

Центральноукраїнський національний технічний університет

ЦЗДО

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

\_\_\_\_\_ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

### **ДИПЛОМНА РОБОТА**

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти  
на тему:**

«Механізація вирощування кукурудзи з обґрунтуванням конструкції і параметрів кормозбирального комбайна КПИ–2,4»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,  
групи АІ-24МЗ

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Жеребецький Олег Миколайович

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Сергій МОРОЗ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент

професор, докт. техн. наук

\_\_\_\_\_ Віктор АУЛІН

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

м. Кропивницький



6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1–6	Сергій Мороз		

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пояснювальна записка	25.12.2025 р.	
2	Графічна частина	25.12.2025 р.	
3	Захист роботи	25.12.2025 р.	

Дата видачі завдання

« 13 » жовтня 2025 р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

« 13 » жовтня 2025 р.

Підпис здобувача

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## **Анотація**

**Тема: «Механізація вирощування кукурудзи з обґрунтуванням конструкції і параметрів кормозбирального комбайна КПІ–2,4»**

**Технологія вирощування, кукурудза, кормозбиральний комбайн, подрібнювач, потужність**

У магістерській роботі розглянуто питання підвищення ефективності технології вирощування **кукурудзи** шляхом удосконалення кормозбирального комбайна. Встановлено, що якість подрібнення листостеблової маси культури суттєво впливає на надої та якість молока, а також приріст ваги. Для забезпечення високих показників якості подрібнення зеленої маси подрібнювачем проведено аналіз конструкцій сучасних причіпних та начіпних кормозбиральних комбайнів, в тому числі КПІ–2,4, та визначено їх переваги та недоліки, що обмежують якість його роботи.

У роботі виконано теоретичні дослідження визначення витрат потужності на привод подрібнювача в залежності від його конструктивно–технологічних параметрів та властивостей культур, що збираються.

Запропоновано конструктивне вдосконалення кормозбирального комбайна КПІ–2,4, яке передбачає модернізацію конструкції подрібнювача. Це дозволило підвищити якість зрізання стебел рослин та зменшити втрати врожаю на полі.

Результати роботи можуть бути використані під час модернізації кормозбиральних комбайнів у фермерських господарствах та впровадження енергоощадних технологій при заготівлі зелених кормів.

## **Abstract**

**Topic: "Mechanization of corn cultivation with justification of the design and parameters of the forage harvester KPI–2.4"**

**Cultivation technology, corn, forage harvester, chopper, power**

The master's thesis considers the issue of increasing the efficiency of corn cultivation technology by improving the forage harvester. It was established that the quality of crushing the leaf-stem mass of the crop significantly affects milk yield and milk quality, as well as weight gain. To ensure high quality indicators of green mass crushing by the chopper, an analysis of the designs of modern trailed and mounted forage harvesters, including KPI–2.4, was conducted, and their advantages and disadvantages were identified that limit the quality of its work.

The paper carried out theoretical studies to determine the power consumption for the chopper drive depending on its design and technological parameters and the properties of the crops being harvested.

A constructive improvement of the forage harvester KPI–2.4 is proposed, which involves modernizing the design of the chopper. This allowed to improve the quality of cutting plant stems and reduce crop losses in the field.

The results of the work can be used during the modernization of forage harvesters in farms and the introduction of energy-saving technologies in the harvesting of green fodder.

## Зміст

	стор.
Вступ .....	5
2. Технологічна частина .....	7
3. Наукова частина .....	20
4. Охорона праці.....	45
5. Обґрунтування ефективності вдосконалень .....	49
Висновки .....	50
Список використаної літератури.....	51
Додатки .....	

## ВСТУП

Кукурудза є однією з ключових сільськогосподарських культур сучасного землеробства, що відіграє визначальну роль у формуванні кормової бази тваринництва, виробництві зерна, силосу та біоенергетичної сировини. Завдяки високій урожайності, універсальності використання та добрій адаптації до різних ґрунтово-кліматичних умов кукурудза займає провідне місце у структурі посівних площ аграрних підприємств України. Ефективність її вирощування значною мірою залежить від рівня механізації технологічних процесів, особливо на етапах збирання та заготівлі кормів.

Сучасні тенденції розвитку агропромислового комплексу характеризуються зростанням масштабів виробництва, підвищенням вимог до якості кормів, скороченням строків виконання польових робіт та зниженням енерго- і трудомісткості технологічних операцій. У цих умовах особливої актуальності набуває вдосконалення машинно-тракторного парку, зокрема кормозбиральних комбайнів, які є ключовими машинами у технологічному ланцюгу заготівлі кукурудзи на силос. Недостатній технічний рівень або конструктивні недоліки таких машин призводять до підвищених втрат урожаю, нерівномірності подрібнення рослинної маси, зростання питомих витрат палива та зниження загальної ефективності виробництва.

Незважаючи на значну кількість серійних кормозбиральних комбайнів, що використовуються у вітчизняному сільському господарстві, багато з них морально застаріли або не повною мірою відповідають сучасним агротехнічним та експлуатаційним вимогам. Особливо це стосується робочих органів, які безпосередньо взаємодіють із стеблостійкою кукурудзи та здійснюють зрізування, подрібнення і транспортування рослинної маси. У процесі експлуатації таких машин виявляються проблеми, пов'язані з нерівномірним навантаженням, підвищеним зношуванням деталей, перевитратою енергії та недостатньою якістю подрібнення, що негативно

впливає на поживну цінність силосу та подальшу ефективність годівлі тварин.

У зв'язку з цим модернізація кормозбиральних комбайнів є важливим і перспективним напрямом розвитку сільськогосподарського машинобудування. Вона дозволяє адаптувати наявні машини до сучасних умов експлуатації без повної їх заміни, зменшити капітальні витрати аграрних підприємств і підвищити техніко-економічні показники процесу збирання кукурудзи. Особливе значення при цьому має удосконалення конструкції робочих органів, оптимізація їх кінематичних і силових параметрів, а також забезпечення надійності та довговічності вузлів комбайна.

Механізація вирощування кукурудзи охоплює широкий комплекс технологічних операцій — від підготовки ґрунту та сівби до збирання і транспортування врожаю. Проте саме процес збирання є найбільш відповідальним та енергомістким етапом, від якого значною мірою залежить кінцевий результат виробництва. Тому наукове обґрунтування та практична реалізація заходів з модернізації кормозбирального комбайна з урахуванням умов вирощування кукурудзи є актуальним завданням сучасної агроінженерії.

