3.4), який назвали зрізувач. В його будову входило лезо, пристрій для визначення зусилля – динамометр, фіксатор стебел. Кутомір для леза, який був поставлений під певним кутом.



Рисунок 3.4 – Прилад для проведення дослідів з зрізанням

Процес проходив так: стебла закріплювали в зрізувачі, після чого спочатку під кутом  $30^\circ$  виставили лезо. Динамометр прикріпили до ручки, якою ми могли регулювати лезом. Спочатку для кожного сорту ми провели по три

рази дослід, в якому лезо було під кутом  $30^\circ$ . Показники записували в таблицю. Після того кут леза поміняли на  $45^\circ$  і провели таку саму послідовність. Зрізи виконували повільно.

Під час кожного замірювання динамометр треба було калібрувати для точності. Лезо встановлювали під різними кутами, для того щоб визначити, як це вплине на силу, яку необхідно зрізати стебло.

Крім цього, ми могли дослідити при якому куті, буде максимальна якість зрізу стебла. Тобто чи залишаться краї рівними та чи не пошкоджуються при цьому стебла. Результати досліджень занесені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати визначення зусилля на зрізання

Зусилля на зрізання									
Сорт	Кут $30^\circ$		Кут $45^\circ$		Сорт	Кут $30^\circ$		Кут $45^\circ$	
Лірина	1р.	21 Н	1р.	16 Н	Антант	1р.	16 Н	1р.	22 Н
	2р.	15 Н	2р.	15 Н		2р.	15 Н	2р.	24 Н
	3р.	30 Н	3р.	28 Н		3р.	28 Н	3р.	20 Н
Міандр	1р.	14 Н	1р.	21 Н	Оберіг	1р.	17 Н	1р.	13,5 Н
	2р.	5 Н	2р.	21 Н		2р.	22 Н	2р.	20 Н
	3р.	8Н	3р.	14 Н		3р.	13 Н	3р.	12 Н

Результати показують (табл. 3.3), що для сорту “Міандр” зусилля застосували менше під кутом леза  $30^\circ$ , ніж під кутом  $45^\circ$ .

Я вважаю, оскільки “Міандр” має тонші стебла, то й для нього необхідно саме менше зусилля, тоді як “Лірина” та Оберіг показують вищу стійкість до зрізання, і потребують більшого зусилля для зрізу. це може вплинути на вибір технологій для їх збирання.

По результатах цього досліді можна оцінити властивості кожного сорту, враховуючи його товщину стебла та структуру. Також це допоможе порівняти показники різних сортів, що може бути корисним, для подальшого вибору сорту льону.

### 3.4 Визначення вологості стебел льону

Для проведення цього дослідження ми використовували сушку. Зразки відбирали з поля, після чого кожен сорт висушували у сушарці до постійної ваги. Цей дослід ми проводили тричі у різні дні.

Перший раз визначення вологості (рис. 3.5) проводили у день, коли також вимірювали зусилля виривання стебел та визначали біологічну врожайність стебел льону. Це було 12 липня 2024 року.



Рисунок 3.5 – Проведення дослідження на вологість

Кожен сорт за допомогою ножиць, ми дрібно нарізали стебла у маленькі кусочки та клали у тару. Коли подрібно нарізали зважили їхню загальну вагу. Після того клали у сушку і чекали їхнього висушування. Температура в сушці була  $80^{\circ}$ . Спочатку зразки сушили протягом 20 хвилин, після чого доставали та зважували їх, для того щоб оцінити зміни вологості у вазі. Після зважування ставили ще на 20 хвилин в сушку, для того щоб отримати стабільного рівня сухості. Загалом склало 40 хвилин сушіння. Цей підхід допоміг нам отримати детальну інформацію відстежування динаміки втрати вологи і для того щоб переконатися що стебла реально досягли стабільної ваги. Всі показники записували в

таблицю.

