

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 збирання цукрових буряків з розробкою гичкозрізувального механізму»

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

Карасюк І.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Тарасюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Хомич С.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Сай В.А.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2025

**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
«01» липня 2025 р..

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Карасюку Івану Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу збирання цукрових буряків з розробкою гичкозрізувального механізму

керівник роботи Тарасюк В.В., доцент, 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 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	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

_____ (підпис)

Карасюк І.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Тарасюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

_____ (підпис)

Хомич С.М.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Карасюк І.О. Тема роботи: Дослідження процесу збирання цукрових буряків з розробкою гичкозрізувального механізму. Рукопис

Кваліфікаційна магістерська робота за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» спеціальності 208 «Агроінженерія». Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2023.

Кваліфікаційна робота магістра складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, переліку джерел посилань, додатків (згідно структури кваліфікаційної роботи магістра, представленої в методичних рекомендаціях, затверджених кафедрою аграрної інженерії імені професора Г.А. Хайліса).

Робота направлена на дослідження процесу вирощування цукрових буряків та розробку машини для збирання гички цукрового буряка та вдосконаленням гичкозрізувального механізму.

В кваліфікаційній магістерській роботі проводились обґрунтування технології вирощування цукрового буряка, огляд існуючих механізмів для зрізування гички, обґрунтування схеми та необхідних параметрів запропонованого механізму. Було визначено початкову вологість гички, зусилля, яке необхідно затратити на її зрізування. Проведено планування експерименту з використанням математичного методу планування.

Ключові слова: цукрові буряки, гичкозрізуючий механізм, бурякозбиральний комбайн, технологія, дослідження, експеримент, прилад

ABSTRACT

Karasiuk I.O. Topic of work: Research of the process of harvesting sugar beets with the development of a stalk-cutting mechanism. Manuscript

Qualification master's thesis under the educational and professional program "Agroengineering" specialty 208 "Agroengineering". Lutsk National Technical University, Lutsk, 2023.

The qualification master's thesis consists of an abstract, introduction, four sections, general conclusions, a list of sources of references, appendices (according to the structure of the qualification master's thesis presented in the methodological recommendations approved by the Department of Agricultural Engineering named after Professor G.A. Khailis).

The work is aimed at studying the process of growing sugar beets and developing a machine for harvesting sugar beet stalks and improving the stalk-cutting mechanism.

In the qualification master's thesis, the technology of growing sugar beet was substantiated, the existing mechanisms for cutting the tops were reviewed, the scheme and the necessary parameters of the proposed mechanism were substantiated. The initial moisture content of the tops was determined, the effort that must be spent on cutting them was determined. The experiment was planned using the mathematical planning method.

Keywords: sugar beet, top-cutting mechanism, beet harvester, technology, research, experiment, device

ЗМІСТ

Анотація.....	
Abstract.....	
Зміст	
Перелік термінів.....	
Вступ.....	
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ТА ФОРМУВАННЯ	
ВИХІДНИХ ДАНИХ.....	
1.1 Біологічні особливості цукрових буряків.....	
1.2. Аналіз технічних засобів для зрізування гички цукрових буряків.....	
Висновки до розділу 1.....	
2. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ	
БУРЯКІВ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
ГИЧКОЗРІЗУВАЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ	
2.1 Обґрунтування технологічного процесу збирання гички за допомогою запропонованого сільськогосподарського агрегату	
2.2 Обґрунтування схем запропонованого гичкозрізуючого механізму	
2.3 Обґрунтування технологічних параметрів гичкозрізувального механізму.....	
2.4 Обґрунтування конструктивних параметрів гичкозрізувального механізму	
2.4.1. Розрахунок оптимальної висоти обрізання гички на коренеплодах	
2.5. Визначення оптимальних параметрів гичкозрізувального механізму головок коренеплодів	
2.6 Енергетичний розрахунок	
Висновки до розділу 2.....	
3. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ	
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	

3.1	Загальна методика досліджень
3.2	Визначення вологості гички цукрових буряків.....
3.3	Визначення коефіцієнта тертя гички цукрових буряків.....
3.4	Визначення деформаційних характеристик гички цукрових буряків....
3.5	Дослідження згину зразків гички цукрових буряків
3.6	Методика визначення зусилля різання гички цукрових буряків
	Висновки до розділу 3.....
	4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З
	ВИКОРИТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ
4.1	Методика і результати експериментальних досліджень з використанням методу математичного планування
	Висновки до розділу 4.....
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....
	ДОДАТКИ.....

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ

Гичка Листя трав'янистих і коренеплідних рослин.

Маші́на (від лат. *machina*, від дав.-гр. *Μηχανή* — пристрій, засіб, знаряддя) — технічний об'єкт, який складається із взаємопов'язаних функціональних частин (деталей, вузлів, пристроїв, механізмів та ін.), що використовує енергію для виконання покладених на нього функцій.

Ро́тор (англ. *rotor*; скорочення від *rotator*, пов'язаного з лат. *roto* — «обертаюсь») — обертова частина машини (на відміну від нерухомої частини — статора). Зокрема — обертова частина електричної машини (такий ротор називають також якорем). У бурильній техніці ротор — обладнання для обертання і підтримування колони бурильних труб при їх загвинчуванні та розгвинчуванні, обертання бурового долота й інструмента в свердловині.

Дослі́дження, до́сліди — (*широко розуміючи*) пошук нових знань або систематичне розслідування з метою встановлення фактів; (*вузько розуміючи*) науковий метод (процес) вивчення чого-небудь.

Експеримéнт (англ. *experiment*) — сукупність дослідів, об'єднаних однією системою їх постановки, взаємозв'язком результатів і способом їх обробки. Унаслідок експерименту отримують сукупність результатів, які допускають їхню сумісну обробку і зіставлення.

При́лад (англ. *device, apparatus, appliance*; нім. *Gerät n, Vorrichtung f, Einrichtung f*) — технічна конструкція, що уможливорює виконання певного процесу і служить для визначених цілей (наприклад, для перетворення енергії, виконання певної механічної роботи, перетворення інформації), що має специфічну форму будови (часто є групою з'єднаних між собою частин, які утворюють функціональну цілісність) залежно від виконуваних параметрів роботи та цільового призначення.

ВСТУП

Актуальність теми: Одним з пріоритетних напрямів розвитку розвитку сільського господарства України є - розвиток цукрової галузі. Цукор – є важливим продуктом харчування, він користується попитом на світовому ринку, а природньо-кліматичні умови нашої держави якнайкраще підходять для вирощування цукрових буряків.

Україна є однією з найбільш бурякосіючих регіонів Європи, виробництво цукру є і залишається одним стратегічних продуктів для експорту. Проте зменшення посівних площ під цукрові буряки частково пов'язане з виробництвом коренезбиральної техніки, адаптованої під різноманітні умови вирощування цукрових буряків та збирання коренеплодів, спрацювання та потреби в вдосконаленні виробничої бази для переробки цукрових буряків. Збирання коренів цукрового буряка передбачає виконання значних трудомістких і енергомістких операцій. Проте поряд з великогабаритними, шестирядними комплексами, варто розробляти та налагоджувати виробництво простих напівпричіпних та причіпних одно-, дво- та трирядних машин для збирання коренеплодів які використовуватимуться в малих фермерських господарствах. Якість збирання, функціональні і експлуатаційні характеристики цих машин мають відповідати вимогам до збиральних машин.

Сучасний етап технологій вирощування цукрових буряків є розвиток інтенсивних технологій та характеризується розвитком індустріальних тенденцій, що забезпечують повну механізацію всіх процесів, стійкий ріст врожайності, якості сировини буряків, а також зниження затрат праці на виробництво одиниці продукції і як наслідок зниження її собівартості.

За останній час науково-дослідними та конструкторськими організаціями, господарствами розробляються технічні та технологічні рекомендації для підвищення врожайності цукрових буряків та застосування цих технологій на практиці. В процесі вдосконалюються ґрунтообробні та посівні машини, способи та

заходи з догляду за рослинами, пропонуються нові конструкції збиральної техніки, особлива увага приділяється якості насіння та створюються більш ефективні сорти цукрових буряків, розширяється виробництво гербіцидів та добрив.

Аналіз відомих машин для збирання цукрового буряка показав, що в більшості машин після першої сепарації ґрунту переміщення коренеплодів до зони вивантаження коренеплодів - пасивне та здійснюється транспортерами (прутковими чи скребковими), і не відповідає максимальній відділенню очистці від домішок та рослинних решток, якість очищення коренів падає, особливо при збиранні в екстремальних умовах (при вологості ґрунту в межах 24-28 %, чи твердості понад 3,5 МПа).

Враховуючи зростаючий рівень механізації вирощування (біля 70-75%), ріст врожайності та зниження трудомісткості не відповідають вимогам. Затрати ручної праці великі. Тому ставиться задача – глибоко та оволодіти всім арсеналом агротехнічних і механічних процесів вирощування і збирання цукрових буряків.

Оскільки ефективність машин для збирання коренів буряка обумовлюються сукупність ряду показників: агротехнічних, техніко-експлуатаційних і економічних, то для знаходження оптимальних параметрів машини по екстремальним значенням цих показників необхідно здійснити синтез машин і її комплексів, тобто виконувати такі розрахунки, які дозволяють взяти до уваги об'єктивні взаємозв'язки між прийнятими механіко-технологічними принципами збору врожаю, факторами зовнішнього середовища та існуючими критеріями ефективності.

При вирішенні цього завдання, обрентування оптимальних видів механізованих процесів гичкозбиральних машин, треба здійснити таким чином, щоб забезпечити якість збору цукрових буряків та високі експлуатаційно-економічні показники в різних умовах, а також при зберіганні сировини і її переробці.

Мета роботи та завдання досліджень. Удосконалити технологію вирощування та збирання цукрових буряків, запропонувати конструкцію

гичкозрізувального механізму, який покращить технологію збирання коренеплодів, а зокрема зрізування гички, подрібнення та транспортування її на зрізане поле.

Завдання досліджень:

- провести огляд існуючих технологій вирощування та збирання цукрових буряків;
- провести обґрунтування параметрів розроблюваного вузла, призначеного для зрізування, подрібнення та транспортування гички на зібране поле;
- зробити експериментальні дослідження гички пов'язані з визначення її властивостей перед збиранням;
- запропонувати конструкцію гичкозрізувального механізму;
- запропонувати схему агрегату для збирання цукрових буряків.

Об'єкт дослідження. Процес збирання, подрібнення та транспортування гички буряків.

Предмет дослідження. Вплив робочих органів гичкозбирального механізму на якість збирання буряків та степінь пошкоджень коренеплодів.

Методи дослідження. Дослідження проводились в лабораторії кафедри аграрної інженерії імені професора Г.А. Хайліса ЛНТУ за стандартними методиками. Для досліджень засновувалось обладнання, наявне в лабораторії.

Практичне значення одержаних результатів. Визначено параметри гичкозрізувального механізму для збирання цукрових буряків.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ТА ФОРМУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ

1.1 Біологічні особливості цукрових буряків.

Цукровий буряк – це дворічна рослина родини лободових. За перший рік із насіння виростають коренеплоди із розеткою листя (гички), на другий рік висаджені коренеплоди дають насіння – репродуктивні органи. Цукрові буряки це перехреснозапильні рослини, тому, варто не допускати схрещування між цукровими та кормовими чи столовими буряками, захисна зона становить не менше 2...3 км. Вага 1000 насінин складає 15...45 г. Проростає насіння при температурі 4...5°C, сходи появляються при 8...9°C. Фаза вилички триває 8...10 днів та закінчується, коли появляється перша пара листків.



Рисунок 1.1 – Поле цукрових буряків

В червні - липні найбільш інтенсивне листоутворення. За вегетаційний період рослина утворює 50...60 листків. Інтенсивний розвиток листкового апарату на початковій стадії вегетації приводить до вищої врожайності, збереження гички до збирання приводить до збільшення цукристості.

Замикання листків в рядках відбувається в другій декаді червня, в міжряддях

– першій половині липня. Коренева система досягає до 2...2,5 м в глибину.

Приріст маси коренеплодів проходить до настання морозів. Темпи приросту зеленої маси (гички) переганяють приріст коренів до середини серпня, потім починають інтенсивно рости коренеплоди (табл. 1.1). При більш максимальній кількості гички та довше її зберігання на коренеплодах, тим більша врожайність цукрових буряків.

Таблиця 1.1 - Добовий приріст та наростання маси коренеплоду (середні дані по Волинській області)

Дата	1.07	10.07	20.07	1.08	10.08	20.08	1.09	10.09	20.09	1.10	20.10
Середні добові прирости, г	-	3,1	5,1	4,5	5,7	4,7	4,8	3,5	2,9	1,3	0,1
Максимальні добові прирости, г	-	4,2	4,9	5,9	6,2	6,5	6,7	4,4	5,6	1,2	0,6
Мінімальна маса, г	4	17	49	94	144	195	247	292	310	321	330
Середня багаторічна маса, г	47	82	142	191	236	282	325	369	386	392	401
Максимальна маса, г	98	140	189	248	310	375	442	486	542	554	560

Врожай та якість продукції цукрових буряків напряму залежить від обгрунтованого розміщення культури в сівозміні. На теренах Волинської області хороші результати отримують, розміщуючи їх в ланці із багаторічними травами одного року використання, в паровій ланці – це однорічні культури на зелений корм – озимина – цукрові буряки. Їх можливо також розміщувати після озимої пшениці, попередниками якої були льон, рання картопля, кукурудза на силос, люпин. Періодичність посіву цукрових буряків - через 4-5 років. При порушенні даної періодичності відбувається нагромадження та розвиток специфічних збудників шкідників та хвороб і виснаження ґрунту. При схилах більше 3° вирощування цукрових буряків неефективне тому, що утруднює дотримання якості виконання

технологічних операцій та є загрози змивів посівів.

Вирощування їх ефективно переважно в Лісостеповій зоні на чорноземах чи сірих опідзолених ґрунтах. Найбільш поширені використовувані ґрунти: темно-сірі опідзолені чи сірі, чорноземи опідзолені легко- та середньосуглинкові. Менші площі відводяться на більш родючі чорноземи.

Стосовно цукрових буряків, відносять до ризикованих такі ґрунти: дерново-карбонатні, дерново-підзолисті, лучні. Препорою є ряд агрофізичних, агрохімічних і фізико-хімічних особливостей, без яких неможна отримати високі урожаї. Для отримання високих врожаїв великим та важливим значенням є забезпечення азотом, фосфором і калієм та мікроелементами.

Природна родючість може забезпечити наступну родючість коренеплодів: темно-сірих та чорноземів опідзолених і типових – 210...260 ц/га, ясно-сірих і сірих опідзолених – 170-200 дерново-підзолистих ґрунтів 120-150 ц/га. Решту отримують з засосуванням ефективною системою удобрення і агротехнічних прийомів.