Актуальність даної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності використання наявних кормозбиральних машин, зменшення втрат кукурудзяної маси під час збирання та покращення якості подрібнення корму шляхом конструктивного вдосконалення комбайна. Реалізація технічно обґрунтованих рішень з модернізації сприятиме зниженню експлуатаційних витрат, підвищенню продуктивності машин та загальному зростанню рентабельності виробництва кукурудзи на силос.

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Аналіз технології вирощування кукурудзи на корм

Лушіння стерні виконують безпосередньо під час або відразу після збирання попередника. Основною метою цієї операції є розпушування верхнього шару ґрунту, накопичення та збереження вологи і поживних речовин, знищення бур'янів і шкідників, а також створення сприятливих умов для подальшої основної оранки. Своєчасне та якісне лушіння значною мірою підвищує ефективність наступних ґрунтообробних заходів [1–12].

Органічні добрива у поєднанні з мінеральними є основою раціональної системи живлення сільськогосподарських культур, забезпечуючи рослини доступними формами макро- і мікроелементів. За вирощування кукурудзи на зерно середнє винесення елементів живлення становить приблизно 24,6 кг азоту, 9,9 кг фосфору та 25,5 кг калію на кожену тону продукції. Найінтенсивніше азот культура споживає у період формування качанів і наливу зерна [1–12].

Фосфор найбільше засвоюється кукурудзою у фазі молочно-воскової стиглості, однак особливо чутливою до його нестачі рослина є на ранніх етапах розвитку – у фазі двох–трьох листків. Дефіцит цього елемента в зазначений період призводить до уповільнення росту, подовження вегетації та зниження врожайності і якості зерна. Калій, у свою чергу, найбільш активно використовується під час проростання насіння; максимальне його споживання спостерігається за 10–12 днів до формування качанів, після чого інтенсивність засвоєння різко зменшується [1–12].

Як основне добриво в усіх ґрунтово-кліматичних зонах застосовують органічні добрива, які вносять під оранку після лушчення стерні. На підзолистих ґрунтах їх норма становить 30–40 т/га, тоді як на вилужених чорноземах – 15–20 т/га. Глибину основної обробки під кукурудзу визначають з урахуванням типу ґрунту та його механічного складу; на чорноземах оранку виконують плугами з передплужниками на глибину 27–30 см [1–12].

Ранньовесняне боронування проводять для розпушування поверхні орного шару та формування суцільного мульчувального шару, який зменшує випаровування води. Одночасно знищуються ранні сходи бур'янів і створюються сприятливі умови для фізичного дозрівання ґрунту в зоні загортання насіння. Від якості та своєчасності передпосівного обробітку значною мірою залежать рівномірність сходів, глибина загортання насіння, подальший ріст рослин і їх продуктивність [1–12].

Залежно від погодних умов, що складаються у передпосівний період, підбирають відповідні знаряддя та способи обробітку ґрунту. Часто культивацію поєднують із внесенням гербіцидів. Посів кукурудзи проводять тоді, коли температура ґрунту на глибині 10 см у денний час досягає 10–12 °С, оскільки за нижчих температур підвищується ризик ураження насіння хворобами. Ширина міжрядь зазвичай становить 70 см [1–12].

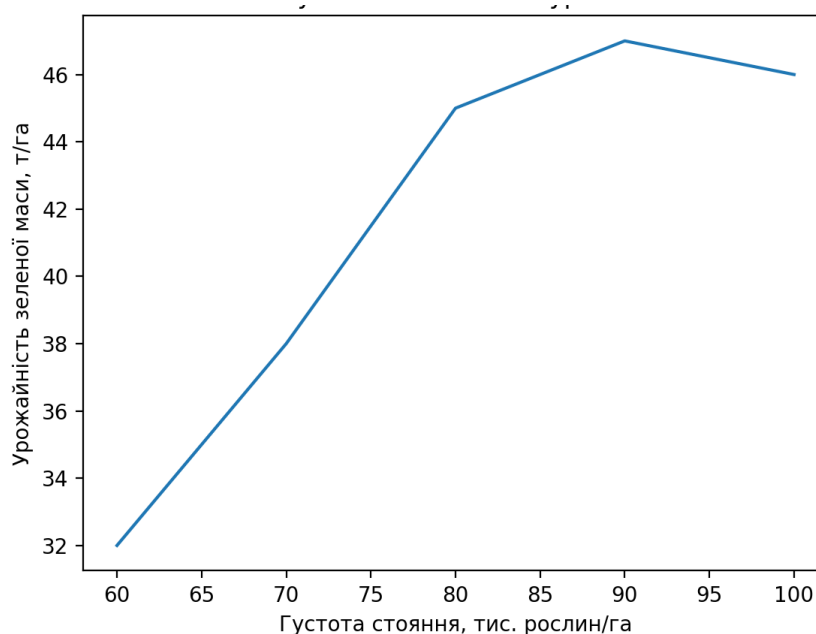


Рис. 2.1. Залежність урожайності зеленої маси від густоти стояння рослин

Норма висіву кукурудзи змінюється залежно від кліматичних умов і зони вирощування та коливається в межах 10–25 кг/га. З урахуванням можливих втрат рослин у польових умовах висівну норму встановлюють з перевищенням оптимальної густоти перед збиранням: у північних районах Степу – на 20–25%, у центральних і південних – на 15–20%. Оптимальна густота стояння рослин для

зернового напрямку використання становить 20–25 тис. рослин/га в посушливих районах, 30–40 тис. – у зонах недостатнього зволоження та 50–55 тис. – на зрошуваних землях [1–12].

Оскільки головною метою є максимальна суха маса зеленої біомаси, густина стояння рослин є ключовою. Норми висіву для зеленого корму вищі за зернові: 75–90 тис. рослин/га залежно від гібриду та умов живлення. Вища густина формує менші міжряддя й призводить до більш щільної рослинної маси, але вимагає доброго живлення та волого–теплого режиму.

За достатньої вологості ґрунту насіння загортають на глибину 5–7 см, а за пересихання верхнього шару – до 12–13 см. Одночасно з посівом доцільно вносити гранульований суперфосфат. Після сівби виконують прикочування, яке сприяє збереженню вологи, дещо підвищує температуру ґрунту та покращує контакт насіння з ґрунтом, що забезпечує отримання дружних і вирівняних сходів. Особливо ефективною ця операція є в умовах дефіциту вологи незалежно від попередника [1–12].

Підживлення мінеральними добривами здійснюють за допомогою культиваторів-рослинопідживлювачів. Під час першого міжрядного обробітку вносять  $N_{30-40}P_{20-30}K_{20-30}$ . У фазі шести–семи листків застосовують переважно азотні добрива, оскільки саме в цей період відбувається інтенсивне формування качана та наростання асиміляційної поверхні; фосфорні підживлення в цей час менш ефективні [1–12].