Після того як ми маємо всі необхідні данні можна визначити відсоток вологості для сорту “Міандр” за формулою:

$$w = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100, \% \quad (3,2)$$

де  $M_1$  - маса до сушіння

$M_2$  - маса після сушіння

Оскільки 12 липня ми проводили дослід на вологість, сорт Міандр отримав такі показники:

Вага до сушіння – 29,25г.

Вага після сушіння – 28 г.

Вага тари у якій знаходились стебла важила 27 г.

Отриманні показники підставляємо у формулу 3.1

$$\frac{2,25 - 1}{2,25} \times 100 = 55\%$$

27 липня проводили повторно дослід на вологість. Результати вийшли такими:

Вага до сушіння – 30,5 г.

Вага після сушіння – 29,1 г.

Вага тари – 27 г.

Отримавши данні підставляємо у формулу 3.1

$$\frac{3,5 - 2,1}{3,5} \times 100 = 40\%$$

Третій дослід проводився 12 серпня 2024. Результати отримали такі:

Вага до сушіння – 22,65 г.

Вага після сушіння – 22 г.

Вага тари – 19,6 г.

Коли ми отримали показники, можна підставляти у формулу 3.1

$$\frac{3,05 - 2,4}{3,05} \times 100 = 21\%$$

Всі отриманні значення записуємо у табл. 3.4

Таблиця 3.4 – Результати дослідів на визначення вологості стебла

<b>Досліди на вологість стебла льону</b>					
12.07.2024					
Сорт	Вага тари, г	Вага до сушіння, г	20 хв. сушіння, г	40 хв. сушіння, г	Вологість, %
Лірина	19,2	22,3	20,8	20,6	48,4
Міандр	27	29,25	28	28	55,5
Антант	19,2	21,98	20,4	20,4	56,8
Оберіг	19	22,44	20,4	20,4	59,3
27.07.2024					
Лірина	19,2	22	20,7	20,6	50
Міандр	27	30,5	29,1	29,1	40
Антант	19,2	22,2	20,83	20,8	46,6
Оберіг	19	22,4	21,2	21,1	38
12.08.2024					
Лірина	19,2	22,4	21,6	21,6	25
Міандр	19,6	22,65	22	22	21
Антант	19	23,7	22,9	22,9	17
Оберіг	19	23,4	22,5	22,5	20

Оскільки кінцевий результат ми отримали 21 відсоток, а оптимальні показники вважаються 15-18, це означає, що для отримання оптимальних показників, необхідно додаткове просушування.

### **3.5 Досліди на розтягування валка органічного льону**

Цей дослід проводився для того щоб визначити наскільки міцно формуються валки різних сортів льону. Валки які складаються зі стебел льону, які під час укладання на ґрунт, переплітаються між собою, утворюють дуже міцну структуру яку не можна розтягнути простими руками. Також до цього можна внести те що стебла льону є гнучкими і міцними.

Метою цього дослідження є визначити зусилля, необхідну для розтягування стебел. Визначити як довжина захвату впливає на розтягування.

Цей дослід проводили на чотирьох сортах льону. Для кожного сорту виконували дослід три рази, щоразу міняючи довжину захвату.

Для його проведення необхідно:

- 1) Валок льону - досліджуваний матеріал
- 2 Динамометр 3 - пристрій для вимірювання сили;
- 3 Фіксуючі планки 1 - для того щоб зафіксувати валок льону;
- 4 Шнур 2 - для поєднання динамометра з планками
- 5 Лінійка або рулетка - для виставлення довжини захвату

Для виконання цього досліду (рис. 3.6) ми підбирали вали які були добре сплетені між собою. Далі за допомогою рулетки виставляли довжину захвату та фіксуючими рейками закріплювали валок. Далі шнуром 2 одним кінцем закріпились на фіксуючій рейці 1, а другим кінцем до натяжного механізму 4, який з'єднаний з динамометром 3. коли все готово, ми помаленьку тягнули валок за допомогою натяжного механізму 4 і записували в зошит максимальне зусилля яке ми досягали. Отриманні показники записуємо у табл.3.5.