При проведенні багаторічних дослідів на Волині, вапнування сіро-опідзоленого ґрунту з pH_{KCl} - 6,0 забезпечило додатково до врожайності 70...89 ц/га буряків. При зерно-бурякової сівозміни варто вапнувати ґрунти при pH_{KCl} 6,0 та менше, при pH_{KCl} 6,1...6,5 – проводити періодичні вапнування (300-500 кг/га $CaCO_3$) для нейтралізації кислих добрив та покращення живлення кальцієм рослин.

Також важливим завданням є створення умов для збереження та нагромадження вологи та поживних речовин в формах доступних для рослинам, боротьба з шкідниками та хворобами, бур'янами. Після збирання попередньої культури варто відразу проводити дискове лушення стерні глибиною 6...8 см. Після цього провести посів редьки олійної на сидерат (30 кг/га). Оранку варто проводити в жовтні – листопаді.

Ранньовесняний обробіток розпочинають при першій можливості виходу в поле. Метою передпосівного обробітку є – створення в найкоротші терміни дрібногрудкуватого, багатого на повітря та вологу посівного шару товщиною 3 ± 1 см.

Сівбу цукрового буряка проводять в II-III декаду квітня. Запізнення із посівом на 5...6 днів приводить до недобору коренеплодів 30...40 ц/га.

При визначенні строку сівби насіння буряків варто пам'ятати, що для його проростання необхідне тепло, волога та кисень (табл. 1.2).

Таблиця 1.2. - Вплив температури на швидкість проростання

Температура (в °С)	1-2	3-4	6-7	10-12	15-25
Період проростання (в днях)	45-60	25-30	10-15	8-10	3-4

При сівбі ґрунти повинні мати наступні властивості: не наліплюватись на робочі органи ґрунтообробних машин та сівалок, добре кришитися до дрібногрудкуватого стану і перебувати в стадії фізичної зрілості мати температуру 5...6°С на глибині 8...10 см. Засівати поле варто за 1-2 дні, це дасть отримання дружніх сходів та застосувати сучасні технології вирощування, а зокрема післясходового обробітку за посівів. Норма висіву залежить від забур'яненості ґрунту, вмісту збудників хвороб та шкідників, якості підготовки ґрунту до посіву. При слабкій забур'яненні та малій загрозі хвороб та шкідників норма висіву 6...7 насінин, при середньому – 7...9, при сильному – 10...12 шт. на метр погонний.

Оптимальна глибина сівби – 2...3 см, на легких ґрунтах та при недостатній вологості - до 3...4 см. Головна умова посіву – заробка насіння в вологий ґрунт на ущільнене насіннєве ложе.

Перша операція після сівби - прикочування посівів, але воно не потрібне при достатніх запасах вологи та в дощову погоду. Потім варто провести боронування посівів легкими боронами БПЛ-9 і це дасть змогу знищити до 90% бурянів, дати доступ кисню до проростків, вони стають більш стійкішими до коренеїду. Перше боронування до сходів необхідно зробити до початку наклеювання насіння. Рекомендується також проводити посходове боронування посівів, воно є одним з найважливіших засобів догляду за посівами буряків. Проводять боронування в поперек рядків, швидкість агрегату 3-4 км/год. Шарівка робиться на глибину 4-6 см. Якщо шарування проведено на глибину близько 6 см, то перше розпушування і

підживлення можна робити на глибину 10-12 см. Обробіток ґрунту в міжряддях здійснюють буряковими культиваторами різних модифікацій. Пізніше проводять обробіток в міжряддях на глибину 14-16 см.

Одержання доброякісної сировини можна досягнути своєчасним збиранням цукрових буряків. В першу чергу збирають на полях, де рослини пошкоджені хворобами та шкідниками, де низька густина стояння рослин, більша забур'яненість. Викопування буряків організовують у вересні-жовтні, в залежності від розміру площі та наявності збиральної техніки. Розпочинають збирання з 20 вересня. Вивезення буряків на завод бажано закінчити до 5 листопада.

Успіх процесу збирання і одержання високоякісної цукросировини без втрат досягається при комплексному дотриманні таких умов: наявність парку відремонтованих збиральних машин; підготовка поля до збирання; уважне водіння збиральних і транспортних агрегатів у загінках та по полю; правильний вибір викопувальних апаратів; технологічна дисципліна і правильна організація праці; реалізація заходів щодо запобігання втратам цукросировини при збиранні.

Вітчизняною промисловістю випускається комплекс машин для збирання цукрових буряків "Борекс", виготовлено дослідні зразки самохідної коренезбиральної машини КБ-6 із бункером місткістю 10 м³, бункерного комбайна КСБ-6 "Збруч", БМ-6А, ОГД-6А, КС-6Б, РКС-6. Зарубіжні бурякозбиральні комбайни: "Кляйне", "Холмер", "Штолль", "Матро", „Моро" та ін.

З метою підвищення ефективності виробництва цукросировини, передусім слід знизити забрудненість коренеплодів, які надходять на заводи, принаймні до 10 %, і зменшити їх втрати при машинному збиранні до 1-2 %. Досягти цього можна за таких умов: площі чисті від бур'янів; головки коренеплодів вирівняні відносно поверхні ґрунту; рівномірний розподіл рослин в рядках; дотримано ширину міжрядь, основних – 45, стикових – 45-50 см; прямолінійні рядки.

Бурякозбиральні машини регулюють відповідно до характеристики плантацій. Щоб збирати буряки з мінімальними затратами ручної праці, а тим

більше без них, потрібно, в першу чергу, домогтися якісного зрізу гички, що є найскладнішою операцією у збиранні буряків (табл. 1.3).

Таблиця 1.3.- Залежність величини відходів цукристої маси від висоти зрізу головок коренеплодів, %

Висота зрізу	Діаметр коренеплоду, мм					
	20-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140
На рівні основи черешків гички	3,7	4,9	5,9	6,8	7,2	7,0
На рівні нижньої межі "сплячих" вічок	9,8	13,3	18,2	22,1	23,1	25,1

1.2. Аналіз технічних засобів для зрізування гички цукрових буряків

Розвиток машин для механічного видалення гички з головок цукрового буряка відбувається в напрямі розвитку машин з конструювання вузлів та агрегатів, які здійснюють її способами збивання, зминання, зрізування та відривання. Проте найбільш поширеним є зрізування та вибивання (доочищення головок коренеплодів). Класифікацію гичковидаляючих механізмів можна представити в вигляді схеми зображених на рис 1.2.



Рисунок 1.2. – Класифікація гичковидальючих механізмів машин.

Так відомі механізми в яких зрізування гички проходить в результаті перерізання лезом ножів бітера, воно використовується для видалення основного потоку гички і залишків при до очищенні головок буряків. В даному процесі активні чи пасивні зрізують гичку без підпрним різанням, (без протирізальних опор або зустрічних ножів). Це все відбувається завдяки фізико-механічним властивостям цукрових буряків чи передбачено технологією збирання (з послідуочим використанням її чи розкиданні по поверхні поля) гички.

Так при вивченні процесів зрізування гички буряків та схем машин для збирання коренів цукрового буряка (вітчизняного і зарубіжного), дані пристрої поділяють, на такі що зрізують її на корені, чи зрізують безпосередньо в бральному апараті збиральної машини (машини вибирального типу). Пристрої, що зрізують гичку безпосередньо на коренеплодах розділяють на пристрої без копіювання та з копіюванням головок коренеплодів. Пристрої, які зрізують гичку без копіювання коренів, простіші за конструктивним виконанням, надійні. За принципом дії робочих органів дані пристрої можна розділити на такі типи:

- пристрої, з поступальним рухом ріжучих елементів (рис. 1.3);
- пристрої, з зворотньо-поступальним рухом ріжучих елементів (рис. 1.4);
- пристрої, з обертовим рухом ріжучих елементів (рис. 1.5 і рис. 1.6).

Зрізувальні пристрої (рис. 1.3) хоч відрізняється простотою, але виробництві поширення не одержали. Основною причиною є їх ненадійність при виконанні технологічного процесу зрізування гички. В закордонному виробництві гичкозрізувальні апарати з пасивним ножом використовуються в якості дообрізчика головок коренів на машинах деяких фірм (фірми „Kleine”, „Herriau”, „Stoll” та ін.).

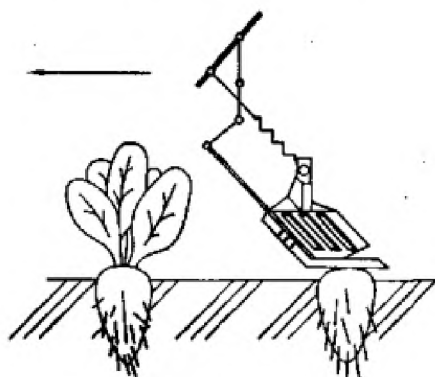


Рисунок 1.3 – Пристрій для зрізування гички, з ріжучим елементом пасивного типу він виконує поступальний рух нажа.

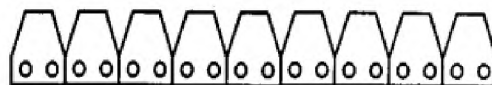


Рисунок 1.4 - Пристрій для зрізування гички з зворотньо-поступальним рухом ножів

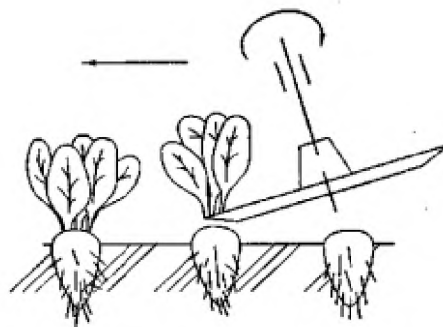


Рисунок 1.5 - Пристрій для зрізування гички із активними дисковими нажами

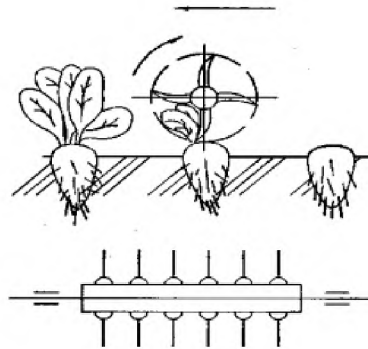


Рисунок 1.6 - Роторний пристрій для зрізування гички

Пристрій для зрізування гички (рис. 1.7), робочі органи якого виконують зворотно-поступальні рухи (гичкозбиральний пристрій машини „Volvo”), зрізує гичку сегментними ножами на встановленій висоті.

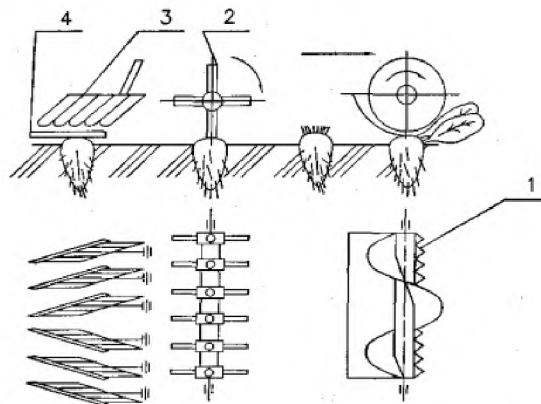


Рисунок 1.7 - Схема пристрою для зрізування гички комбайна К-500 “Volvo”:
1 – сегментні ножі; 2 – очисник головок; 3 – копії; 4 – пасивні ножі.

При використанні пристроїв даного типу має місце підвищеного вмісту рослинних решток в буряках та приводить до підвищення втрат (більше 30%). Ріжучі елементи можуть бути виконані в вигляді сегментних ножів, які здійснюють зустрічний зворотно-поступальний рух один відносно другого.

Пристрої із ножами, що обертаються розділяють в залежності від вісі обертання ножів на апарати:

1. з вертикальною віссю обертання;
2. з горизонтальною віссю обертання (роторні);
3. з нахиленою віссю обертання.

Пристрої з активними ножами розміщеними на дисках (рис. 1.5) давно відомі, проте розповсюдження набули в 60-х роках з поєднанням в парі з пасивними гребінчастим копірами, на машинах БС-6, БМ-6, БМ-4, БМ-6А, БМ-6Б, СКН-2А, МБС-6, та в комбайнах John Deere 223 (США) і ін. Ножі дискових апаратів, з'єднуються із копіром головок коренеплодів за допомогою паралелограмної підвіски. Ножі виконуються з зубчастою, суцільною, сегментною ріжучою поверхнею. Варто зазначити, при роботі на засмічених полях ефективно використовувати ножі з сегментною чи зубчастою різальною кромкою, на чистих – суцільною. Даний тип ножів забезпечує хорошу якість зрізування гички при швидкості руху машини до 7 км/год, врожайності гички - до 30 т/га, рівній поверхні поля та рівномірному розміщенні рослин в рядку.

Недоліки дискових ріжучих пристроїв:

1. переміщення ножа по висоті мале (0 – 100 мм);
2. велика маса обертових рухомих частин;
3. мають складну конструкцію приводу ножів, елементів підвіски ножів та копірів;
4. при розміщенні коренів високо над рівнем землі проходить вибивання копірами;
5. при великій гичці та великій швидкості руху агрегату не має якісного зрізування гички при не забезпеченні повного копіювання копірами поверхні головок.

Гичкозрізувальні пристрої роторного типу (рис. 1.8) в основному побудовані з валу, до якого шарнірно прикріплені по колу ножі різних форм, Даний тип пристроїв отримав широке поширення при збиранні гички. Більшість бурякозбиральних комбайнів, різних фірм, обладнують бурякозбиральні машини саме гичкозрізувачами роторного типу (“Herriau”, “Kleine”, “Matrot”, “Fahse”, “Stoll” та ін.) (рис. 1.9).

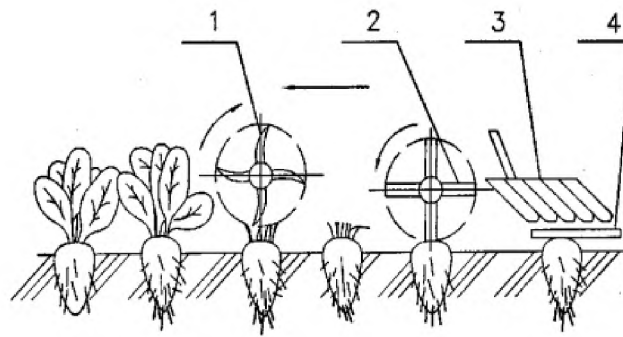


Рисунок 1.9 - Схема пристрою для видалення гички із бурякозбирального комбайна “Herzau”: 1 – вал з S-подібними ножами; 2 – очисник головок коренів; 3 – копіри; 4 – пасивні ножі.

Роторні гичкозрізувачі зрізають гичку на одному рівні, виступання головок в рядку та нерівномірність не впливає на якість зрізування гички. Основна зелена маса буряків зрізується рівно. Черешки із головок коренів доочищуються доочисником. Даний пристрій має високу продуктивність та є ефективним при високій врожайності зеленої маси. В сучасних бурякозбиральних машинах широке розповсюдження мають пристрої для зрізування гички трьох типів, які відрізняються основними елементами - копіра та ножа. Пристрої, в яких пасивні копіри працюють разом із активними дисковими ножами (рис. 1.10) встановлюються на машини, які працюють із середньою врожайністю зеленої маси, низьким розташуванням головок коренів.