Застосування гербіцидів дає змогу зменшити кількість механічних доглядових операцій. Разом із тим за потреби можливе післясходове боронування, використання страхових гербіцидів і міжрядні культивації. Критичним для кукурудзи є період від появи сходів до досягнення рослинами висоти 15 см: якщо протягом перших 30 днів культура буде надійно захищена від бур'янів, подальше їх зростання суттєво не вплине на врожай [1–14].

Найдоцільніший строк застосування гербіцидів – фаза трьох–п'яти листків. Надто ранні обробки можуть спричинити пошкодження рослин, деформацію листків і стебел та зниження врожайності. Обприскування

виконують у суху, ясну й безвітряну погоду за температури повітря 14–22 °С [1–14].

Кукурудзу на зелений корм слід боронувати 2 рази. Післясходове боронування у фазі двох–трьох листків дозволяє знищити до 80% бур'янів, хоча можливі втрати до 10% культурних рослин. У фазі чотирьох–п'яти листків ушкодження кукурудзи мінімальні. Для цього використовують легкі або середні борони. Обробіток доцільно проводити у спекотний час доби, коли бур'яни швидше гинуть, а рослини кукурудзи стають менш чутливими до механічних впливів. Глибина розпушування становить 2–4 см, робоча швидкість агрегату – 4,5–5 км/год [1–14].

Перший міжрядний обробіток на глибину 10–12 см проводять у фазі двох–трьох листків, дотримуючись швидкості 5–6 км/год для запобігання присипанню сходів. Наступні культивації виконують у міру появи бур'янів: другий – на глибину 6–8 см, подальші – не глибше 5–6 см. Для підтримання поля в чистому й розпушеному стані проводять не менше трьох міжрядних обробітків [1–14].

З метою захисту рослин і їх кореневої системи встановлюють захисні зони: при першій культивації – 10–12 см, при наступних – 15–20 см. Під час першого обробітку в зоні рядків застосовують голчасті диски або дротяні борінки, які знищують лише сходи бур'янів. За необхідності наступний міжрядний обробіток виконують через 1–2 тижні, коли стебла знову набувають достатньої міцності. Культивацію можна проводити до висоти рослин у 50–60 см [1–14].

Під час останнього міжрядного обробітку за потреби застосовують полицеві підгортальники, встановлені на глибині 5–6 см і на відстані 20–25 см від рядка. За таких умов знищення однорічних бур'янів сягає 90–95%. Підгортання ефективно насамперед проти однорічних видів, сприяє підвищенню стійкості рослин до вилягання та, за достатнього зволоження ґрунту, стимулює утворення додаткових коренів [1–14].

Збирають кукурудзу на зелений корм – до і в період викидання волотей до молочної стиглості. Для збирання кукурудзи на силос і зелений корм застосовують самохідні або причіпні кормозбиральні комбайни [1–15].

## **2.2. Удосконалення технологічної карти на вирощування кукурудзи на корм**

Провівши аналіз існуючої технології вирощування кукурудзи на корм, з врахування сучасних досягнень у розвитку сільськогосподарської техніки та засобів захисту рослин, пропонуємо провести такі зміни у технологічній карті вирощування даної культури.

Замінюємо лушення стерні після попередника обробіткою комбінованим знаряддям. Це дозволить не тільки подрібнити грудки у верхньому шарі ґрунту, зрізати та загорнути рослинні рештки попередника та стебел зрізаних бур'янів, але й покращити повітряно–водний баланс.

Також пропонуємо замінити розкидання мінеральних добрив та оранку глибоким розпушенням ґрунту з одночасним їх внесенням. Таким чином навесні не буде потреби проводити боронування та вирівнювання поверхні поля важкими культиваторами.

Оскільки малі та середні селянські господарства, а також одноосібники не дозволяють собі купувати потужну спеціальну техніку, яка буде використовуватись за сезон протягом дуже короткого проміжку часу, то доцільно замінити самохідний кормозбиральний комбайн таким, що агрегується трактором. Для агрегування машини доцільно використовувати більш нову модель трактора замість застарілої, але дешевої.

## **2.3. Розрахунок складу машинного агрегату**

Виконаємо розрахунки кормозбиральних агрегатів за базовою та проектною технологіями до складів яких крім кормозбирального комбайна КПИ–2,4 входять, відповідно, трактори МТЗ–80 та CASE IH Farmall JX90.

Згідно агротехнічних вимог, при збиранні трав кормозбиральними комбайнами, швидкість руху не повинна перевищувати  $V_{max} 12$  км/год [27]. Згідно технічної характеристики трактора МТЗ-80 приймаємо 5-тю передачу руху, для якої  $V_T=10,54$  км/год, запасною буде 4-та передача з  $V_T=8,9$  км/год. Для трактора

CASE IH Farmall JX90 обираємо максимально допустиме значення робочої швидкості руху при виконанні оцієї операції, оскільки його трансмісія дозволяє рухатися з цією швидкістю.

Для роботи агрегату необхідно забезпечити таку умову:

$$N_{np} < N_{ввп},$$

де  $N_{np}$  – потужність для приведення в дію механізмів машини

$$N_{np} = N_n q, \quad (3.1)$$

де  $N_n$  – питома потужність для приведення в дію робочих органів,

$$N_n = 3,5 \text{ кВт} \cdot \text{с/кг};$$

$q$  – секундна подача маси в машину, кг/с

$$q = B_p V_p Y$$

де  $B_p$  – робоча ширина захвату машини,  $B_p = 1,8$  м;

$V_p$  – робоча швидкість агрегату, з урахуванням буксування

$$V_p^{баз} = V_m \left( 1 - \frac{\delta}{100} \right) = 10,54 \left( 1 - \frac{13}{100} \right) = 9,17 \text{ км/год};$$

$$V_p^{np} = V_m \left( 1 - \frac{\delta}{100} \right) = 12 \left( 1 - \frac{13}{100} \right) = 10,44 \text{ км/год};$$