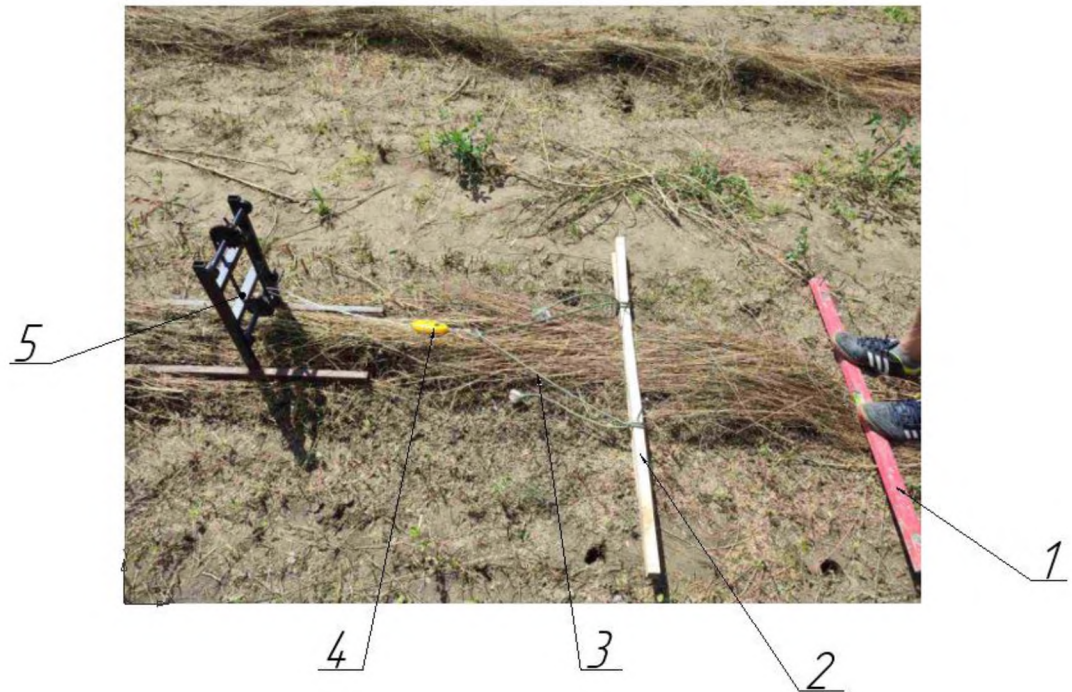


Рисунок 3.6 - Пристрій для розтягування валка: 1 - фіксуючі планки; 2 - шнур; 3 - динамометр; 4 - натяжний механізм.

Таблиця 3.5 – Визначення зусилля розтягування валка

Досліди на розтягування валка		
Сорт	Довжина захвату, мм	Зусилля, Н
Антант	630	20
	550	63
	430	63
Оберіг	720	48
	650	53
	570	89
Міандр	680	56
	580	66
Лірина	570	72
	370	41

Результати показують (табли.3.5) , при зменшенні довжині захвату валка органічного льону, зусилля треба застосовувати більше, оскільки валок міцно переплетаний стеблами і його важко розтягнути.

### 3.6 Досліди на прогин валка льону

Для того щоб вивчити пружність та щільність валка нам необхідне дослідження на прогин (рис. 3.7).

27 липня на агрополігоні ЛНТУ ми проводили дослід з використанням двох рамок, якими ми могли регулювати відстань, різної планки та рулетки.