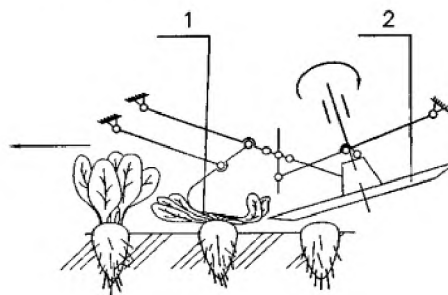


Рисунок 2.10 - Гичкозрізувальний пристрій з поєднанням пасивного копіра та активного дискового ножа.

Копіри можуть виготовлятися в вигляді гребінок чи полозків. Вони ефективні при швидкості руху машини до 1,5...1,7 м/с при різних погодніх умовах та забезпечують хороше збирання гички. При збільшенні швидкості руху машини

стрімко погіршується технологічний процес обрізання гички та напряму приводить до збільшення втрат врожаю.

Поєднання активного каткового копіра, який обертається з пасивним ножом (рис. 1.11) є стандартним для гичкозрізуючих пристроїв в таких машинах як ЗОСХ (Чехія), Е734, Е732, (Німеччина). Застосовуються при високій врожайності гички (до 70 т/га), після збирання гичка може бути використана на корм тваринам.

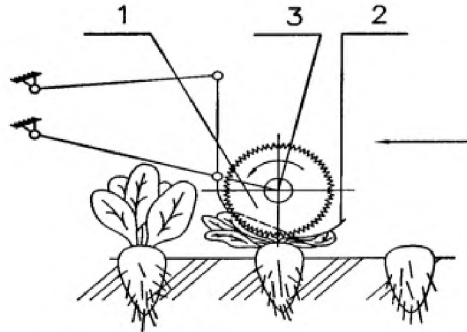


Рисунок 1.11 – Пристрій для зрізування гички, з поєднанням активного каткового копіра із пасивними ножами комбайнів ЗОСХ (Чехія), Е734, Е732, (Німеччина) та фірм „Stoll”, „Herriau”, „Morea”.

Пристрої із пасивними копірами та пасивними ножами в основному використовуються на полях де гичка попередньо видалена (машини фірм „Kleine” і слугують тільки для дообрізування коренів

При компоюванні комбайнів для збирання цукрових буряків провідні фірми використовують пристрої в яких видалення гички розділене на декілька операцій. Вони створюють навісні пристрої, які навішуються спереди машини та одночасно з процесом збирання гички відбувається процес викопування цукрових буряків. Навісна гичкозбиральна машина KR-6 (рис. 1.13) фірми „Kleine” має пристрій роторного типу 1, що зрізує та видаляє її на встановленій висоті зрізуючого апарату відносно ґрунту на шнек для видалення гички 2 основну зелену масу (гички та рослинних решток). Відразу за активним ротором розташовується очисник головок коренів цукрового буряка 3 та видаляє решту зеленої маси та доочищує головки цукрових буряків. Відразу за доочищиком головок коренеплодів 3 розміщений

дообрізчик для обрізування головок коренеплодів. Складається він з пасивних копіїв та пасивних ножів.

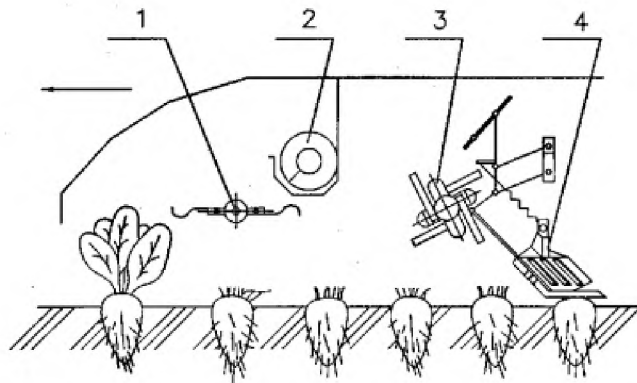


Рисунок 1.13 – Схема пристрою для видалення гички бурякозбирального комбайну KR-6 фірми "Kleine": 1 – ротор; 2 – шнек для видалення гички; 3 – очисник головок; 4 – дообрізчик головок коренеплодів.

При безступінчастому регулюванню висоти зрізу роторного механізму 1 визначаємо оптимальну висоту зрізу при різних по виступу з ґрунту головок коренів буряка. Даний гичкозрізувальний пристрій ефективний при різних режимах роботи машини та якісно виконує технологічний процес зрізування гички на засмічених полях, зберігаючи високу робочу швидкість бурякозбирального комбайну.

В бурякозбиральних комплексах фірм „Moreau”, „Herriau” (Франція), та комплексі „Stoll” (Німеччина) застосовуються гичкозбиральні пристрої, де перша операція – виконується горизонтальним роторним механізмом 1 (рис. 1.14) з

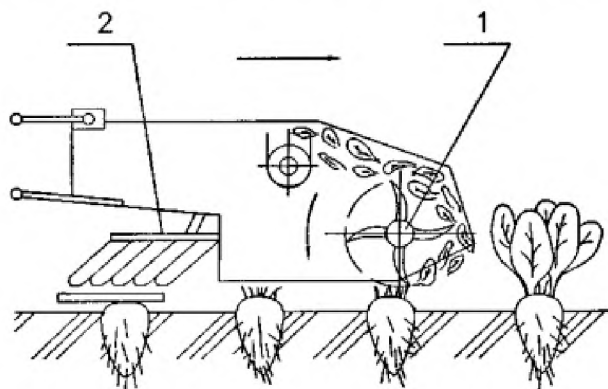


Рисунок 1.14 - Схема пристрою для видалення гички бурякозбиральних комбайнів фірм “Moreau”, «Herriau», “Stoll”: 1 – роторний робочий орган; 2 – дообрізувач головок коренеплодів.

шарнірно-підвішеними ножами, так як і в бурякозбиральній машині KR-6. Доочищення головок коренів здійснюється дообрізчиками 2, в вигляді пасивних ножів та пасивних копіїв.

В бурякозбиральних комбайнах італійських фірм (“Rimesco”, “Barigelli”, “Guaresi” та ін.) використовуються пристрої для збирання гички з обрізкою основної маси горизонтальним роторним механізмом 1 (рис. 1.15) що обладнаний шарнірно-підвішеними ножами. В даних комбайнах доочищення головок коренів може відбуватись в два етапи:

1. Основна маса гички зрізується роторним пристроєм 1 за ним встановлений дообрізчик головок коренів, що складається із активних копіїв 2 та пасивних ножів 3. Таке компонування механізму для видалення гички дає можливість більш якісно проводити дообрізування залишків черешків.

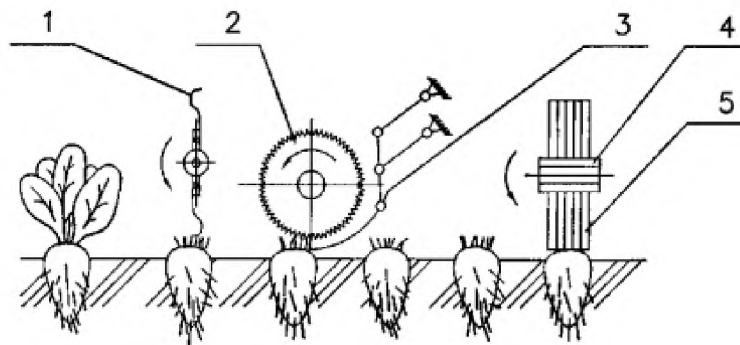


Рисунок 1.15 - Схема пристрою для видалення гички бурякозбиральних комбайнів фірм “Guaresi”, “Rimesco”, “Barigelli”: 1 – роторний механізм; 2 – активні копії; 3 – пасивні ножі; 4 – очисники головок коренів; 5 – еластичні бичі.

2. На другому етапі відбувається кінцеве доочищення головок очисником головок коренів 4 виконаного з валу на якому закріплено прорезинені еластичні бичі, з допомогою еластичних бичів 5, що мають горизонтальну вісь обертання, яка напрямлена поздовж рядків та встановленого безпосередньо на викопуючих пристроях. Дана конструкція гичкозрізувального механізму дозволяє збирати буряки з мінімальним вмістом гички та рослинних решток в бункері комбайну. Проте поряд з позитивною характеристикою даного пристрою для збирання гички

він має і свої недоліки, які охарактеризовуються складним приводом та металоємкістю.

Висновки до розділу 1

В першому розділі кваліфікаційної роботи магістра зроблено огляд джерел та технології вирощування цукрових буряків. Зокрема вказано показники, які найбільше будуть впливати на врожайність цукрових буряків. В розділі 1.2. проведено детальний огляд механізмів та пристроїв для зрізування гички, вказано їх переваги та недоліки.

2. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГИЧКОЗРІЗУВАЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ

2.1 Обґрунтування технологічного процесу збирання гички за допомогою запропонованого сільськогосподарського агрегату

Технологічний процес роботи запропонованої машини включає в себе наступні операції: піднімання гички лапами, що розміщені спереди машини, високе обрізання гички та направлення її взад машини до шнека-доочисника, видалення гички за межі машини шнеком-доочисником, видалення з тіла коренеплодів залишків гички. При чому для здійснення нормальних умов роботи ротора здійснюється піднімання гички в на висоту зрізу де вона попадає під дію ножів ротора. зрізування гички здійснюється ротором, на якому кріпляться ножі по колу в чотири ряди над рядками буряків. Далі гичка перекидається взад машини, що здійснює транспортування та укладання гички в рядок за межами гону. Послідовність виконання операцій залежить від методу збирання цукрових буряків і типу бурякозбиральних машин, що використовуються з розроблюваною машиною В даний час існує чотири методи збирання кормових буряків: ручний, комбайновий, поточний і перевалочний.

При ручному методі збору цукрового буряка використовують спеціальні бурякозбиральні знаряддя – бурякопідйомники, які менше порушують зв'язок коренеплоду з ґрунтом, а інші операції вручну. Цей метод найбільш трудомісткий і використовується тільки в тих випадках, коли не можливо використати бурякозбиральні машини.

Комбайновий спосіб збирання полягає в тому, що всі основні операції виконуються однією машиною-комбайном. Але в цьому випадку перед відправкою на місце складування коренеплодів потрібно доочищати. Доочищення виконується вручну або завантажувальними очисниками. Недолік комбайнового методу полягає в тому, що коренеплоди можуть лежати на полі в кучах або валках по декілька днів.



Рисунок 2.1.- Схема технологічного процесу збирання цукрових буряків

Поточний метод, при якому коренеплоди безпосередньо з бурякозбиральної машини завантажуються в транспортний засіб і направляються відразу до місць використання чи зберігання. Цей метод є найбільш перспективним. Він найменш трудомісткий, дає можливість провести збирання в найкоротші строки з найменшими втратами. Розрізняють однофазний і двохфазний поточний способи. При однофазному методі основною бурякозбиральною машиною служить комбайн, який обладнаний механізмами для очистки коренеплодів і завантаження їх у транспортні засоби. Двофазне поточне збирання цукрових буряків передбачає використання двох видів машин: окремо для збирання гички і окремо для викопування і очистки коренеплодів.

Перевалочний метод являє собою проміжний варіант між комбайновим і поточним методами. Його суть полягає в тому, що від комбайна коренеплоди вивозять не до мість зберігання, а на спеціально відведені площадки, недалеко від поля. На цих площадках буряки складають в бурти. З буртів корені, по мірі відправки їх на приймальні пункти забирають спеціальними навантажувальними очисниками. Цей метод по трудомісткості займає місце між комбайновим і поточним. Переваги полягають в тому, що при мінімальних потребах в транспорті він дає можливість швидко звільнити поле.

Робочі органи запропонованого пристосування взаємодіють з гичкою її фізико-механічні властивості наступні:

Таблиця 2.1 – Фізико-механічні властивості гички

№ п/п	Показники	Величина
1	2	3
1.	Сила опору гички вириванню $P_c, Н$	9,8-14,7
2.	Коефіцієнт питомого опору $,Н/мм$	0,34-0,43
3.	Тимчасовий опір черешків гички на розрив ,Мпа Зовнішніх внутрішніх	0,94 1,21
4.	Робота порушення зв'язку черешків гички з головкою при дотичному прикладанні сил. Дж	20,6
5	Щільність гички, $кг/м^3$	180-300
6	Коефіцієнт тертя: Сталь Дерево гума	0,4-0,8 0,5-1 0,8-1,2
7	Діаметр гички, мм	10-12
8	Сила злому $,Н$	2,2-2,5
9	Сила прогину $,Н$	0,1-0,6

2.2. Обґрунтування схем запропонованого гичнозрізуючого механізму

На функціональній схемі запропоновано механізму відображено основні функції, які виконують робочі органи пристрою в процесі зрізування гички, напрям руху матеріалу в процесі обробки.

Гичкозрізувальний механізм, який ми проектуємо призначений для зрізання гички, доочищення головок коренеплодів та транспортування її шнеком до правого краю машини.

Робоча швидкість пристрою повинна підбиратися такою, щоб основні робочі органи машин виконували як найкраще технологічний процес.

Машина працює слідує таким чином: машина вводиться в міжряддя і за допомогою гідравліки опускається на опорно-копіювальні колеса. Лапи для піднімання гички виставляються на висоту 7...10 см над ножами за умови піднімання полеглої гички і якісного її зрізання пересвідчившись в готовності машини до роботи приступають до роботи в полі .

Запускається трактор і здійснюється процес міжрядного переміщення при цьому лапи піднімають полеглу гичку , а ножі ,які кріпляться на барабані діаметром 150 мм і обертаються зі швидкістю 670 об/хв. здійснюють її зрізання і переміщення гички до шнека, що транспортує її до правого краю машини та вивантажує її на зібране поле. Далі буряки на яких зрізана гичка попадають під дію лопатей доочисника головок коренеплодів, який збиває залишки гички.

Переміщення та привід робочих органів запропонованого гичкозрізувального механізму по полю забезпечує тракторист з кабіни трактора.