$Y$  – урожайність кукурудзи,  $Y = 4$  кг/м<sup>2</sup>

$$q_{баз} = \frac{1,8 \cdot 9,17 \cdot 4}{3,6} = 18,36 \text{ кг/с};$$

$$q_{np} = \frac{1,8 \cdot 10,44 \cdot 4}{3,6} = 20,88 \text{ кг/с};$$

$$N_{np\text{ баз}} = 2,5 \cdot 18,36 = 45,9 \text{ кВт};$$

$$N_{np\text{ np}} = 2,5 \cdot 20,88 = 52,2 \text{ кВт};$$

$N_{ввп}$  – потужність, що передається через ВВП при русі агрегату

$$N_{ввп} = N_e \cdot \eta_{ввп} - \frac{(R_{коч.тр} + R_{коч.м}) \cdot V_p \cdot \eta_{ввп}}{3,6 \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_{\sigma}}, \quad (3.2)$$

де  $N_e$  – ефективна потужність двигуна,  $N_{e\text{ баз}} = 58,9$  кВт,  $N_{e\text{ np}} = 66$  кВт;

$\eta_{ввп}$  – ККД трансмісії ВВП,  $\eta_{ввп} = 0,95$ ;

$\eta_{mp}$  – ККД трансмісії трактора,  $\eta_{mp} = 0,93$ ;

$\eta_6$  – коефіцієнт буксування,  $\eta_6 = 1 - \frac{13}{100} = 0,87$ ;

$R_{коч.тр}$ ,  $R_{коч.м}$  – відповідно опір на пересування трактора і сільськогосподарської машини

$$\left. \begin{aligned} R_{коч.тр} &= G_{тр} (f + i) \\ R_{коч.м} &= G_{м} (f + i) \end{aligned} \right\}; \quad (3.3)$$

де  $G_{тр}$ ,  $G_{м}$  – відповідно маса трактора та сільськогосподарської машини,

$G_{тр баз} = 33400$  Н,  $G_{тр пр} = 39240$  Н,  $G_{м} = 30509$  Н;

$f$  – коефіцієнт опору коченню,  $f = 0,1$ ;

$i$  – величина підйому,  $i = 0,03$

$$R_{коч} = Gf;$$

$$R_{коч баз} = 33,4 \cdot (0,1 + 0,03) = 4,34 \text{ кН};$$

$$R_{коч пр} = 39,24 \cdot (0,1 + 0,03) = 5,1 \text{ кН};$$

$$R_{коч м} = 30,51 \cdot (0,1 + 0,03) = 3,97 \text{ кН};$$

$$N_{вен} = 58,9 \cdot 0,95 - \frac{(4,34 + 3,97)(0,1 + 0,03)9,17 \cdot 0,95}{3,6 \cdot 0,93 \cdot 0,87} = 52,72 \text{ кВт.}$$

$$N_{вен} = 66 \cdot 0,95 - \frac{(5,1 + 3,97)(0,1 + 0,03)10,44 \cdot 0,95}{3,6 \cdot 0,93 \cdot 0,87} = 62,15 \text{ кВт.}$$

Умова  $N_{пр} < N_{вен}$  задовольняється, оскільки  $45,9 \text{ кВт} < 52,72 \text{ кВт}$ , та  $52,2 \text{ кВт} < 62,15 \text{ кВт}$ , відповідно. Отже скомплектовані агрегати будуть працювати нормально.

Коефіцієнт використання тягового зусилля трактора

$$\eta_{тз} = \frac{R_{агр}}{P_{зак}},$$

де  $R_{агр}$  – загальний опір агрегату, кН;

$$R_{агр} = R_{коч} + R_{нід} + R_{\partial}, \quad (3.4)$$

де  $R_{нід}$  – відповідно опір машини підйому

$$R_{нід} = G \cdot i;$$

$$R_{\text{нідм}} = 30,51 \cdot 0,03 = 0,92 \text{ кН};$$

$R_{\text{д}}$  – додатковий опір, який чинять робочі органи, що приводяться в дію ВВП

$$R_{\text{д}} = \frac{3600 \cdot N_{\text{нр}} \cdot \eta_{\text{нр}}}{V_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{б}}} . \quad (3.5)$$

Отже,

$$R_{\text{дбаз}} = \frac{3600 \cdot 52,72 \cdot 0,93}{9,17 \cdot 0,87} = 2,21 \text{ кН};$$

$$R_{\text{днр}} = \frac{3600 \cdot 62,15 \cdot 0,93}{10,44 \cdot 0,87} = 2,29 \text{ кН};$$

$$R_{\text{агрбаз}} = 4,34 + 0,92 + 2,21 = 7,47 \text{ кН};$$

$$R_{\text{агрнр}} = 5,1 + 0,92 + 2,29 = 8,31 \text{ кН};$$

$P_{\text{зак}}$  – тягове зусилля трактора на відповідній передачі

$$P_{\text{зак}} = P_{\text{н.зак}} - G_{\text{тр}} \cdot i , \quad (3.6)$$

$$P_{\text{зак}}^{\text{б}} = 11,5 - 33,4 \cdot 0,03 = 10,5 \text{ кН};$$

$$P_{\text{зак}}^{\text{нр}} = 22,0 - 39,24 \cdot 0,03 = 20,82 \text{ кН};$$

$$\eta_{\text{тзбаз}} = \frac{7,47}{10,5} = 0,71;$$

$$\eta_{\text{тзнр}} = \frac{8,31}{20,82} = 0,40 .$$

Розрахунки показують, що скомплектовані агрегати працюватимуть ефективно, але в агрегата за проектною технологією більший запас використання тягового зусилля трактора.

Змінна продуктивність агрегату:

$$W_{\text{зм}} = 0,1 B_{\text{р}} \cdot V_{\text{р}} \cdot T_{\text{р}} , \quad (3.7)$$

де  $B_{\text{р}}$  – робоча ширина захвату комбайна

$$B_{\text{р}} = B_{\text{к}} \cdot \beta , \quad (3.8)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт використання ширини захвату агрегату,  $\beta=1,0$

$$B_p = 1,8 \cdot 1,0 = 1,8 \text{ м};$$

$\delta$  – коефіцієнт буксування,  $\delta=12\%$ .

Отже,

$$v_p^{баз} = 9,17 \left( 1 - \frac{12}{100} \right) = 8,07 \text{ км/год};$$

$$v_p^{np} = 10,44 \left( 1 - \frac{12}{100} \right) = 9,19 \text{ км/год};$$

$T_p$  – чистий робочий час, год:

$$T_p = T_{зм} \cdot \tau, \quad (3.9)$$

де  $T_{зм}$  – час зміни, год. Приймаємо  $T_{зм}=8,0$  год;

$\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни,  $\tau=0,712$  при довжині гонів 900 м.