Проводили експерименти на чотирьох сортах льону. Оскільки кожен сорт мав свою натуральну висоту, то відстань між стійками ми виставляли згідно натуральних висот льону. Натуральні висоти 4-ьох сортів органічного льону:

Антант - 610 мм; Міандр - 580 мм; Оберіг - 790 мм; Лірина 490 мм;



Рисунок 3.7- Проведення дослідів на прогин валка

Для кожного сорту ми проводили експеримент по 3 рази, щоразу зменшуючи відстань між стійками. Аналіз прогину дасть нам виявити нерівномірність щільності валка. Також отриманні результати (табл. 3.6) дозволять оцінити опір валка до деформацій.

Таблиця 3.6 – Результати дослідження на прогин валка льону

Дослід на визначення прогину валка		
Сорт	Довжина стебла , мм	Висота прогину, мм
Оберіг	500	100
	600	55
	400	-35
Анганг	600	90
	500	-10
	400	-100
Міандр	760	0
	550	-75
	400	-100
Лірина	500	95
	400	35
	300	0

Результати показали (таблиця 3.6), що при зменшенні відстані між стінками опори, валок буде випирати верх.

### 3.7 Дослідження кута зламу стебел трести

Кут зламу трести є важливим показником, який показує якість. Якщо стебло ламається під малим кутом, це може свідчити про надмірне висихання, що може в майбутньому вплинути на якість волокна. Будь які порушення в

технологічному процесі, може погано сказатись на якості та міцності трести.

У цьому досліді ми виконували 10 повторювань для точних показників. Дослід проводили на одному сорті - Міандр.

Відбір зразків утворив нову проблему, яка пов'язана з підйомом валка, оскільки стебла льону при осіданні в ґрунт, переплітаються між собою. Це значно ускладнює процес перетворення стебел в тресту.

Стебла ділили на три частини: окоренкову (нижня частина), верхівкову (верхня), та стеблова (середина). Для кожного стебла проводилось випробування на спеціальному приладі (рис. 3.8). В його будову входило фіксацію стебел до планок, як помаленьку під навантаженням опускались, до тих пір поки не заламувалось стебло.



Рисунок 3.8 – Прилад для зламування трести льону: 1 – опора; 2 – механізм переміщення планок; 3 – градусований сектор; 4 – планки; 5 – досліджувана треста; 6 – стебло трести

При збільшенні діаметра, кут зламу збільшується. Результати (табл.3.7) показують що верхівкова частина стебла сорту Міандр має найменший кут зламу, що може означати слабкість через малий діаметр стебла та щільну структуру волокон. Окоренкова частина має найбільші показники, що означає її високу міцність.

Таблиці 3.7 – Кути зламу стебел трести у трьох точках з врахуванням середнього діаметру

1	Діаметр стебла, мм	окоренкова частина, °	стеблова частина, °	верхівкова частина, °
2	2	82°	113°	82°
3	3	110°	113°	79°
4	2	102°	102°	100°
5	2,5	113°	118°	79°
6	2	110°	100°	102°
7	2	108°	107°	108°
8	2,2	118°	118°	106°
9	1,8	110°	112°	90°
10	2	113°	118°	113°
11	2,5	110°	107°	106°

### Висновки до розділу 3

- запропонована методика визначення біологічної врожайності насінин , з використанням рамки 1м<sup>2</sup>;
- було визначено зусилля при якому виривається стебло органічного льону сорту Міандр. Зусилля вийшло 10Н на одне стебло, що є найменшим показником, порівнюючи з іншими дослідженими сортами льону;
- проведено дослідження вологості стебла органічного льону, останній показник вийшов 20%. Це означає що необхідне додаткове

просушування стебел для перетворення у тресту;

- визначено зусилля на розтяг валка для сорту Міандр. Дослідження показало що, чим менша довжина захвату, тим більше необхідно зусилля для розтягування валка.
- для зрізання стебла сорту Міандр необхідний кут леза під нахилом  $30^{\circ}$ . Оскільки для нього необхідно застосувати силу у 8Н – це найменший показник;
- дослідження на кут зламу трести показало що найслабше місце стебла – це верхівкова частина та окоренкова, але це залежить ще від діаметра. Чим більший діаметр тим міцніше і гнучкіше буде стебло.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ

#### 4.1 Дослідження процесу перевертання валків льону

Для того, щоб визначити повно факторний експеримент необхідно провести  $N$  дослідів:

$$N = m^k, \quad (4.1)$$

де  $m$  – кількість етапів досліджень;

$k$  – кількість факторів;

Для проведення експерименту нам необхідно пройти наступні етапи:

- кодування факторів;
- зробити таблицю факторів та етапів варіювання;
- визначення коефіцієнтів рівнянь регресії;
- скласти рівняння регресії;
- здійснення перевірки адекватності;
- провести розкодування факторів і розрахувати рівняння регресії в натуральному вигляді;

Для того, щоб скласти таблицю факторів та рівнів варіювання (табл. 4.1) необхідно врахувати результати виконаних досліджень і інформацію.

Для переведення у безрозмірні величини натуральних факторів використовувалось кодування за такими формулами:

$$x_1 = \frac{h-h_0}{\varepsilon_1}, \quad x_2 = \frac{W-W_0}{\varepsilon_2}, \quad (4.2)$$

де,  $h_0, W_0$  – базові значення факторів на основному рівні експерименту

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – інтервали варіювання цих факторів;

Таблиця 4.1 - Фактори та рівні варіювання

Рівні варіювання	Фактори	
	Товщина шару матеріалу, мм	Вологість матеріалу, %
	$x_1$	$x_2$
Верхній (+1)	150	20
Основний (0)	100	15
Нижній (-1)	50	10
Інтервал варіювання $\varepsilon$	50	5

Ця методика дозволяє провести натуральні а показники до безрозмірного вигляду, що спрощує майбутній аналіз, побудови математичних моделей. Дослідження проводили до заздалегідь розробленої матриці планування експерименту. Методологія дозволила побудувати чітку математичну модель процесу. Матриця планування експерименту показана в табл. 4.2 . Для визначення порядку проведення дослідів застосовували таблицю випадкових чисел.

Таблиця 4.2 - Матриця планування двохфакторного експерименту

№	$x_1$	$x_2$	$x_1 x_2$
1	-1	-1	+1
2	-1	+1	-1
3	+1	-1	-1
4	+1	+1	+1

Функція відгуку, яка відображає кількість костриці, була описана за допомогою нелінійного рівняння регресії. Рівняння дозволяє моделювати поведінку системи в просторі факторів.

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12}x_1x_2 \quad (4.3)$$

Інтервали оцінок коефіцієнтів регресії знаходимо за формулою:

$$\Delta_{b_i} = t_{\alpha; f_1} \cdot S_{b_i}, \quad (4.4)$$

де  $t_{\alpha; f_1}$  – критерій Стюдента при вибраній довірчій ймовірності  $\alpha$  та числа ступенів вільності  $f_1$ ;

$S_{b_i}$  – середні значення помилок оцінок коефіцієнтів регресії.

Коефіцієнти регресії визначаємо на наступної умови:

$$|b_i| \geq \Delta_{b_i}. \quad (4.5)$$

Експерименти проводились із однаковим числом повторюваностей. Це означає що, однорідність ряду дисперсії перевіряли за критерієм Кохрена. Далі розраховували величину даного критерію:

$$G^{розр.} = \frac{S_{y_i \max}^2}{\sum_{i=1}^n S_{y_i}^2}, \quad (4.6)$$

де  $S_{y_i \max}^2$  - найбільше значення із дисперсій.

$S_{y_i}^2$  - дисперсія, яка показує розсіювання результатів в  $i$ -му досліді.

$$S_{y_i}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{g=1}^m (y_{ig} - \bar{y}_i)^2, \quad (4.7)$$

де  $m$  – число повторювань в досліді;

$g$  – номер повторюваності в досліді;

$y_{ig}$  – результат  $g$ -ї повторюваності  $i$ -го досліді;

$\bar{y}_i$  – середнє значення усіх повторювань  $i$ -го досліді.