Робочі органи гичкозрізуючого механізму розміщені в напрямку протікання технологічного процесу. Спереді машини розміщуємо пасивні лапи для піднімання полеглої гички, які кріпляться до поперечних брусів рами, зразу за ними розміщуємо ротор (гичкозрізуючий робочий орган), що являє собою вал, що обертається в двох підшипникових опорах. До валу прикріплюють ножі за допомогою приварених кронштейнів в які вставляється вісь. Зверху над ротором

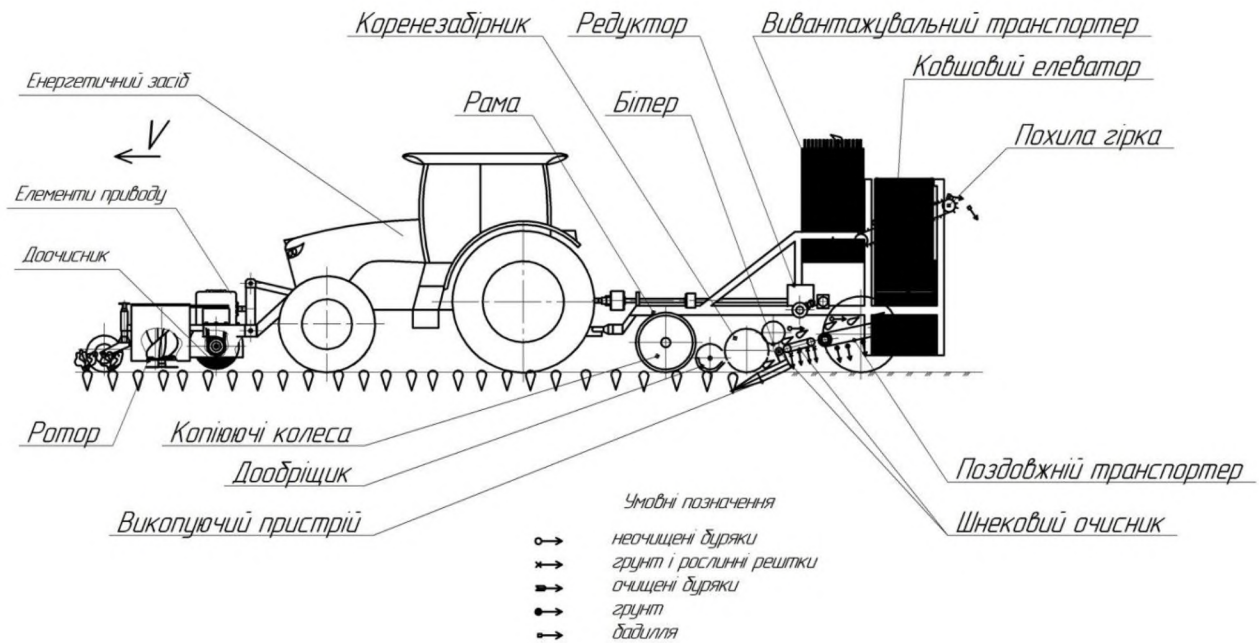


Рисунок 2.2. - Функціональна схема запропонованого сільськогосподарського агрегату

справа розміщуємо шнек для видалення гички за межі машини. Робочий орган закривають кожухом. Далі з зміщенням 10..15 см від гичкозрізуючих робочих органів розміщуємо очисник головок коренеплодів. Взаді та спереді на відстані 1.35 м від центру машини розміщуємо опорно-ходові колеса що служать для копіювання рельєфу ґрунту і утримання ротора для зрізування гички на заданій висоті зрізу. Колесо обертається на осі в підшипникових опорах. Вісь закріплена в рамці колеса. Ролик закріплений в кронштейнах рами машини і переміщується гвинтом, з його допомогою проходить регулювання висоти зрізу.

Рама являє собою просторову конструкцію з стандартних і спеціально гнутих профілів і є базою для монтажу всіх органів і вузлів машини. На рамі просвердлено всі отвори і приварено всі допоміжні кріплення для приєднання всіх необхідних робочих органів що встановлюються на машині.

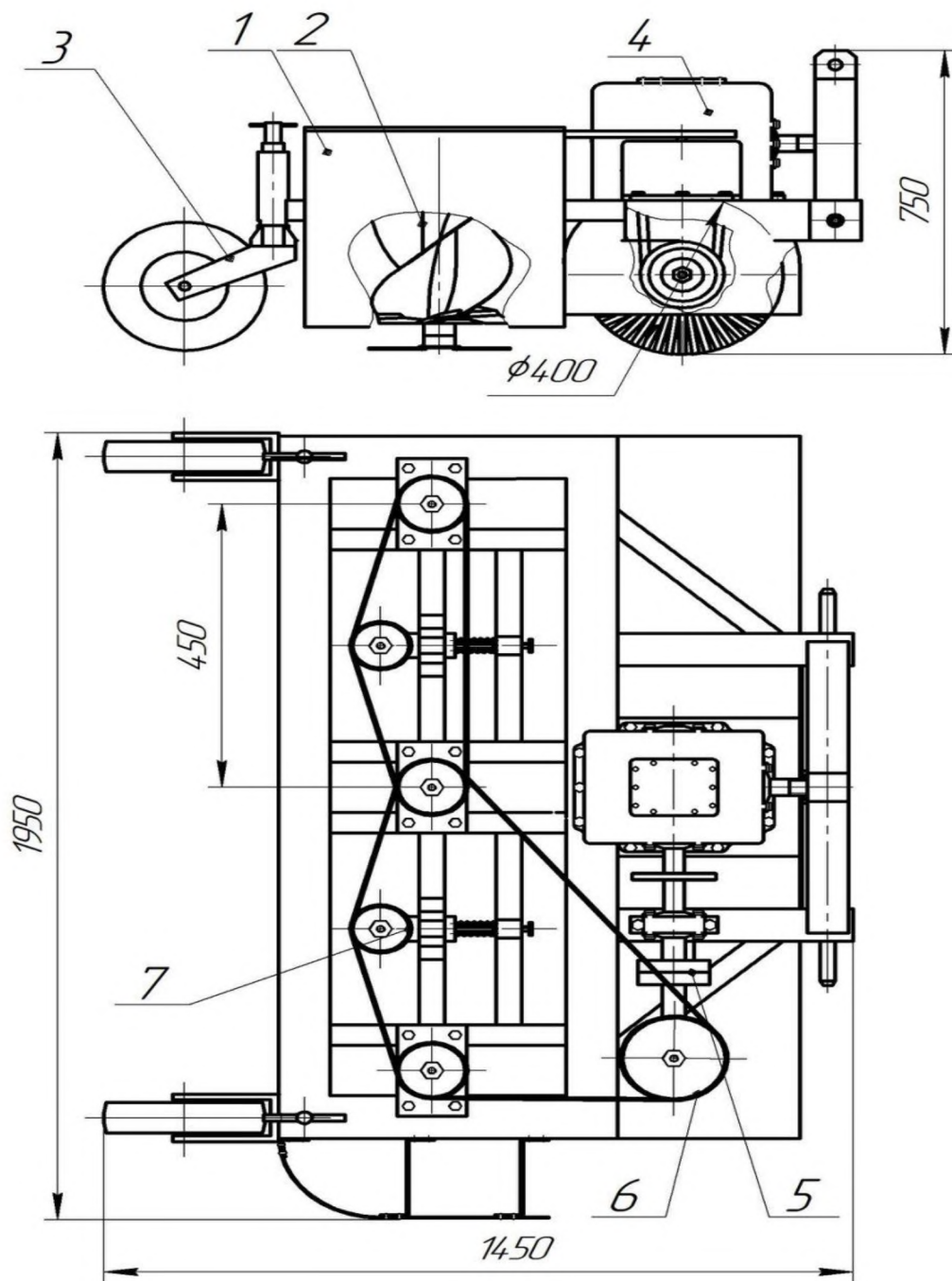


Рисунок 2.3 - Принципова схема гичкозрізувального механізму

2.3. Обґрунтування технологічних параметрів гичкозрізувального механізму.

Виходячи площі, що відводиться під цукрові буряки визначаємо необхідну продуктивність машини для збирання гички цукрових буряків.

Продуктивність машини розраховуємо за формулою:

$$Q = \frac{S}{D \cdot T \cdot \tau} \text{ га/год} \quad (2.1)$$

де Q - продуктивність машини га/год;

S= 100 га – середня площа земель в господарстві відведених під цукрові буряки;

D=20 днів – кількість днів, що відводиться під збирання цукрових буряків;

T- тривалість робочого дня;

τ =0.85 - коефіцієнт використання робочого часу/

Звідси за формулою (2.1) одержимо:

$$Q = \frac{100}{20 \cdot 10 \cdot 0,85} = 0,58 \text{ га / год.}$$

Отже, продуктивність запропонованого механізму буде забезпечувати свою участь в технологічному процесі в поєднанні з машиною для збирання коренів.

Визначимо потужність, що буде затрачатись на привід машини.

$$P = k \cdot B_m, \text{ кВт} \quad (2.2)$$

k- питомий опір бурякозбиральних машин Н/м згідно стор.

307 k=8000.....12000 Н/м k= 10000 Н/м;

$$B = n \cdot v_p, \text{ м} \quad (2.3)$$

v_p - ширина міжрядь $v_p=0,45$ м

n=6 – кількість рядків, що обробляється одночасно

$$B = 6 \cdot 0,45 = 2,7 \text{ м}$$

Отже згідно формули 2.2 одержимо:

$$P = 10000 \cdot 2,7 = 27000 \text{ Н} = 27 \text{ кВт}$$

2.4. Обґрунтування конструктивних параметрів гичкозрізувального механізму

2.4.1. Розрахунок оптимальної висоти обрізання гички на коренеплодах

Так, як урожай цукрових буряків складається з маси буряків і маси гички, то виникає необхідність оптимізувати величину відходів маси буряків в гичку.

В загальному випадку при використанні механічних гичкообрізчиків, які здійснюють зрізання гички на постійну висоту, відносно ґрунту одержим фактичний урожай коренеплодів A_1 .

$$A_1 = A - \Delta A_1 \quad (2.4)$$

ΔA_1 - відходи маси в гичку. Тоді урожай гички складе:

$$B_1 = B - \Delta B_1 + \Delta A \quad (2.5)$$

ΔB_1 - маса гички яка залишиться на головках буряків.

Звідси можна побачити залежність, що урожай буряків залежить від висоти зрізу. Для того перейдемо до втрат маси коренеплодів від висоти зрізу до об'ємних вимірювань і відповідно до маси відходів цукристої частини головок коренеплодів в зрізане бадилля, а також до масової величини втрат черешків гички на незрізаних головках.

Виділяють такі основні форми цукрових буряків:

- циліндрична головка;
- заголовка в вигляді зрізаного конуса;
- головка в вигляді напівсфери;

З цього можна представити залежність, що зв'язує відходи маси буряків і втрати черешків гички при зниженні висоти зрізу h_x і будуть виражатися залежностями.

$$\Delta A = \frac{\Pi \cdot \rho_k \cdot D_k^2 \cdot A \cdot \tau_h \cdot h_x}{8g_k} \quad (2.6)$$

де $\Pi = 3,14$

ρ_k - питома маса коренеплода;

A - фактичний урожай буряків;

D_k - середній діаметр коренеплода;

τ_h - середньоквадратичне відхилення від виступання головок з ґрунту;

h_x середня висота коренеплода;

g_k - середня маса коренеплода.

$$\Delta B = \frac{\Pi \cdot \rho_{\bar{o}} \cdot A \cdot \tau_h}{8g_k} - \frac{\Pi \cdot \rho_{\bar{o}} \cdot D_{\bar{o}}^2 \cdot \tau_h}{8g_k} \quad (2.7)$$

$\rho_{\bar{o}}$ - питтома маса гички;

$D_{\bar{o}}^2$ - середній діаметр гички

A, h_x, τ_h, g_k - приведені в формулі згідно можна привести, що відношення висоти зрізу h_x до середнього квадратичного відхилення висоти виступання головок з ґрунту з різними формами головок складе:

- для циліндричної:

$$\frac{h_x}{\tau_h} = 2.84$$

- для головки прямого зрізання конуса%

$$\frac{h_x}{\sigma_h} = 1.56 \quad (2.8.)$$

- для головки напівсферичної форми:

$$\frac{h_x}{\sigma_h} = 1.67 \quad (2.9)$$

Тоді оптимальна висота зрізу на коренеплодах з різними формами головок буде виражена залежністю:

$$h_{opt} = h + 2.84\sigma_h - \text{для циліндричної форми буряків};$$

$$h_{opt} = h + 1.56\sigma_h - \text{для зрізаного прямого конуса буряка};$$

$$h_{opt} = h + 1.67\sigma_h - \text{для напівсферичної форми буряка}.$$

Таким чином загальний вигляд рівняння прийме вигляд:

$$h_{opt} = h + m\sigma_h \quad (2.10)$$

де: m - коефіцієнт, що визначає відношення середньої висоти зрізу гички до середньоквадратичного відхилення і змінюється $0 \leq m \leq 3$

Для практичних розрахунків слід прийняти $m = 2.02 []$

Отже, оптимальна висота зрізу:

$$h_{opt} = h + 2.02\sigma_h \quad (2.11)$$

Звідси можна привести приклад. Якщо середня висота виступів буряків становить $h=105$ тоді $m=2,5$, а $\sigma = 10$ мм. Тоді:

$$h = 105 + 2,5 \cdot 10 = 130 \text{ мм}$$

2.5. Визначення оптимальних параметрів гичкозрізувального механізму головок коренеплодів

Ножі зрізуючих робочих органів виконують процес зрізування гички та подрібнення. Різання здійснюється ножами, що мають вигляд плоского трьохгранного чи просторового клина. Сила, що прикладається до ножа вказує значний тиск на матеріал, що приводить до порушення зв'язків між деякими частинами рослин.

Так в даній кваліфікаційній роботі магістра розробляється ротаційний робочий орган, що здійснює зрізування маси, закидання її взад до шнека та видалення шнеком за межі машини. Так зрізана гичка зрізуючим ротором попадає під удари ножів декілька раз і набирають кінематичної енергії поступає до шнекового очисника головок коренеплодів та по спіральній навивці транспортується до правого краю машини. Велика швидкість ножів, які одночасно працюють вимагає затрат великої потужності. Так, при ширині захвату 1.35 м. необхідна потужність для виконання роботи зрізування, подрібнювання та транспортування до 20кВт.

Для забезпечення нормального зрізу необхідно, щоб дійсна колова швидкість ножа була більша від критичної швидкості зрізу, що необхідна для вільно стоячих пучків гички:

$$g = \frac{\pi \cdot n \cdot R}{30} > g_n \quad (2.13)$$

Звідки:

$$n = \frac{30 \cdot \mathcal{G}_n}{\Pi \cdot R} \quad (2.14)$$

де R – відстань від осі обертання до леза ножа гичкозрізувального механізму.

Так радіус краю ножа можна визначити з умови, що розмір зони зрізування по вертикалі не повинен перевищувати велечину R . Звідси:

$$R = H - h \quad (2.15)$$

Практично радіус ножів на роторі знаходиться в межах 250...300мм. Прийmemo $R = 300$ мм.

Ширину зрізуючої частини ножа вибирають від найбільшої товщини гички.

$$B = d_{max} + (30...50)мм$$

Тоді за формулою:

$$B = 20 + (30 + 50) = 50...70мм$$

Згідно конструктивних особливостей машини прийmemo $B = 60$ мм.

Визначимо число рядків ножів, що проходять по одному сліду зрізу. Так, зв'язок довжини до числа зубів можна визначити з залежності:

$$B = 2n \cdot \mathcal{G}_m / z \cdot \varpi \quad (2.16)$$

Згідно конструктивних параметрів ротора $Z = 6$

де: \mathcal{G}_m - швидкість руху машини;

ϖ - кутова швидкість обертання ножа.