Отже:

$$T_p = 8 \cdot 0,712 = 5,7 \text{ год.}$$

$$W_{зм}^{баз} = 0,1 \cdot 1,8 \cdot 8,07 \cdot 5,7 = 8,28 \text{ га/зм};$$

$$W_{зм}^{np} = 0,1 \cdot 1,8 \cdot 9,19 \cdot 5,7 = 9,43 \text{ га/зм.}$$

Витрати палива на 1 га площі:

$$Q_{за} = \frac{Q_{зм}}{W_{зм}}, \quad (3.10)$$

де  $Q_{зм}$  – витрата палива за зміну, кг/зм;

$W_{зм}$  – змінна продуктивність, га/зм.

$$Q_{зм} = Q_p \cdot T_p + Q_x \cdot t_x + Q_3 \cdot t_3, \quad (3.11)$$

де  $Q_p$ ,  $Q_x$ ,  $Q_3$  – відповідно годинні витрати палива при виконанні посадці, холостому русі, на зупинках, для МТЗ–80  $Q_p=15,3$  кг/год;  $Q_x=9,7$  кг/год;  $Q_3=1,2$  кг/год, для CASE IH Farmall JX90 JX  $Q_p=12,3$  кг/год;  $Q_x=7,3$  кг/год;  $Q_3=0,86$  кг/год;

$T_p$ ,  $t_x$ ,  $t_3$  – відповідно час робочих і холостих рухів, час зупинок:

$$t_x = t_3 = \frac{T_{зм} - T_p}{2}; \quad (3.12)$$

$$t_x = t_3 = \frac{8 - 5,7}{2} = 1,15 \text{ год.}$$

Отримані значення підставляємо у формулу (3.12) і проводимо розрахунок

$$Q_{з\text{мб}} = 15,3 \cdot 5,7 + 9,7 \cdot 1,15 + 1,2 \cdot 1,15 = 99,75 \text{ кг/зм};$$

$$Q_{з\text{мп}} = 12,3 \cdot 5,7 + 7,3 \cdot 1,15 + 0,86 \cdot 1,15 = 79,49 \text{ кг/зм.}$$

Отримані значення підставляємо у формулу (3.11) і проводимо розрахунок:

$$Q_{га}^{\text{б}} = \frac{99,75}{8,28} = 12,05 \text{ кг/год};$$

$$Q_{га}^{\text{м}} = \frac{79,49}{9,43} = 8,43 \text{ кг/год.}$$

Після проведених розрахунків приймаємо агрегат до складу якого входять трактор CASE IH Farmall JX90 та кормозбиральний комбайн КПИ–2,4.

#### **2.4. Розробка операційно–технологічної карти**

Розрахунок поворотних смуг.

Ширина поворотної смуги при безпетльових поворотах визначають:

$$E = 1,5R_{\text{min}} + L_a, \quad (3.13)$$

де  $R_{\text{min}}$  – мінімальний радіус повороту, м;

$L_a$  – кінематична довжина агрегату, м.

Радіус повороту

$$R_{\text{min}} = 1,7B;$$

де  $B$  – ширина захвату агрегату

$$R_{\text{min}} = 1,7 \cdot 1,8 = 3,06 \text{ м.}$$

Кінематична довжина агрегату

$$L_a = L_{\text{мп}} + L_m, \quad (3.14)$$

де  $L_{\text{мп}}$  – кінематична довжина трактора,  $L_{\text{мп}} = 0,96$  м;

$L_m$  – кінематична довжина сільськогосподарської машини,  $L_m = 5,5$  м

$$L_a = 0,96 + 5,5 = 6,46 \text{ м.}$$

Отже

$$E = 1,5 \cdot 3,06 + 6,46 = 11,05 \text{ м.}$$

Кратність величини поворотної смуги

$$E = K \cdot B_p,$$

звідки

$$K = \frac{E}{B_p} = \frac{11,05}{1,8} = 6,14$$

Приймаємо  $K=7$ . Тоді

$$E = 7 \cdot 1,8 = 12,6 \text{ м.}$$

Ширина загінки

$$C = \frac{10^4 (2 \dots 3) W_{зм}}{L}, \quad (3.15)$$

де  $L$  – довжина загінки,  $L=950$  м;

$(2 \dots 3)$  – кількість змін роботи агрегата, приймаємо 2

$$C = \frac{10^4 \cdot 2 \cdot 9,43}{1000} = 188,6 \text{ м.}$$

Кількість загінок:

$$n_3 = \frac{10^4 \cdot F}{L \cdot C_{онм}}, \quad (3.16)$$

де  $F$  – площа поля,  $F=87$  га

$$n_3 = \frac{10^4 \cdot 87}{950 \cdot 188,6} = 4,86$$

Приймаємо на одному полі чотири загінки шириною  $C_{1-4}=188,6$  м і одну загінку шириною  $C_5 = C_{1-4} \cdot 0,86 = 188,6 \cdot 0,86 = 192,2$  м.

Коефіцієнт робочих ходів

$$K_p = \frac{L_p}{L_p + L_x}, \quad (3.17)$$

де  $L_p, L_x$  – середнє значення робочої довжини загінки і холостого ходу.

$$L_p = L - 2 \cdot E; \quad (3.18)$$

$$L_x = 6R + 2 \cdot l, \quad (3.19)$$

де  $l$  – довжина виїзду агрегату

$$l = 0,5L_a = 0,5 \cdot 6,46 = 3,23 \text{ м};$$

$$L_p = 950 - 2 \cdot 12,6 = 924,8 \text{ м};$$

$$L_x = 6 \cdot 3,06 + 2 \cdot 3,23 = 24,82 \text{ м}.$$

Тоді

$$K_p = \frac{924,8}{924,8 + 24,82} = 0,97.$$

Коефіцієнт близький до одиниці, що вказує на високе використання робочого часу.

Тривалість одного циклу

$$T_u = \frac{12 \cdot L_p}{10^2 \cdot V_p} + 2t, \quad (3.20)$$

де  $t_n$  – час повороту в кінці загінки,  $t_n = 1,6$  хв;

$$T_u = \frac{12 \cdot 924,8}{100 \cdot 9,19} + 2 \cdot 1,6 = 15,28 \text{ хв} = 0,255 \text{ год}.$$

Технічна продуктивність за цикл

$$W_u = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_u \cdot \tau, \quad (3.21)$$

$$W_u = 0,1 \cdot 1,8 \cdot 9,19 \cdot 0,255 \cdot 0,712 = 0,30 \text{ га/ц}.$$

Кількість циклів за зміну

$$n_u = \frac{W_{зм}}{W_u}, \quad (3.22)$$

$$n_u = \frac{9,43}{0,3} = 31,43 \text{ ц/зм}.$$

Витрати палива за цикл

$$Q_u = Q_{га} \cdot W_u; \quad (3.23)$$

$$Q_u = 8,43 \cdot 0,3 = 2,53 \text{ кг/зм}.$$

На основі проведених розрахунків заповнюємо операційну технологічну карту.