Таблиця 4.3 - Проведення експерименту

Номер досліді	Фактори	
	h, мм	W, %.
1	50	20
2	50	15
3	150	15
4	150	20

Ряд дисперсій пороховано однорідним, якщо:

$$G^{розр.} < G^{табл.} (0.05; n; f), \quad (4.8)$$

де  $G^{табл.} (0.05; n; f)$  – це значення критерію Кохрена з 5%-м рівнем значущості,  $n$  - кількість дослідів та  $f = m-1$  – число ступенів вільності.

Варто зазначити, що перевірку адекватності моделі розраховували за  $F$ -критерієм Фішера. Його розрахункове значення становить:

$$F_{f_2, f_1}^{розр.} = \frac{S_{неад.}^2}{S_y^2}, \quad (4.9)$$

де  $S_{неад.}^2$  – дисперсія неадекватності моделі;

$S_y^2$  – дисперсія проведеного дослідю.

Число ступенів вільності становить:

$$f_2 = N - k' - 1, \quad (4.10)$$

де  $k'$  – кількість значущих коефіцієнтів у рівнянні регресії.

Значення  $S_{неад.}^2$  можна вирахувати за формулою:

$$S_{неад.}^2 = \frac{SS_{неад.}}{f_2}. \quad (4.11)$$

Суму квадратів  $SS_{неад.}$ , включаючи трикратну повторюваність дослідю в центрі плану, можна розрахувати за формулою:

$$SS_{неад.} = n_o \cdot (y_{орозр.} - \bar{y}_o)^2 + \sum_{i=1}^{24} \left( y_{иروزр.} - \bar{y}_{иексп.} \right)^2, \quad (4.12)$$

де  $y_{орозр.}$  – очікуване значення відгуку експерименту в центральній точці плану;

$\bar{y}_o$  – середнє значення відгуку дослідю, отримане експериментально, в центральній точці плану;

$y_{иروزр.}$  – очікуване значення відгуку в проведеному  $i$ -му дослідю;

$\bar{y}_{\text{експ.}}$  – середнє значення відгуку, отримане експериментально, в  $u$ -му досліді.

Модель можна вважати робочою при умові:

$$F^{\text{розр.}} \leq F^{\text{табл.}}, \quad (4.13)$$

де  $F^{\text{табл.}}$  – числове значення  $F$  - критерію для якого вибраний рівень значущості.

Для використання в роботі була запропонована методика проведення експерименту за планом Бокса-Бенкіна. Саме вона дає можливість нам отримати математичну модель, яка визначає у відсотках відношення видаленої костриці і при тому враховує всі властивості та умови проходження стеблової-волокнистої маси через плоский ремінь.

Провівши аналіз рівняння регресії ми змогли оцінити вплив на процес просування стебел зубцями, які прикріпленні до плоского паса. При цьому враховуємо висоту подачі шару матеріалу а також його вологості.

При обробці даних результатів, в ході двохфакторного експерименту було отримано рівняння регресії взаємодії костриці і параметрів стеблової - волокнистої маси, а саме:

$$Y = 0,35 + 0,065x_1 - 0,038x_2 \quad (4.14)$$

В кінцевому значенні отримано рівняння:

$$Y = 0,139 + 3,25 \cdot 10^{-3}h - 7,6 \cdot 10^{-3}W \quad (4.15)$$

За зазначеним вище рівнянням регресії було змодельована поверхня відгуку (рис.4.1), а також її двомірне січення (рис.4.2).