Кутова швидкість обертання ножів рівна:

$$\varpi = \frac{\Pi \cdot n}{30}$$

n – частота обертання гичкозрізуючого механізму згідно $n = 670$ об/хв

$$\varpi = \frac{\Pi \cdot 670}{30} = 70.13 \text{ хс}^{-1}$$

\mathcal{G}_m - швидкість руху машини (для машин, що приймають участь в процесі збирання цукрових буряків):

$$\mathcal{G} = \frac{W}{0,1 \cdot B_p \cdot \tau} \text{ км/год} \quad (2.17)$$

де: W - годинна продуктивність бурякопідйомних машин згідно [] стор 287

$W=0,5...0,67$ га/год. Прийmemo $W=0,5$ га/год

B_p - ширина захвату машини, м

τ - коефіцієнт використання робочого часу.

Звідси:

$$g = \frac{0,5}{0,36 \cdot 2,7 \cdot 0,85} = 1,2 \text{ м / с}$$

Довжина різання не повинна перевищувати ширини захвату ножа $B=0,07$ м.

Прийmemo $\ell = 0,035$ м

Звідси число ножів Z з формули (2.16) рівне:

$$Z = \frac{2 \cdot n \cdot g_m}{\ell \cdot \omega} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 1,2}{0,035 \cdot 107,62} = 4,2 \approx 4 \text{ ножи}$$

Визначимо продуктивність гичкозрізуючого механізму:

$$W = Q_m \cdot Q_z \text{ м / га} \quad (2.18)$$

Q_z - маса гички на 1 га $m / га$;

W_m - годинна продуктивність машини, $m / га$

Згідно з вага гички на 1 га рівна:

$$Q_z = (0,3...2)M_6 \quad (2.19)$$

M_6 - урожайність буряків $M=300$ ц/га

Звідси:

$$Q_z = 0,3M_6 = 0,3 \cdot 30 = 9 \text{ м / га}$$

Отже з формули (2.18) одержимо:

$$W = 0,50 \cdot 9 = 4,5 \text{ м / год}$$

2.6. Енергетичний розрахунок

Потужність, яку необхідно затратити для приводу гичкозрізуючого механізму
рівна:

$$N = N_1 + N_2, \text{кВт} \quad (2.20)$$

де N_1 – потужність яка необхідна для зрізування маси;
 N_2 – потужність яка необхідна на транспортування, кВт.

Отже:

$$N_1 = 3P_0 + \cdot \mathcal{G}_n \text{кВт} \quad (2.21)$$

де P_0 – питомий опір різання гички, Н/м²

\mathcal{G}_n - швидкість руху ножа, м/с.

$$\mathcal{G}_n = \omega_H \cdot R = 102,62 \cdot 0,35 = 35,91 \text{ м/с}$$

$$P_0 = h \cdot p \cdot S \cdot nH \cdot m$$

p – питомий опір різання, Н/м²;

S – подача на один ніж, м.

h – висота гички;

n – кількість ножів, що одночасно працюють, $n=3$

$$S = \frac{60}{n \cdot Z}, \text{ м} \quad (2.22)$$

n – частота обертання роторів, об/хв;

Z – число ножів ротора .

Звідси подача на один ніж вираховується за формулою:

$$S = \frac{60}{670 \cdot 6} = 0,01 \text{ м}$$

Отже:

$$P = 3 \cdot 3000 \cdot 0,01 \cdot 0,35 = 31,15 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$N_1 = 3 \cdot 31,15 \cdot 35,98 = 3400,11 \text{ Вт} \approx 3,4 \text{ кВт}$$

Потужність, що необхідна для очищення головок коренеплодів рівна:

$$N_2 = 0,08 \cdot 3A \cdot n \cdot k \quad (2.23)$$

де: A – робота , що затрачається на порушення зв'язків гички з черешками при дотичному прикладанні, Дж;

n - частота обертання очисника, об/хв;

k - Кількість бил, що одночасно працюють/

$$N_2 = 0,08 \cdot 33,9 \cdot 670 \cdot 1 = 7973 \text{ Вт} = 8 \text{ кВт}$$

Потужність, що затрачається на транспортування гички в сторону машини:

$$N_0 = \frac{k_0 \cdot B \cdot S \cdot Z \cdot a \cdot g_{\text{кр}}^2 \cdot \gamma}{2 \cdot 75 \cdot n} \cdot 736 \quad (2.24)$$

k - коефіцієнт, що залежить від форми робочих органів згідно стор. 155 $k=$

1

γ - об'ємна вага гички = 700 кг/м³;

B – ширина ножа 0,07 м;

A – висота гички $a=0,35$;

Звідси:

$$N_0 = 3 \cdot \frac{k_1 0,07 \cdot 0,01 \cdot 6 \cdot 0,35 \cdot 700 \cdot (35,9)^2}{2 \cdot 75 \cdot 9,81} \cdot 736 = 4989,95 \text{ Вт} = 4,9 \text{ кВт}$$

Отже, повна потужність рівна:

$$N_0 = 3,4 + 7,9 + 4,9 = 16,28 \text{ кВт}$$

Висновки до розділу 2

Виконання процесу збирання цукрових буряків складний та енергоємний процес. Часто збирання коренів відбувається в складних польових умовах. Запропонований механізм для зрізання гички покращить виконання технологічного процесу та дозволить зменшити енергозатрати на придбання машин для вирощування та збирання цукрових буряків. Даний гичкозбиральний механізм трирядний, начіпний (спереду енергетичного засобу). Він використовується в парі з трирядним причіпним комбайном та має використовуватись в фермерських господарствах з невеликими площами посівів.

За результатами проведених досліджень в другому розділі винесено:

1. Запропоновано технологічний процес збирання цукрових буряків в невеликих фермерських господарствах.
2. Запропоновано схему сільськогосподарського агрегату та гичкозрізувального механізму.
3. Зроблено технологічний розрахунок та проведено обґрунтування параметрів машини та запропонованого вузла, визначено потужність приводу запропонованого механізму.

3. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Загальна методика досліджень

Теоретичні та експериментальні дослідження в кваліфікаційній магістерській роботі проводилися поетапно. Експериментальній частині роботи передували дослідження стану питання на основі даних, опублікованих у науково-технічній літературі.

3.2 Визначення вологості гички цукрових буряків

При визначенні вологості гички цукрового буряка ми використовували сушильну шафу ВСЛК-1 та ваги лабораторні ВТК-500 із похибкою зважування не більше 0,005 г.

Для проведення дослідів відбирали середню пробу вагою 10.0-12.0 г, звільняли від ґрунтових залишок, розділяли на дві частини. Вагу частин брали 50 ± 1 г.

Подрібнену гичку та рослинні рештки наважок закладали в таровану посуду і ставили в сушильний шаф. Сушіння наважок проводили при температурі 100... 105°C. Перший контроль ваги проводили через годину, наступні через 15... 20 хвилин. Сушіння вважали закінченим при встановленні сталої ваги наважок подрібненої гички.

Абсолютна вологість наважок зразків w_a (у %) визначається за формулою:

$$w_a = \frac{m_g - m_c}{m_c} \cdot 100 \%, \quad (3.1)$$

де: m_g – маса вологої наважки гички, г;

m_c – маса наважки гички після висушування, г.

Значення абсолютної вологості гички обчислювали як середнє арифметичне результатів двох проб до першого десяткового знаку з округленням результату до одиниці. Якщо розходження між результатами паралельних аналізів було більше

1,5 %, то вони вважалися неправильними і досліди із визначення вологості наважок повторювалися.



Рисунок 3.1 – Лабораторні прилади і обладнання для визначення вологості гички та її вологовмісту:

Також використовувалося лабораторне обладнання сушильна шафа типу СНОЛ —3,5;3,5;3,5/3 з термометром зі шкалою від 0 до 400°C та ціною поділки 5°C; електронна вага ТВЛ-0,5 діапазон вимірювань від 0,5 до 500 г; набір бюксі; термометр “Testo 405V1” діапазон вимірювань від 0 до 100°C; вологомір МГ-44.

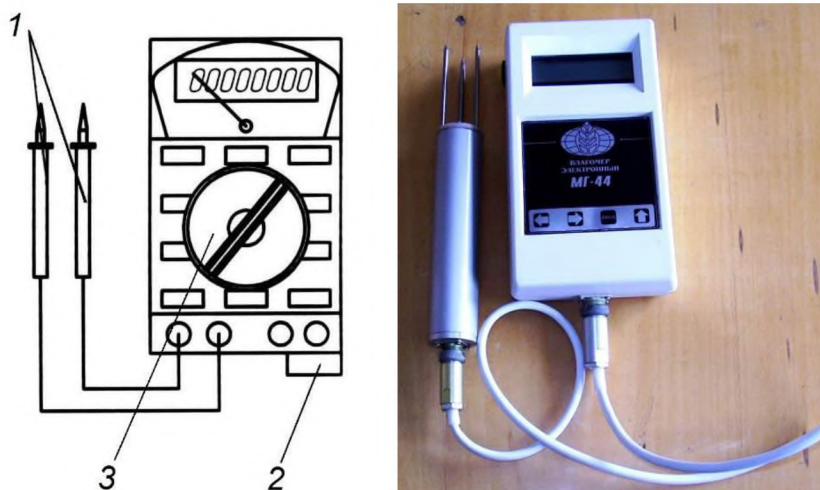


Рисунок 3.2 – Схема приладу UT70В та електронний вологомір МГ-44 (: 1 – щупи; 2 – інфрачервоний індикатор; 3 – цифровий прилад.

Зміну параметрів процесу втрати вологості фіксували на спеціальному цифровому приладі UT70В, який має автоматичний та ручний вибір шкал виміру і автоматичну індикацію полярності (рис. 3.2).

3.3 Визначення коефіцієнта тертя гички цукрових буряків

Мета дослідження – визначити коефіцієнти гички цукрових буряків по поверхнях робочих органів та знайти залежність коефіцієнту тертя від швидкості ковзання по поверхні.

Взаємодія робочих органів з матеріалом відбувається за рахунок тертя поверхонь робочих органів та гички цукрових буряків. Вирізняють тертя спокою - статичне тертя та ковзання – динамічне тертя. При переміщенні рослинних матеріалів по поверхні маємо тертя ковзання. Коефіцієнт тертя не є постійною величиною та залежить від розміру поверхонь дотику, чистоти обробки, швидкостей руху одної поверхні по іншій.

Дослідження по визначенню коефіцієнтів тертя проводимо в лабораторних умовах за описаною методикою. Коефіцієнти тертя гички цукрових буряків визначалися після підсихання гички цукрових буряків до 15 %.

Для проведення досліджень коефіцієнтів тертя гички цукрових буряків по різних поверхнях використовувалась лабораторна установка (рис. 3.3). Вона складається з гнучкої стрічки 2, що охоплює шків 1. До нижнього кінця стрічки прикріплений вантаж 3. Другий кінець стрічки приєднується до динамометра 5. Стрічка виготовлена з прорезиненої тканини та обклеєна з одного боку гичкою цукрових буряків. Вал барабану закріплюється в електродвигуні з латером, який дозволяє змінювати частоту обертання валу. До барабану притискається колесо тахометра 4 для визначення його колової швидкості. Барабани виготовлені з гумовою та сталеву поверхнями.

Для визначення коефіцієнта тертя гички цукрових буряків скористаємося відомою формулою Ейлера:

$$F_0 = F \cdot e^{-f\alpha}, H, \quad (3.2)$$

де F_0 – сила натягу збігаючої вітки, Н;

F – сила натягу набігаючої вітки, Н;

f – коефіцієнт тертя стрічки по барабану;

α – кут охоплення стрічкою барабану, рад.

З формули (3.2) можна визначити коефіцієнт тертя

$$f = \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \frac{F}{F_0}. \quad (3.3)$$

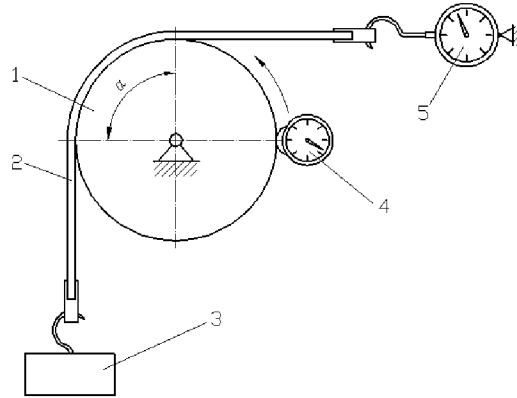


Рисунок 3.3 – Схема установки для визначення коефіцієнта тертя: 1 – шків; 2 – стрічка, 3 – вантаж, 4 – тахометр, 5 – динамометр.

В більшості випадків гичка цукрових буряків контактує з металевими та гумовими поверхнями, і тому коефіцієнти тертя гички цукрових буряків визначаємо по гумі та сталі. Повторювали досліди була 8... 10 разів.

Результати досліджень обробляли методами математичної статистики – розраховували середні величини та статистичні похибки. Потім будували графічні залежності визначених параметрів впливу швидкості ковзання на коефіцієнт тертя. Результати проведених дослідів наведено у таблиці 3.1 та рисунку 3.4.

Таблиця 3.1 – Статичні коефіцієнти гички цукрових буряків

Поверхня тертя	Інтервал значень	Середнє значення x_{cp}
Гичка цукрових буряків вологістю 15 %		
Гума	0,47 – 0,53	0,501
Сталь	0,33 – 0,38	0,353

Згідно даних таблиці 3.1 значення статичного коефіцієнта тертя для для сухої гички відповідно по гумі – 0,47 – 0,53, по сталі – 0,33 – 0,38.

За отриманими побудували криві (рис. 3.5).

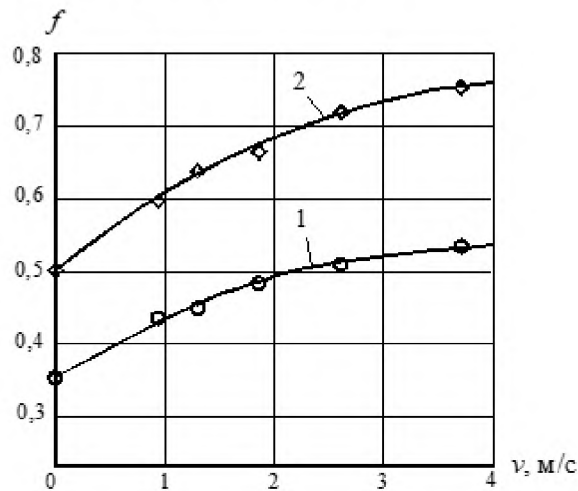


Рисунок 3.4 – Залежність коефіцієнту тертя f по стрічці гички з вологістю 15 % від швидкості обертання барабану v : 1 – по сталі, 2 – по гумі.