## Висновки по розділу

Зміни в технології вирощування, що пропонуються, залежать від потреб та можливостей конкретного сільськогосподарського підприємства. Запропоновані зміни підходять господарствам з невеликими площами вирощування кукурудзи на зелений корм, що займаються тваринництвом та яким не потрібно купувати дорогий самохідний кормозбиральний комбайн, а достатньо обмежитись недорогим причіпним комбайном. Потрібно врахувати, що обидва будуть використовуватись протягом короткого проміжку часу.

Тому використання кормозбирального комбайна КПИ–2,4 в агрегаті з трактором CASE IH Farmall JX90 в оновленій технології вирощування кукурудзи на зелений корм доцільним.

На підставі проведеного аналізу технології вирощування кукурудзи формуємо мету та задачі досліджень визначаємо об'єкт та предмет досліджень.

**Мета дослідження:** підвищення якості роботи кормозбирального комбайна та зменшення витрат енергії на привід його робочих органів.

**Задачі досліджень:**

1. Дослідити витрати енергії на привод в роботу органів кормозбирального комбайна.

2. Встановити вплив конструктивно–технологічних параметрів подрібнювача листостеблової маси на витрати потужності його рушія.

**Об'єкт дослідження:** процес роботи подрібнюючого апарата кормозбирального комбайна.

**Предмет дослідження:** конструктивні та технологічні параметри подрібнюючого апарата кормозбирального комбайна.

### 3. НАУКОВА ЧАСТИНА

Тваринництво України сьогодні базується на принципах високої конверсії корму, що вимагає ідеальної якості подрібнення сировини. Причіпні та начіпні кормозбиральні комбайни займають важливу нішу, забезпечуючи потреби фермерських господарств, які не мають фінансової можливості або виробничої потреби в утриманні самохідних агрегатів. За останні 10-12 років конструкція цих машин трансформувалася від простих механічних систем до складних модульних комплексів. Основними критеріями оцінки сучасної техніки є енергоємність процесу, рівномірність фракції подрібнення та здатність до руйнування оболонки зерна. Проведемо аналіз моделей, присутніх на ринку України, з акцентом на їхні живильні та подрібнювальні модулі.

#### **Pöttinger MEX 6 (Австрія)**

Комбайн оснащено трьохвальковим живильним механізмом. Вальці мають агресивний профіль зі сталевими зубами, що забезпечує надійне затягування навіть переплутаної маси. Система оснащена механічним приводом від центрального редуктора.



Рис. 3.1. Кормозбиральний комбайн Pöttinger MEX 6

Подрібнювальний апарат використовує класичний дисковий ніж-маховик (flywheel). Ножі розташовані радіально, що дозволяє суміщати фазу зрізу з фазою інерційного викиду.



Рис. 3.2. Подрібнювач кормозбирального комбайна Röttinger MEX 6

Оригінальність конструкції полягає в тому, що диск виконує роль вентилятора. Однак такий підхід потребує ідеальної синхронізації швидкості вальців, оскільки при малій подачі диск починає "перебивати" масу в пил, що погіршує якість силосу.

### **Kuhn MC 180 S (Франція)**

Живильний механізм використовує ланцюгові живильники, інтегровані в жатку. Це дозволяє уникнути забивання на вході при збиранні високоврожайної кукурудзи.



Рис. 3.3. Кормозбиральний комбайн Kuhn MC 180 S

Подрібнювальний апарат дискового типу з 12-ма ножами. Особливість – наявність окремих лопаток для прискорення маси в силосопроводі.

Начіпна конструкція комбайна орієнтована на мінімальну вагу. Аналіз показує, що через відсутність повноцінного зернодробаря, модель ефективна лише в обмеженому вікні стиглості культури.

#### **Kongskilde (JF) FCT 1060 (Данія)**

Живильний механізм – система з чотирьох вальців великого діаметра. Використання верхніх підпружинених вальців дозволяє створювати високий тиск пресування маси.



Рис. 3.4. Кормозбиральний комбайн Kongskilde (JF) FCT 1060

Подрібнювальний апарат барабанного типу, який оснащений сегментними ножами, які кріпляться болтовими з'єднаннями, що полегшує їх заміну при пошкодженні камінням.

Це одна з найпотужніших причіпних машин. Аналіз живильника вказує на відмінну здатність до роботи з вологим сінажем, де інші моделі часто буксують.

#### **Lacotec LH II (Німеччина)**

Живильний механізм використовує інтелектуальну систему датчиків навантаження на вальцях. Якщо шар маси стає критичним, швидкість подачі автоматично корегується.



Рис. 3.5. Кормозбиральний комбайн Lacotec LH II

Подрібнювальний апарат барабанний з опціональним Corn Cracker. Спеціальне покриття ножів нітридом титану.

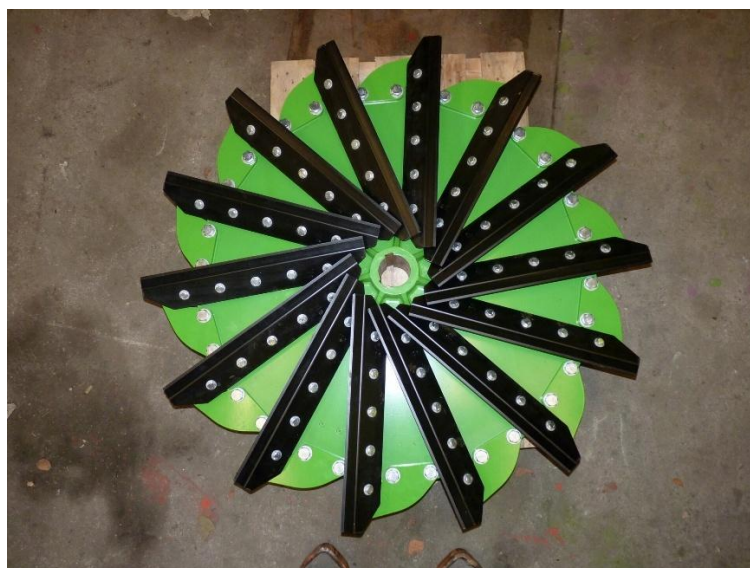


Рис. 3.6. Подрібнювач кормозбирального комбайна Lacotec LH II

Найбільш технологічна машина. Аналіз робочих органів свідчить про найвищу точність подрібнення (відхилення фракції не більше 5%).