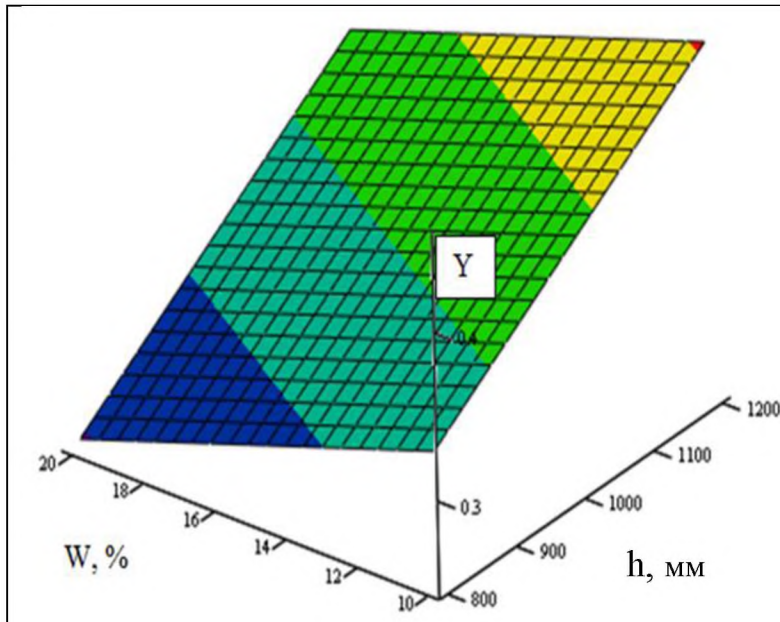


Рисунок 4.1 – Поверхня відгуку, яка включає в себе ефективність підбирання стебел органічного льону, при цьому враховується товщина подачі матеріалу на плоский ремінь та вологість культури

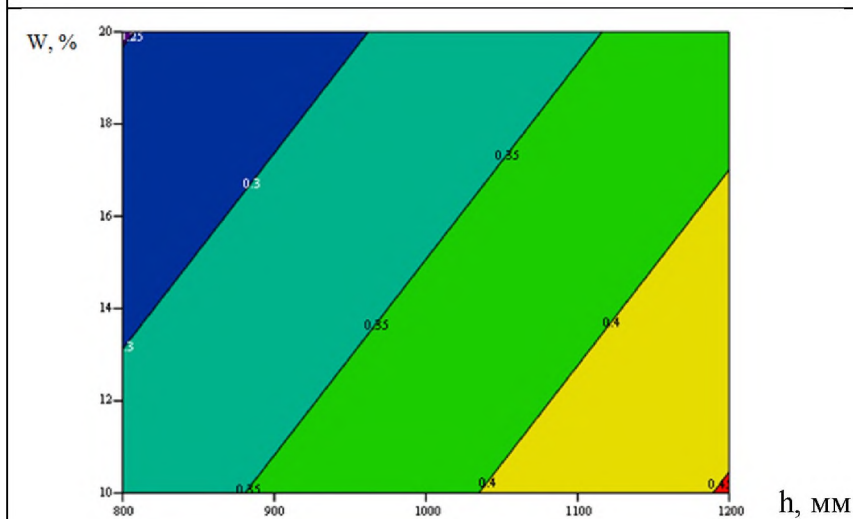


Рисунок 4.2 – Плоске січення поверхні відгуку в двомірному просторі

Згідно результатів показаних на графіках, найбільш оптимальні показники роботи установки були отримані, коли показник відносної вологості стебел органічного льону дорівнював 10%. При висоті шару стебел на конвеєрі 150мм Варто зазначити позитивний вплив на руйнування стебел товщини шару матеріалу, які зменшували до товщини однієї стеблини органічного льону сорту Міандр з середньою величиною 2,5.