3.4 Визначення деформаційних характеристик гички цукрових буряків

Метою даного дослідження – встановити закономірність розтягу гички цукрових буряків та їх розривного навантаження.

При скошуванні гички цукрових буряків міцність має двозначний зміст: з однієї сторони, бажана мінімальна міцність (наприклад, руйнування гички цукрових буряків при ударі ножа).

Досліди проводилися в лабораторії кафедри на екстензометрі (рис. 3.5). Екстензометр складається із двох стійок 1 і 2, панелі 3, лічильника 5, затискувачів 6 і 7, індикатора 8, рухомого штока 9, нерухомого штока 10, зубчатої передачі і плоскої силовимірювальної пружини.

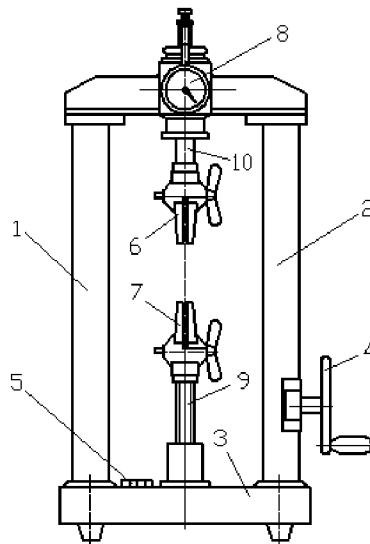


Рисунок 3.5 – Схема екстензометра.

При проведенні дослідів визначали силу розтягу P та видовження зразка Δl при дії сили. Знаючи діаметр гички d і довжину зразка l (тобто відстань між затискачами), визначали відносне видовження зразка ε та умовні напруження σ за формулами:

$$\begin{cases} \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\%; \\ \sigma = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d^2}, \text{ МПа.} \end{cases} \quad (3.4)$$

Напруження σ називається умовним, справжня площа поперечного січення рівна $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$. При конусній формі зразка значення d приймаємо як діаметр найменшого перерізу в зоні розтягу.

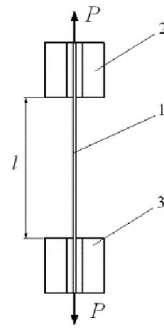


Рисунок 3.6 – Схема навантаження зразка: 1 – стебло; 2 і 3 – затискачі



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд установки для визначення розривного навантаження гички цукрових буряків.

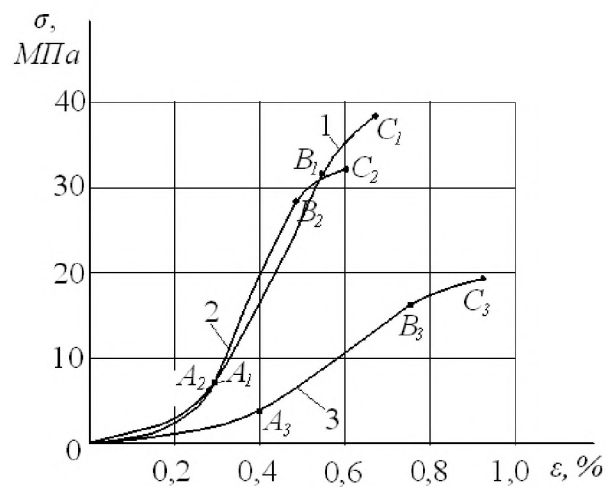


Рисунок 3.8 – Діаграми розтягу зразків гички цукрових біряків вологістю 15 %: 1 – верхня частина зразка; 2 – середня частина зразка, 3 – прикоренева частина зразка.

За результатами проведених досліджень побудували графічні залежності напружень від видовження (рис. 3.8) та провели узагальнення отриманих значень (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Фізико-механічні характеристики гички цукрових буряків

	Частина гички	Границя пропорційності, МПа	Границя міцності, МПа	Відносне видовження при розриві, %	Розривне навантаження, Н
Гичка цукрових буряків	прикоренева	18 – 28	20 – 34	0,61 – 0,84	80 – 125
	середня	50 – 68	53 – 74	0,56 – 0,72	225 – 255
	верхня	74 – 84	78 – 100	0,58 – 0,80	240 – 257

Значення розривного зусилля залежить від діаметра зразка. Для зразків із меншим діаметром розривне зусилля менше, а для зразків із більшим діаметром розривне зусилля більше. Обрив зразка проходить в зоні меншого діаметра.

3.5 Дослідження згину зразків гички цукрових буряків

Метою даних досліджень є – встановити закономірність згину зразків гички та зусилля злому, для підбирання необхідного обладнання для збирання гички.

Дослідження з визначення згину зразків гички проводили в лабораторії кафедри згідно з методикою. Згідно формули (3.5) проводили розрахунок кута згину стебел β при відстані між рифлями $l = 40$ мм та побудували залежності сили згину $P_{зг}$ від кута β (рис. 3.10).

Досліди проводили на екстензометрі (рис. 3.7) з пристроєм для дослідження згину (рис. 3.9).

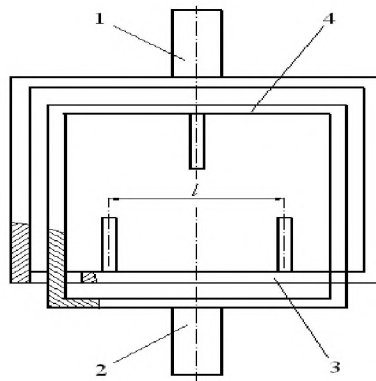


Рисунок 3.9 – Пристрій для дослідів згину зразків гички: 1 – верхній тримач зразків; 2 – нижній тримач зразків; 3, 4 – притискні пластини зразків з рифлями.

При проведенні дослідів фіксували величину згинальної сили зразка $P_{зг}$ та значення прогину зразка y (рис. 3.9). В момент злому зразка силу $P_{зл}$ та прогин злому $y_{зл}$ фіксували.

Кут згину зразка розраховували за формулою:

$$\beta = 2 \arctg \frac{2y}{l}, \text{ град}, \quad (3.5)$$

де y – прогин зразка, мм;

l – віддаль між опорними рифлями, мм.



Рисунок 3.10 – Екстензометр із пристроєм для проведення дослідів згину зразків гички.

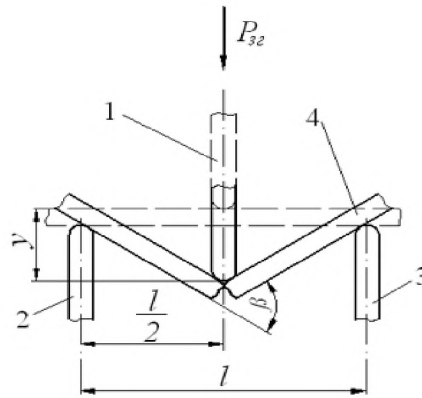


Рисунок 3.11 – Схема навантаження зразка гички при згині: 1, 2, 3 – затискні рифлі; 4 – зразок гички.

За отриманими даними будували залежності функції $P=f(\beta)$ та проводили аналіз одержаних значень (рис. 3.12) та заносили їх в таблицю (табл. 3.3).

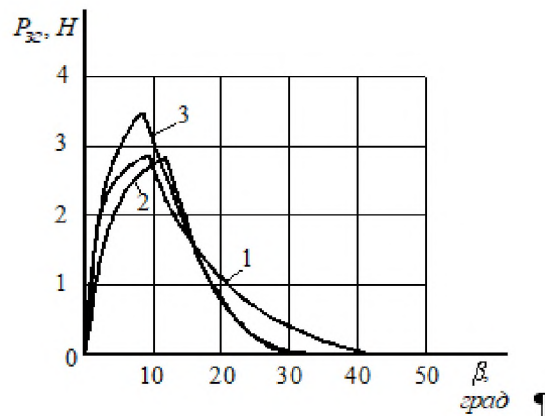


Рисунок 3.12 – графіки залежності сили згину зразків гички $P_{зг}$ від кута згину β зразків гички вологістю 15 %: 1 – верхня частина гички; 2 – середня частина гички, 3 – прикоренева частина гички.

Таблиця 3.3 – Сила і кут злому бадилля картоплі

	Частина гички	Сила злому P, Н	Кут злому, град
Гичка цукрових буряків	прикоренева	2,5 – 3,8	26 – 32
	середня	2,1 – 3,0	27 – 34
	верхня	2,5 – 3,2	36 – 43

Процес згину зразка для гички цукрових буряків протікає по-різному. На другій стадії процесу згину зразків спочатку проходить змінання змінання в

верхній частині зразка. Потім зразок гички сплющується та розтріскується. На кінцевому етапі злому середина зразка руйнується, волокна в нижній частині зразка натягуються.

3.6 Методика визначення зусилля різання гички цукрових буряків

Досліди з визначення зусилля різання гички проводились на виготовленій лабораторній установці (рис. 3.13).



Рисунок 3.13 – Експериментальна установка для визначення зусилля різання зразків гички

Для проведення досліджень визначалась вологість тих гички з яких вирізали частини гички: біля середини, верхівки окоренка,. Даний вибір обумовлюється різною висотою гички та з врахуванням відмінностей, що впливає на висоту встановлення ротора в процесі збирання гички. Вологість гички виявилась не визначальною, тому увагу було звернуто на фазу відмирання при всихання гички на коренеплодах.

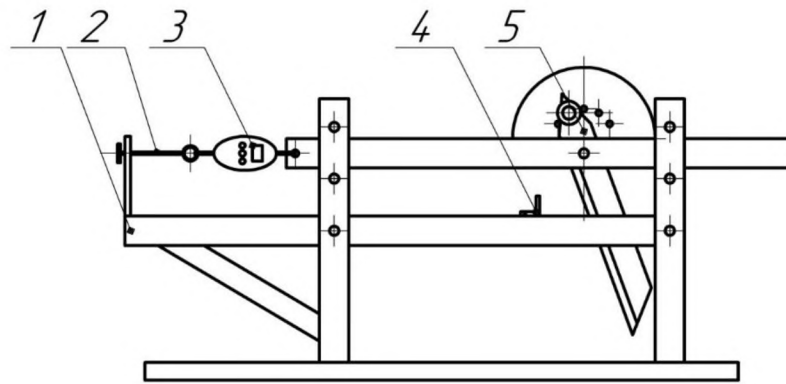


Рисунок 3.14 – Схема експериментальної установки для визначення зусилля різання зразків гички: 1– рама, 2 – натягуючий гвинт, 3 – динамометр, 4 – зажим, 5 – ніж з механізмом регулювання кута різання

При встановленні впливу вологості зразків та кута різання гички в різних фазах висихання використовували стандартну установку, зображену на рис. 3.13–3.14

За результатами проведених досліджень побудували графічні залежності сили різання до кута встановлення ножів (рис. 3.15) та провели узагальнення одержаних значень сили різання від кута різання зразків гички (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Зусилля різання зразків гички.

Діаметр зразків гички, мм	Середнє зусилля різання		
	30°	60°	90°
5,0-6,0	14,2	15,3	20,0
6,5-8,0	17,1	20,2	26,6
8,5-10,0	25,3	26,8	35,4

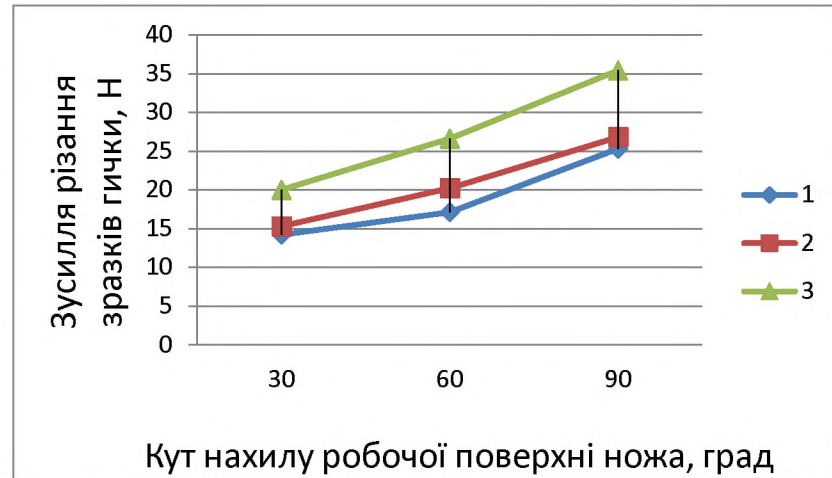


Рисунок 3.16 – Залежність зусилля різання зразків гички від кута встановлення леза ножа : 1 – верхня частина гички; 2 – середня частина гички, 3 – прикоренева частина гички

Висновки до розділу 3

1. Розроблено загальну методику проведення експериментальних та теоретичних дослідів для розробки технології збирання гички цукрових буряків.
2. Проведено визначення з фізико-механічних показників гички цукрових буряків.
3. Визначено початкову вологість матеріалу придатну для проведення експериментальних досліджень.
4. Визначено зусилля різання висушеної гички, яке буде використано при проектуванні ротора гичкозрізувального механізму.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ

4.1 Методика і результати експериментальних досліджень з використанням методу математичного планування експерименту

Дані дослідження проводились на лабораторному обладнанні показаному на рисунку 3.1.

Серед встановлених показників, які впливають на якість роботи гичкозбирального механізму найбільш впливовими є:

1. Діаметр зразків гички.
2. Швидкість руху сільськогосподарського агрегату.
3. Частота обертання ножів гичкозрізуючого механізму

З метою визначення продуктивності сільськогосподарського агрегату та степені зрізування гички в даному розділі кваліфікаційної роботи магістра використано симетричний некомпозитивний план Бокса-Бенкіна третього порядку

Планування експерименту включало слудуючі етапи: кодування факторів; побудова таблиці факторів та меж варіювання; складання матриці планування експерименту; реалізація вибраного плану експерименту згідно з матрицею планування експерименту; визначення коефіцієнтів рівнянь регресії; складання диференційованих рівнянь регресії; перевірка відповідності отриманих математичних моделей у вигляді системи рівнянь регресії; розкодування одержаних факторів.

При складанні таблиці запропонованих факторів та рівнів варіювання величин(таблиця 4.1) ми враховували результати попередніх дослідів та інформацію, яка отримана з літературних джерел. План Бокса-Бенкіна розрахований на використання трьох рівнів для кожного вибраного фактора нижнього рівня (-1), основного (0) та верхнього (+1).

Дослідження проводимо використовуючи матрицю планування експериментів (таблиця 4.1). У розкодованому вигляді матриця планування

експериментів представлена у таблиці 4.2. Порядок проведення експериментальних дослідів встановлювали, використовуючи таблицю випадкових величин.