### **Kemper Champion 1200 (Німеччина)**

Живильний механізм утворюють вертикальні ротори, що одночасно виконують роль різального апарату жатки та живильника–подрібнювача.



Рис. 3.7. Кормозбиральний комбайн Kemper Champion 1200

Подрібнювальний апарат швидкісний барабан малого діаметра.

Унікальна безрядкова система. Аналіз підтверджує, що така конструкція мінімізує енерговитрати на транспортування маси всередині агрегату, але потребує високої потужності трактора (від 200 к.с.).

### **Celikel Challenger (Туреччина)**

Живильний механізм – посилена коробка передач на вальці. Використовується сталь марки Hardox для виготовлення зубців живильника.



Рис. 3.8. Кормозбиральний комбайн Celikel Challenger

Подрібнювальний апарат дисковий, з надзвичайно потужною турбіною викиду.



Рис. 3.9. Подрібнювач кормозбирального комбайна Celikel Challenger

Аналіз роботи на українських полях показує, що комбайн легко справляється з переспілою кукурудзою, але має високий рівень шуму через аеродинаміку диска.

#### **Case IH FHX300 (США)**

Живильний механізм – це чотири вальці з електронним управлінням. Система "MetalSentry" миттєво зупиняє вальці при виявленні металевих предметів.



Рис. 3.10. Кормозбиральний комбайн Case IH FHX300

Подрібнювальний апарат – масивний барабанний блок. Використовується "тягнучий" зріз.

Аналіз підшипникових вузлів подрібнювача вказує на їх надлишковий запас міцності, що важливо при роботі 24/7.

#### **New Holland 717 (USA/EU)**

Живильний механізм має систему ступеневого регулювання швидкості вальців (до 12 позицій), що дозволяє дуже тонко налаштовувати довжину різки.



Рис. 3.11. Кормозбиральний комбайн New Holland 717

Подрібнювальний апарат барабанний. Ножі кріпляться під кутом, що створює ефект гільйотини.

Модель демонструє стабільність роботи на сінажі з бобових культур. Аналіз конструкції підтверджує мінімальне налипання соку рослин на робочі органи завдяки спеціальному шліфуванню внутрішніх стінок.

Аналіз моделей дозволяє виділити два основних напрями розвитку ЖМ:

1. **Жорсткий механічний зв'язок:** Забезпечує стабільність за будь-яких умов, але має ризик поломки при різкому заклинюванні. Жорсткий зв'язок між швидкістю ВВП та швидкістю подачі гарантує стабільну довжину різки навіть при зміні щільності маси. Характерний для моделей середнього цінового сегменту.
2. **Гідрооб'ємний привід:** Дозволяє плавно змінювати швидкість подачі незалежно від обертів ВВП трактора та адаптувати машину до вологості культури в режимі реального часу. Це критично для адаптації під мінливу врожайність поля.

Згідно з проведеним аналізом, дискові подрібнювачі (Pöttinger, Kuhn) витрачають на 10-12% більше енергії на фазу викиду маси, ніж барабанні. Це пов'язано з тим, що диск створює великий аеродинамічний опір. Однак барабанні подрібнювачі (Case IH, Kongskilde) потребують додаткового вузла – лопатевого прискорювача, що нівелює цю різницю в загальному енергетичному балансі машини.

Подрібнювальний апарат барабанного типу (Case IH, New Holland) має на 12-15% більшу пропускну здатність при однаковій ширині каналу порівняно з дисковим. Це пояснюється тим, що барабан захоплює масу по всій ширині, тоді як диск працює за принципом "кутового зрізу". Проте дискові апарати (MEX 6, Celikel) виграють у надійності при роботі з сухою кукурудзою, оскільки диск працює як маховик, нівелюючи нерівномірність моменту опору. Аналіз температурних режимів показує, що барабанні системи потребують кращого охолодження мастила в редукторах через вищі оберти робочих органів. Важливим фактором є кут заточування ножів. Аналіз показує, що для кукурудзи

оптимальним є кут 22-25°, тоді як для трав він має бути більш гострим (18-20°). Сучасні системи автоматичного заточування дозволяють підтримувати ці параметри без демонтажу ножів.

Важливим аспектом є кут нахилу живильника: у комбайнів **Kemper** він мінімальний, що знижує тертя маси об стінки корпусу, економлячи до 5% палива. Аналіз конструкцій **Lacotec** та **Case IH** підтверджує необхідність використання вальців-доподрібнювачів. Вони розташовуються між подрібнюючим апаратом та викидною трубою. Вальці мають зубчасту поверхню та обертаються з різною швидкістю (різниця становить 20-40%). Це забезпечує 100% руйнування зерна, що є обов'язковою вимогою для сучасних раціонів ВРХ.

Подрібнювальний апарат барабанного типу (**Case IH**, **New Holland**) має на 12-15% більшу пропускну здатність при однаковій ширині каналу порівняно з дисковим. Це пояснюється тим, що барабан захоплює масу по всій ширині, тоді як диск працює за принципом "кутового зрізу". Проте дискові апарати (**MEX 6**, **Selikel**) виграють у надійності при роботі з сухою кукурудзою, оскільки диск працює як маховик, нівелюючи нерівномірність моменту опору. Аналіз температурних режимів показує, що барабанні системи потребують кращого охолодження мастила в редукторах через вищі оберти робочих органів.

Якість подрібнення у всіх 12 моделях критично залежить від стану протирізальної пластини. Аналіз зносу в умовах України показав, що при роботі на піщаних ґрунтах кромка контрножа втрачає гостроту вже через 250 га. Моделі **Lacotec** та **Pöttinger** мають найкращу систему швидкого перевертання контрножа, що скорочує час простою в полі.

Проведений аналіз ринку України показав, що за останнє десятиліття причіпні та начіпні кормозбиральні комбайни еволюціонували у високотехнологічні агрегати.

- Для великих господарств з тракторами потужністю понад 250 к.с. оптимальним вибором є **Lacotec LH II** або **Case IH FHX300**, що мають найкращі показники процесингу зерна.

- Середнім фермерським господарствам доцільно звернути увагу на та **Pöttinger MEX 6**, які пропонують найкращий баланс між ціною та якістю різки.
- Бюджетний сегмент представлений моделлю КПІ-2,4, яка при належному обслуговуванні забезпечує базові технологічні потреби.

Головним трендом залишається впровадження гідравлічних приводів живильників та підвищення ресурсу різальних елементів шляхом використання нових сплавів.