#### Висновки до розділу 4

- результати які отримали при використанні планового експерименту дозволило нам отримати вплив вологості стебел і товщини валка на ефективність роботи підбирача - обертача;
- побудовано графіки двомірного січення та поверхні відгуку, яка показує ефективність підбирання стебел органічного льону, де враховується товщина валка та вологість стебел льону.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Підсумовуючи вище сказане варто зазначити що органічний льон є екологічно чистою культурою. Вирощуючи його ми зберігаємо природні ресурси нашої землі та отримуємо екологічну чистоту виготовленої продукції. До проблем вирощування органічного льону належить не використання хімічних засобів захисту – саме це зменшує можливості боротьби з бур'янами, хворобами та шкідниками. Також впливає на врожайність різних видів органічного льону родючість ґрунтів. На врожайність льону впливають багато факторів, основні з яких наступні:

- технологія вирощування;
- технологія збирання;
- кліматичні умови;
- правильний вибір сорту.

Результати проведених досліджень дозволили зробити наступні висновки:

1. Запропонована конструкція підбирача - обертача валків для перевертання їх на  $90 - 180^0$  прискорить рівномірне перетворення стебел льону у тресту, що у подальшому дозволить нам отримати волокно для виробництва якісної продукції;

2. Через малий діаметр стебел органічного льону сорту Міандр, кут зламу в верхівковій частині є незначний, що означає про відсутність у даній частині волокна;

3. Результати визначення вологості стебел для перетворення у тресту показують, що для стебел необхідне 2 -3 разове перевертання валків, оскільки на момент зрізання стеблостою вологість стебел була 55%, а оптимальний показник має бути 15-18%.

4. Для брання стебла органічного льону сорту Міандр необхідне зусилля = 10,5Н. Цей показник є найменшим серед інших сортів. Це може

означати, що через мале зусилля виривання, можна застосовувати бральні апарати.

5. Біологічна врожайність насіння органічного сорту Міандр становить 10,24 ц/га. Це є найвищим показником серед інших сортів збирального сезону, і вважається середнім показником в загальному.

6. Для сорту Міандр - кут зрізання стебла у  $30^{\circ}$  є кращим при зрізанні стеблостою, оскільки зусилля на зрізання одного стебла, в середньому, потрібно 8Н.

**ВИКОРИСТАННІ ДЖЕРЕЛА**

## 1

1. Ільків Л.А Сучасний стан та ефективність виробництва льону/Л.А Ільків//«Молодий вчений» -№ 12 (64) - грудень, 2018 р. - 614-618
2. Живетин В.В. Масличный лен и его комплексное развитие / В.В. Живетин, Л.Н. Гинзбург - М.: ЦНИИЛКА, 2000. - 89 с.
3. Лихочвор В.В. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур / В.В. Лихочвор, В.Ф. Петриненко - Львів: Українські технології, 2006. - 730 с.
4. Дідух В.Ф. Льонарство в Україні має бути обов'язково відроджено / В.Ф. Дідух, О.В. Голій, С.Ф. Бабарика, А.С. Суховецький // Легка промисловість. — 2009. — №3. — С. 8—9.
5. 2. Сай В.А. Перспективи вирощування льону олійного на Волині / В.А. Сай, В.Ф. Дідух, І.В. Тараймович // Легка промисловість. — 2009. — №3. — С. 10—11.
6. 3. Паливода О.М. Перспективи розвитку льонарства України на основі формування територіально виробничих кластерів / Паливода О.М. // Легка промисловість. — 2009. — №4. — с. 29—31.
7. 4. Липчук В. Розвиток льонарства в Україні / В. Липчук, О. Домінська // Аграрна економіка. — 2013. — Т. 6, № 1—2. — С. 80—83.
8. 5. Примаков О.А. Шляхи розвитку льонарства в Україні / О.А. Примаков, І.О. Маринченко, М.П. Козорізенко // Економіка АПК. — 2013. — № 11. — С. 32—37.
9. Бурик О. Ю. Ураження льону-довгунцю хворобами залежно від строків збирання / О. Ю. Бурик // Вісник аграрної науки. – 2013. – № 2. – С. 78-80.
10. Дрозд О. М. Продуктивність льону-довгунця / О. М. Дрозд // Вісник аграрної науки. – 2010. – № 2. – С. 25-26.

**ДОДАТКИ**