Таблиця 4.1 – Фактори варіювання експерименту

Рівні варіювання величин	Фактори		
	Частота обертання ножів об/хв	Швидкість руху кукурудзозбиральн ого агрегату v , м/с	Діаметр стебел кукурудзи D , мм
	x_1	x_2	x_3
Нижній (-1)	650	2	4
Основний (0)	600	2.5	6
Верхній (+1)	550	3.0	8
Інтервал варіювання, ε	50	0,5	5.0

Кодування факторів проведеного експерименту здійснювали для переведення цих величин у безрозмірні величини. Зв'язок між кодованими і натуральними величинами факторів встановлювався залежностями:

$$x_1 = \frac{P - P_0}{\varepsilon_1}, \quad x_2 = \frac{h - h_0}{\varepsilon_3}, \quad x_3 = \frac{W - W_0}{\varepsilon_2} \quad (4.1)$$

де n , D , v – значення факторів на основному рівні, відповідно частота обертання ротора гичкозрізуючого механізму, діаметр гички та швидкість руху гичкозбирального агрегату ;

ε_1 , ε_2 , ε_3 – інтервали варіювання заданих факторів.

Для трифакторного дослідів повне квадратне рівняння має вид:

$$\begin{aligned} \bar{y} = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + \\ & + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Коефіцієнти регресії визначають за наступними формулами:

$$b_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}, \quad (4.3)$$

$$b_j = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n x_{ji} y_i, \quad (4.4)$$

$$b_{jr} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n x_{ji} x_{ri} y_i, \quad (4.5)$$

$$b_{jj} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 y_i - \frac{1}{16} \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 y_i + \frac{1}{2n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}, \quad (4.6)$$

де: r, j – номери фактору досліджу, причому у формулі (3.16) $r \neq j$,

x_{ji}, x_{ri} – кодовані значення j -го чи r -го фактору в i -му досліджу,

y_i – значення функції відгуку в i -му досліджу,

n – кількість досліджів,

y_{0u} – значення функції відгуку в u -му досліджу в центрі плану,

i – номер досліджу,

u – номер досліджу в центрі плану,

p – кількість факторів,

n_0 – кількість досліджів в центрі плану.

Оскільки експерименти проводимо з однаковою кількістю повторень, то однорідність ряду дисперсій перевіряємо за критерієм Кохрена. Для цього визначемо розрахукову величину даного критерію[9, 24]:

$$G^{розр.} = \frac{S_{y_i \max}^2}{\sum_{i=1}^n S_{y_i}^2}, \quad (4.7)$$

де $S_{y_i}^2$ – дисперсія, що характеризує розсіювання результатів в i -му досліджу,

$S_{y_i \max}^2$ – найбільша із дисперсій.

$$S_{y_i}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{g=1}^m (y_{ig} - \bar{y}_i)^2, \quad (4.8)$$

де g – номер повторності,

m – число повторностей в досліді,

\bar{y}_i – середнє арифметичне значення усіх повторностей i -го досліду,

y_{ig} – результат g -ї повторності i -го досліду.

Ряд дисперсій рахуємо однорідним, коли:

$$G^{розр.} < G^{табл.}(0,05;n;f), \quad (4.9)$$

де n – кількість дослідів,

$G^{табл.}(0,05;n;f)$ – табличне значення критерію Кохрена за 5%-го рівня значущості,

$f = m - 1$ – числа ступенів вільності.

При визначенні коефіцієнта регресії виявлялись дуже малі за цифровим значенням показники в тому довічі інтервали таких коефіцієнтів вважали статично незначущими.

Гіпотезу адекватності отриманої моделі перевіряли за допомогою F -критерію (критерію Фішера). Його розрахункове значення визначали за формулою:

$$F^{розр.} = \frac{S_{неад.}^2}{S_y^2}. \quad (4.10)$$

Дисперсія неадекватності $S_{неад.}^2$ становить:

$$S_{неад.}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - y_i)^2}{f_2}, \quad (4.11)$$

де y_i, \bar{y}_i – значення функції відгуку i -го досліду, визначене відповідно експериментально та за рівнянням регресії;

$f_2 = n - k'$ – число ступенів вільності дисперсії неадекватності з врахуванням числа k' залишених коефіцієнтів регресії (у тому числі і b_0).

Гіпотезу про адекватність рівняння приймали у тому випадку, коли розраховане значення F -критерію не перевищувало табличне:

$$F^{розр.} \leq F^{табл.} (0,05; f_2 f_1), \quad (4.12)$$

де $F^{табл.} (0,05; f_2 f_1)$ – табличне значення критерію Фішера за 5%-го рівня значущості і ступенів вільності дисперсії неадекватності f_2 та дисперсії відтворюваності f_1 .

Дана методика дослідження продуктивності гичкозбирального механізму, яка заснована на використанні плану реалізації експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку, дозволяє одержати математичну модель у вигляді рівнянь регресії. Функцією відгуку отриманого рівняння буде залежність зміни довжини подрібнення від діаметра гички d та швидкості руху гичкозбирального механізму v , при частоті обертання ротора n .

У всіх випадках відтворення експериментальних досліджень повторюваність дослідів становила від 3 до 6 разів. Розрахунок результатів проводили по схемі наведеній у джерелах.

Щоб одержати математичну залежність отримання бажаної продуктивності збирання малини від факторів, що досліджуються у вигляді рівнянь регресії, як результат, то було розроблено програму реалізації трьох факторного експерименту.

Розрахунок згідно даних три факторного експерименту реалізований за симетричним некомпозиційним планом Бокса-Бенкіна другого порядку, все це здійснювалось за допомогою у програмного середовища Mathcad. Перевірку однорідності ряду дисперсій проводили за критерієм Кохрена.

Оскільки $G^{розр.} = 0,313 < G^{табл.} (0,05; 15; 2) = 0,335$ [9, 24] то процес відтворюється.

Під час визначення довірчих інтервалів коефіцієнтів регресії використовували критерій Ст'юдента, табличне значення якого за 5-% рівня значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів $f_1=2$ становило $t=4,3$ [9, 24].

Перевірку значущості коефіцієнтів регресії проводили за встановленими їх довірчими інтервалами та варіаціями.

У результаті, рівняння регресії набуло вигляду:

$$\bar{y} = 34 + 6,777x_1 + 0,1x_2 + 0,067x_3 - 0,033x_1^2 - 0,444x_2^2 - 0,167x_3^2 \quad (4.13)$$

Перевірку гіпотези адекватності отриманого рівняння регресії проводили за критерієм Фішера. Розрахункове значення даного критерію при дисперсії неадекватності $S_{неад.}^2 = 3,102$ і дисперсії відтворюваності дослідів $S_y^2 = 0,028$ становило $F^{дi ф.} = 2,189$. Табличне значення критерію Фішера за прийнятого 5% значущості, згідно, склало:

$$F^{табл.}(0,05; f_2; f_1) = 19,38$$

де $f_2 = 7$ – число ступенів вільності дисперсії неадекватності;

$f_1 = 2$ – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів.

Таблиця 4.2 - Планування експерименту і черговість проведення дослідів

Черговість проведення дослідів	Фактори		
	n , об/хв	v , м/с	D , мм
1	650	2	6
2	550	3	6
3	650	2.5	6
4	550	2.5	6
5	650	3	8
6	550	2.5	8
7	650	2.5	4
8	550	2.5	4
9	600	3	8
10	600	2	8
11	600	3	4
12	600	2	4
13	600	3	8
14	600	3	8
15	600	3	8

Оскільки, $F^{розр.} = 2,189 < F^{табл.} (0,05; f_2; f_1) = 19,38$, то гіпотеза адекватності рівняння регресії підтверджується.

Остаточно рівняння регресії із факторами у натуральному вигляді набуло вигляду:

$$\omega = 37 + 0.34n + 1.71h + 0.55v - 0,167n^2 - 0,167h^2 - 0,167v^2 \quad (4.14)$$

Запропонована методика проведення експерименту за планом Бокса-Бенкіна дозволяє отримати математичні моделі для визначення кількісних та якісних показників: кінцеву частоту обертання ножів зрізуючого механізму η_o , %; можливість регулювати частоту обертання η_n , %; можливість регулювання швидкості руху агрегату з η_B , %; процесу обмолоту кукурудзи комбайнами. Аналіз рівнянь регресії дає можливість оцінити вплив на зміну вказаних показників таких факторів, як швидкість руху агрегату, діаметр гиски та частоти обертання ротора гичкозрізувального механізму.

Для відслідкування динаміки якості скошування гички отриманим рівнянням регресії були побудовані поверхні відгуку (рис. 4.3).

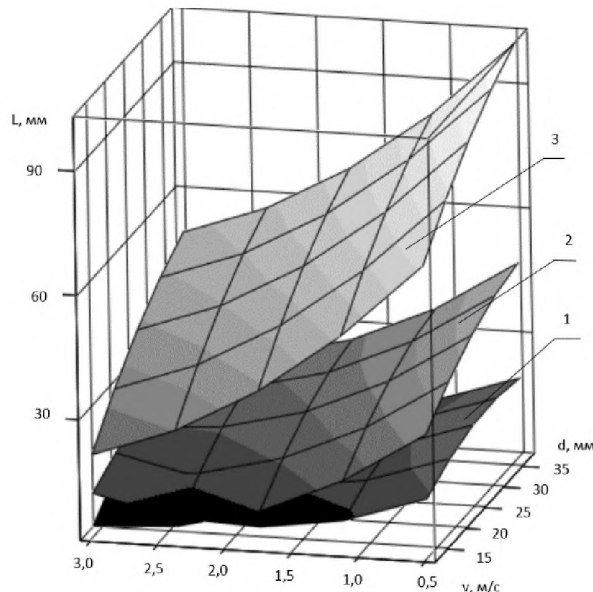


Рисунок 4.1 - Залежність зміни довжини подрібнення за діаметра гички d та швидкості руху гичкозбирального агрегату v , при частоті обертання ротора 1. $n=550 \text{ c}^{-1}$, 2. $n=600 \text{ c}^{-1}$, 1. $n=650 \text{ c}^{-1}$,

Висновки до четвертого розділу

Запропонована методика експериментальних досліджень методом математичного планування експерименту дозволила встановити взаємозв'язок між частотою обертанні ножів зрізуючого механізму, швидкістю руху гичкозбирального агрегату та діаметром гички. Степінь подрібнення гички впливає на якість подрібнення та на послідуочу його заробку в ґрунт ґрунтообробнитми агрегатами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі магістра запропоновано вдосконалену технологію збирання цукрових буряків та збирання гички та розроблено схему гичкозбиральної машини для використання в малих фермерських господарствах в складі сільськогосподарського агрегату.

В період розвитку малих фермерських господарств виникла потреба в розробці нових енергоощадних технологій вирощування різних сільськогосподарських культур. Тому пропозиції з проектування та конструювання малогабаритної техніки набуває особливого значення. Дана тема кваліфікаційної роботи магістра є досить актуальною темою. Наша розробка отримає застосування її на малих площах посіву та використання її з причіпним трирядним бурякозбиральним комбайном. Агрегаткування її можливе з тракторами з переднім навісним обладнанням. Гичкозбиральний механізм машини для збирання гички дасть змогу забезпечити якісне зрізування та транспортування її на зібране поле. Степінь подрібнення гички та якість очистки поля та головок коренеплодів буде забезпечувати вимоги до збирання та унеможливить її потрапляння на робочі органи бурякозбиральної машини.

В кваліфікаційній магістерській роботі було зроблено аналіз найбільш поширених гичкозрізувальних пристроїв. Розробка задовільняє всі показники збирання гички. Теоретично проведено обґрунтування параметрів гичкозрізувального механізму, зроблено розрахунок потужності приводу механізму, проведено експериментальні дослідження.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Барабаш Г. Особливості обґрунтування режимів роботи машинних агрегатів з використанням сучасних енергетичних засобів / Г. Барабаш, В. Зубко, О. Барабаш, Т. Щур // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – Львів: ЛНАУ, 2013. № 17. – С. 110 – 116.
2. Булгаков В.М. Теорія бурякозбиральних машин. Монографія / В.М. Булгаков. – К.: Видавничий центр НАН, 2005. – 245 с
3. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
4. Рибак Т. Обґрунтування схеми зрізування гички цукрових буряків плоским ножом / Т. Рибак, О. Цьонь // XVI наукова конференція ТНТУ імені Івана Пулюя „Матеріалознавство та машинобудування”. Том II. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2012. – С. 128.
5. Рибак Т. Огляд конструкцій бурякозбиральних комбайнів / Т. Рибак, О. Цьонь // XVI наукова конференція ТНТУ імені Івана Пулюя „Матеріалознавство та машинобудування”. Том II. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2012. – С. 134.
6. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Машини для рільництва / П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Сало; за ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2002. – 364 с.
7. Патент № 86895, Україна, МПК А01D 23/02. Дообрізувач гички з активним ножом / Рибак Т.І., Цьонь О.П., Сташків М.Я., Попович П.В., Цьонь Г.Б.; заявник та патентовласник Терноп. нац. техн. ун-т. – № u201309816; заявл. 07.08.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. №1. – 4 с.
8. Машини бурякозбиральні ДСТУ 2258-93. – К.: Держстандарт України, 1993. – 18 с.
9. Потаєва О. В умовах воєнного часу цукровий буряк набуває економічної доцільності для аграріїв. – 28.04.2022.// <https://agrotimes.ua/agromarket/v-umovah->

voyennogo-chasu-czukrovuj-buryak-nabuvayeekonomichnoyi-doczilnosti-dlya-
agrariyiv/.

10. Челапко Н. Цукровий буряк 2022. Посівні площі. Переробні потужності. Залишки й експорт//<https://latifundist.com/spetsproekt/964-tsukrovij-buryak-2022-posivni-ploshchi-pererobni-potuzhnosti-zalishki-j-eksport>.

11. Землеробська механіка. Т.2. Теоретичні основи сільськогосподарської механіки/А.С. Кобець, А.Г. Дем'яненко, О.Ю. Береза та ін. – Дніпро, «Свідлер А.Л.», 2022. – 712 с.

12. Механізація вирощування сільськогосподарських культур в Україні/ А.С.Кобець, О.Д.Деркач, М.І.Ролдугін, В.М.Яцук, П.М.Кухаренко, А.М.Пугач; Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет. – Дніпропетровськ, 2014. – 285 с.

13. Сільськогосподарські машини: підручник / Д.Г.Войтюк, Л.В.Аніскевич, В.В.Іщенко та ін.; за ред. Д.Г.Войтюка. – К.: «Агроосвіта», 2015. – 679 с.

14. Машиновикористання та екологія довкілля: Підручник/ Головчук А.Ф., Лімонт А.С., Бондаренко М.Г. За ред. А.Ф.Головчука. – К.: Грамота, 2007.- 360 с.

15. Патент 82972 Україна, МКИ7 А 01 Д 23/02. Машина гичкозбиральна / Барановський В.М., Смаль М.В., Паньків М.Р., Дубчак Н.А., Паньків В.Р. ; заявник і патентовласник Луцький національний технічний університет імені Івана Пулюя. - № u 201301438; зявл. 07.02.2013; опубл. 27.08.2013. Бюл. № 16/2013.

16. Онищенко В.Б. Напрямки вдосконалення технологічного процесу видалення залишків гички з головок коренеплодів / В.Б. Онищенко, В.В. Теслюк, І.М. Сторожук [та ін.] // Міжвід. темат. наук. зб. Механізація та електрофікація сільського господарства. XIV міжн. наук. – техн. конф. «Сучасні проблеми землеробської механіки», присвячена пам'яті акад. П.М. Василенка. – Глеваха, 2013. – с. 207 – 213.

17. Булгаков В.М. Теорія бурякозбиральних машин: Монографія / В.М. Булгаков, М.И. Черновол, Н.А. Свирень, - Кіровоград: “КОД”, 2009. – 256 с.

18. Дефоліатор 4 ROW 30 фірми Alloway Standard Industries [Електронний ресурс] // Інформація виробника – Режим доступу: [http:// www. Allowaystandart. Com](http://www.Allowaystandart.Com).

19. Рибак Т.І. Підвищення надійності сільськогосподарських машин. Том 4. / Т.І. Рибак. – Тернопіль: ТНТУ, 2012. – 279 с.

20. Проспект фірми «Джиллес»: «GILLES. Viel mehr als ein einfaches Rubenrodesystem».

21. Проспект фірми «Штоль»: «STOLL Zuckerrubentechnik. Maschinen fiar heute und die 90er Jahre».

22. Проспект фірми «Кляйн»: «KLEINE. Kleine - Umbau KC6B+Kleine Kopfroder KR6II».

23. Проспект фірми «Моро»: «MOREAU. Sugar beet harvester. Share Lifter: AS 350 6 ROW LIFTER».

24. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві// Затверджені наказом Міністерства соціальної політики України 29 серпня 2018 року № 1240, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 вересня 2018 р. за № 1090/32542.

25. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх освітніх програм денної та заочної форм навчання / уклад. Н.В. Ковальчук, Ю.Г. Фесіна, І.Л.Заблоцька Луцьк : ЛНТУ, 2023. 46 с.

ДОДАТКИ

Тема кваліфікаційної магістерської роботи:

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ З ВДОСКОНАЛЕННЯМ ГИЧКОЗРІЗУВАЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ

МЕТА РОБОТИ: Удосконалити технологію вирощування та збирання цукрових буряків, запропонувати конструкцію гичкозрізувального механізму, який покращить технологію збирання коренеплодів, а зокрема зрізування гички, подрібнення та транспортування її на зрізане поле

Об'єкт дослідження. Процес збирання, подрібнення та транспортування гички буряків.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ. Вплив робочих органів гичкозрізувального механізму на якість збирання буряків та ступінь пошкоджень коренеплодів

Завдання досліджень:

- провести огляд існуючих технологій вирощування та збирання цукрових буряків;
- провести обґрунтування параметрів розроблюваного вузла, призначеного для зрізування, подрібнення та транспортування гички на зібране поле;
- зробити експериментальні дослідження гички пов'язані з визначення її властивостей перед збиранням;
- запропонувати конструкцію гичкозрізувального механізму;
- запропонувати схему агрегату для збирання цукрових буряків.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Потужність, яку необхідно затратити для приводу гичкозрізуючого механізму рівна:

$$N = N_1 + N_2, \text{кВт}$$

де N_1 – потужність яка необхідна для зрізування маси;

N_2 – потужність яка необхідна на транспортування, кВт.

де P_0 – питомий опір різання гички, $P_0 = h \cdot p \cdot S \cdot n = 3 \cdot 3000 \cdot 0,01 \cdot 0,35 = 31,15 \text{ Н} \cdot \text{м}$

\mathcal{G}_n - швидкість руху ножа, $\mathcal{G}_n = \omega_H \cdot R = 102,62 \cdot 0,35 = 35,91 \text{ м/с}$.

S- подача на один ніж, м, h-висота гички; $S = \frac{60}{n \cdot Z} = \frac{60}{670 \cdot 6} = 0,01 \text{ м}$;

n- кількість ножів, що одночасно працюють, n=3

n- частота обертання ротора, об/хв;

Z- число ножів.

Звідси подача на один ніж вираховується за формулою:

Отже: $N_1 = 3P_0 \cdot \mathcal{G}_n = 3 \cdot 31,15 \cdot 35,98 = 3400,11 \text{ Вт} \approx 3,4 \text{ кВт}$

Потужність, що необхідна для очищення головок коренеплодів
рівна:

$$N_2 = 0,08 \cdot 3A \cdot n \cdot k = 0,08 \cdot 33,9 \cdot 670 \cdot 1 = 7973 \text{ Вт} = 8 \text{ кВт}$$

де: A – робота, що затрачається на порушення зв'язків гички з черешками при дотичному прикладанні, Дж;

n- частота обертання ротора, об/хв;

k- кількість ножів, що одночасно працюють/

$$N_2 = 0,08 \cdot 33,9 \cdot 670 \cdot 1 = 7973 \text{ Вт} = 8 \text{ кВт}$$

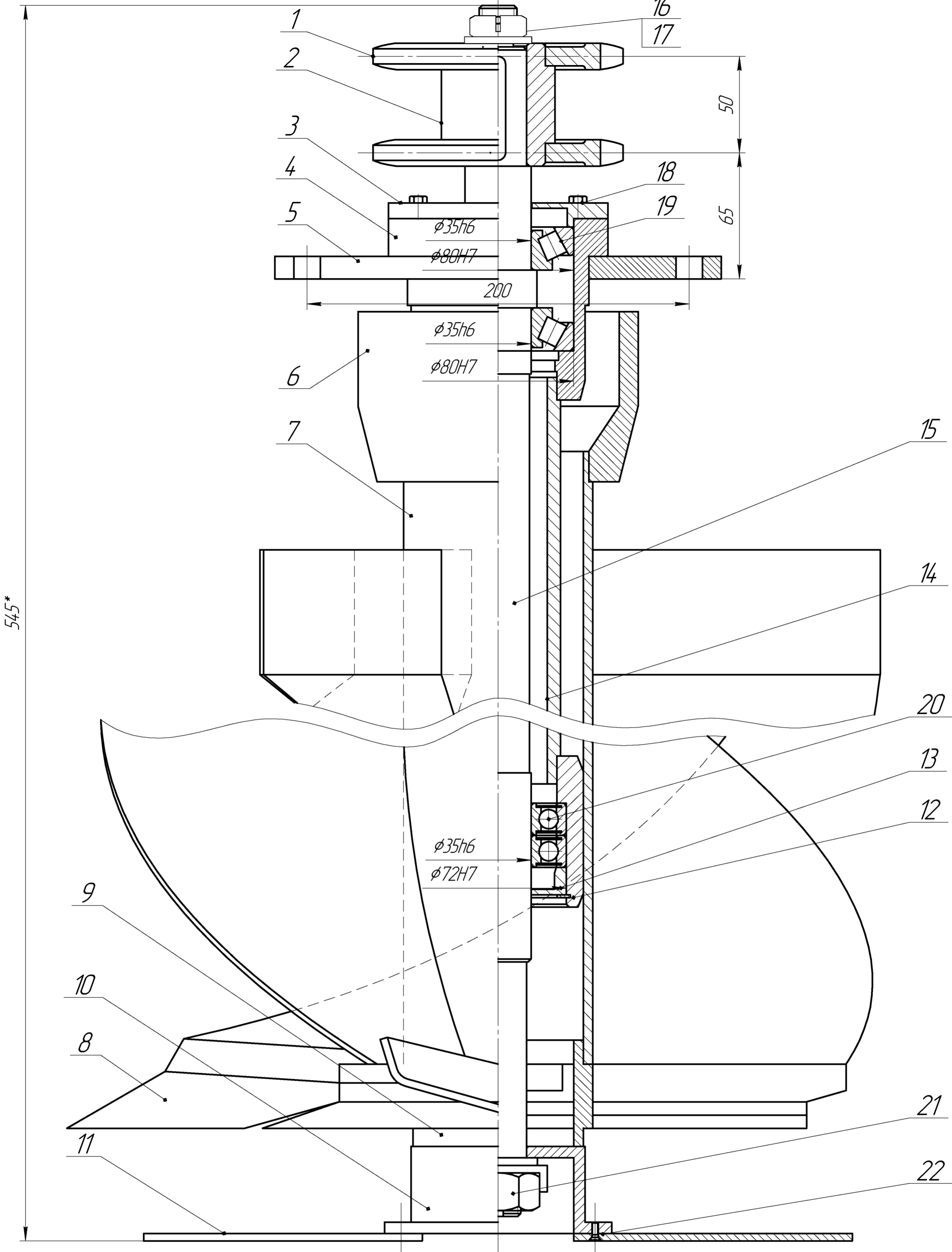
Потужність, що затрачається на транспортування гички в сторону машини:

$$N_0 = \frac{k_0 \cdot B \cdot S \cdot Z \cdot a \cdot \mathcal{G}_{кр}^2 \cdot \gamma}{2 \cdot 75 \cdot n} \cdot 736 = \frac{0,07 \cdot 0,01 \cdot 6 \cdot 0,35 \cdot 700 \cdot (35,9)^2}{2 \cdot 75 \cdot 9,81} \cdot 736 = 4989,95 \text{ Вт} = 4,9 \text{ кВт}$$

k- коефіцієнт, що залежить від форми робочих органів згідно стор. 155 k= 1; γ - об'ємна вага гички = 700 кг/м³; B – ширина ножа 0,07 м; A – висота гички a=0,35;

Отже, повна потужність рівна:

$$N_0 = 3,4 + 7,9 + 4,9 = 16,28 \text{ кВт}$$



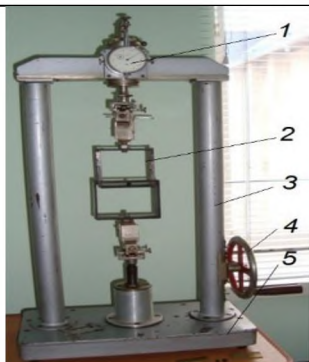
Інв. №	Інв. №	Інв. №	Інв. №	Інв. №	Інв. №
підп.	проб.	тех. вим.	констр.	монтаж.	експлуат.

Технічні вимоги

- * Розмір для довідок.
- Ротор в зборі встановлений на підшипникових опорах повинен легко обертатися без заїдань.
- Ротор в зборі збалансувати. Допустити дисбаланс - 100 Н/см.

КАІМБ3.02.00.0000 СК				Лист	Маса	Масштаб
Ротор				М	35	1:2,5
складальне креслення				Лист	Листів	1
Ізм. Лист				Луцький НТУ		
Разроб. Карасюк І.О.				каф. АІ ім. проф. Г.А. Хайліса гр. АІМ-21		
Проб. Тарасюк В.В.				Формат А2		
Т.контр.				Копіював		
Н.контр. Юхимчук С.Ф.						
Чтб. Хомич С.М.						

АПАРАТУРА І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



Екстензометр, переобладнаний для розриву гички буряків



Штангенциркуль



Електронний вологомір МГ-44 та електронний термометр



Термометр “Testo 405V1” діапазон вимірювань від 0 до 200°C



Прилад для вимірювання сили різання стеблових культур



Прилат для вимірювання кута злому

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

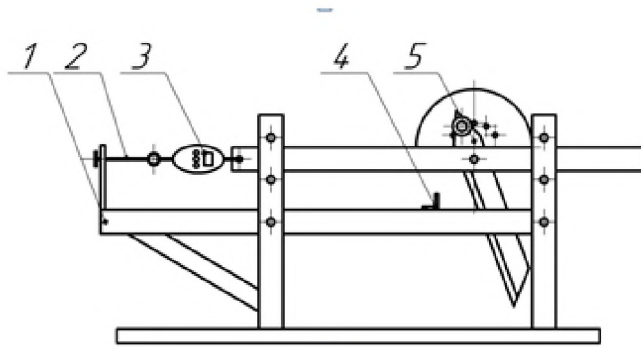
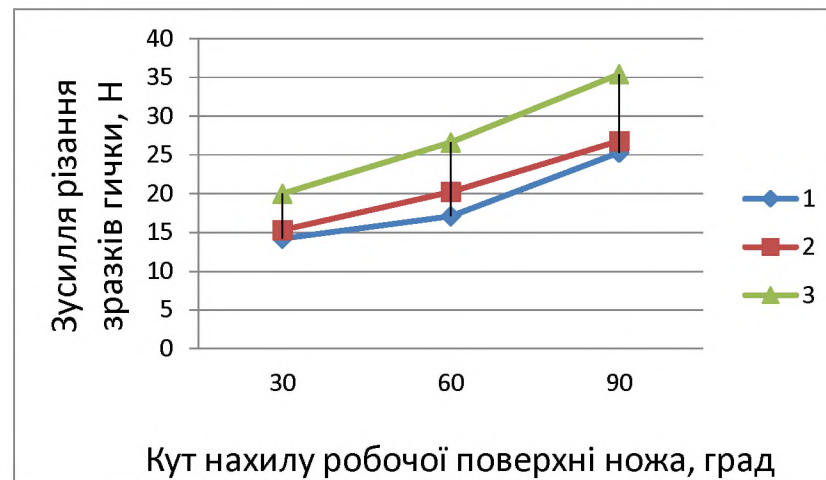


Схема установки з визначення сили різання гички: 1– рама приладу, 2 –гвинт, 3 – динамометр, 4 –зажими, 5 – рухомий ніж з регулюванням кута різання



Лабораторне устаткування для визначення сили різання



Залежність зусилля різання від кута свтановлення леза: 1 – верхня частина гички; 2 – середня частина гички, 3 – прикоренева частина гички

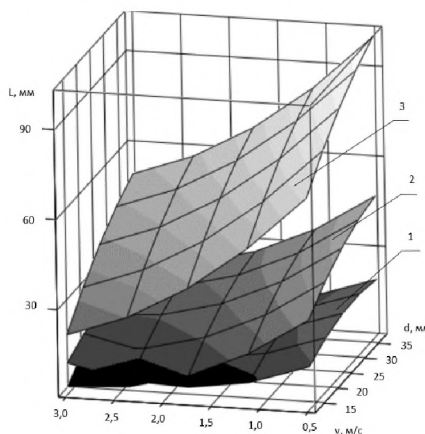
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИТАННЯМ МЕТОДУ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ

Фактори варіювання експерименту

Рівні варіювання величин	Фактори		
	Частота обертання ножів ротора n , об/хв	Швидкість руху сільськогосподарського агрегату v , м/с	Діаметр зразків гички цукрових буряків D , мм
	x_1	x_2	x_3
Нижній (-1)	550	2	4.0
Основний (0)	600	2.5	6.0
Верхній (+1)	650	3.0	8.0
Інтервал варіювання, ε	50	0,5	2.0

Рівняння регресії

$$\bar{y} = 34 + 6,777x_1 + 0,1x_2 + 0,067x_3 - 0,033x_1^2 - 0,444x_2^2 - 0,167x_3^2$$



Залежність зміни довжини подрібнення від діаметра гички цукрових буряків d та швидкості руху гичкозбирацької машини v , при частоті обертання ротора 1. $n=550 \text{ c}^{-1}$, 2. $n=600 \text{ c}^{-1}$, 3. $n=650 \text{ c}^{-1}$,