### 3.2. Визначення потужності на роботу подрібнюючого апарата

Потужність на привід подрібнюючого апарата

$$N_n = \frac{N_{різ} + N_{приск} + N_m + N_{вен} + N_{мех}}{\eta}, \quad (3.1)$$

де  $N_{ст}$  – потужність на деформацію та перерізання стебел;

$N_m$  – потужність на надання масі початкової швидкості;

$N_в$  – потужність на подолання тертя маси об внутрішню поверхню кожуха;

$N_{вен}$  – потужність на подолання опору повітря;

$N_{хх}$  – потужність на подолання тертя в підшипниках та неохолощені витрати;

$\eta$  – ККД трансмісії приводу подрібнювача.

Потужність на деформацію та перерізання стебел

$$N_{різ} = \frac{k \cdot b \cdot h \cdot z \cdot n}{60}, \quad (3.2)$$

де  $k$  – коефіцієнт опору різанню;

$b, h$  – ширина та товщина шару

$z$  – кількість ножів;

$n$  – частота обертання.

Потужність на прискорення маси

$$N_{приск} = \frac{Q \cdot v_l^2}{2000}, \quad (3.3)$$

де  $Q$  – продуктивність комбайна;

$v_l$  – лінійна швидкість різальних кромek ножів.

Потужність на подолання тертя маси об внутрішню поверхню кожуха

$$N_m = \frac{f \cdot Q \cdot v_l^2 \cdot \varphi}{1000}, \quad (3.4)$$

де  $\varphi$  – кут контакту маси з кожухом у радіанах (дуга, по якій рухається маса від моменту зрізу до моменту викиду).

Потужність на подолання опору повітря

$$N_{вен} = C_w \cdot \rho_n \cdot F \cdot v_l^3, \quad (3.5)$$

де  $C_w$  – коефіцієнт аеродинамічного опору ножів;

$\rho_n$  – щільність повітря;

$F$  – площа фронтальної проекції робочих органів.

Потужність холостого ходу та механічних втрат

$$N_{мех} \approx (0,05 \dots 0,08) \cdot N_{різ}, \quad (3.6)$$

Тоді потужність на валу подрібнюючого апарата

$$N_n = \frac{1}{\eta} \left( \frac{1,1 \cdot k \cdot b \cdot h \cdot z \cdot n}{60} + \frac{Q \cdot v_l^2 (1 + 2 \cdot f \cdot \varphi)}{2 \cdot 10^3} + C_w \cdot \rho_n \cdot F \cdot v_l^3 \right), \quad (3.7)$$

Рівняння демонструє, що загальна потужність подрібнювача залежить не тільки від продуктивності комбайна, але й критично залежить від **швидкості обертання подрібнювача**, оскільки вона входить у рівняння у другому та третьому ступенях, будь-яке необґрунтоване підвищення обертів барабана призводить до різкого перевитрачання палива трактором.

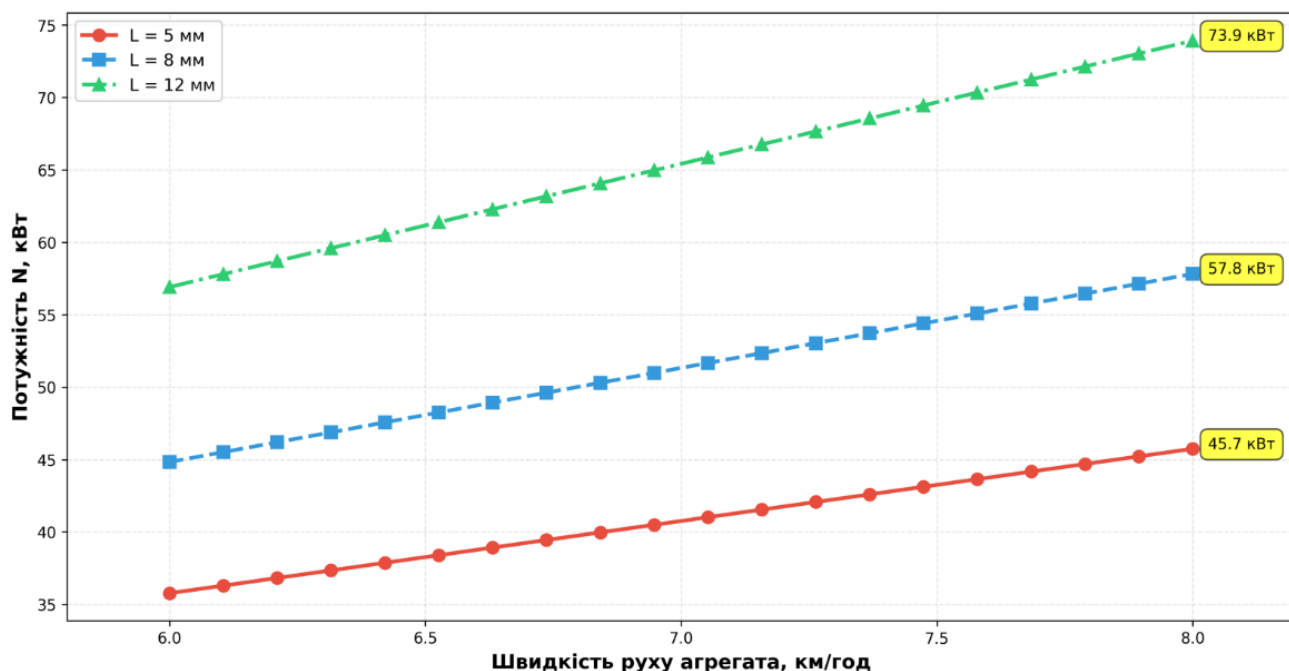


Рис. 3.12. Залежність витрат потужності від швидкості руху агрегата для подрібнених часток довжиною: 5 мм, 8 мм та 12 мм

Як видно з графічних залежностей витрати потужності зростають зі збільшенням руху, а також зі збільшенням довжини подрібнених часток.

У першому випадку зі збільшенням робочої швидкості збільшується подача стебел на подрібнення.

На ступінь подрібнення, тобто довжину часток, впливають кількість матеріалу, що подається до подрібнювача, яка впливає на товщину шару матеріалу, а також швидкість його подачі до нього так і кількість ножів.

### 3.3. Короткий опис розробленої в проекті машини

Кормозбиральний комбайн КПИ-2,4 являє собою причіпну машину, що складається з подрібнювача і трьох змінних робітників органів, Жатки для збирання силосних культур, жатки для збирання трав і підбирача.

Підбирач призначений для підбора попередньо скошених і підв'ялених трав з валків висотою до 0,6 м, шириною до 1,8 м з масою не більш 5 кг.

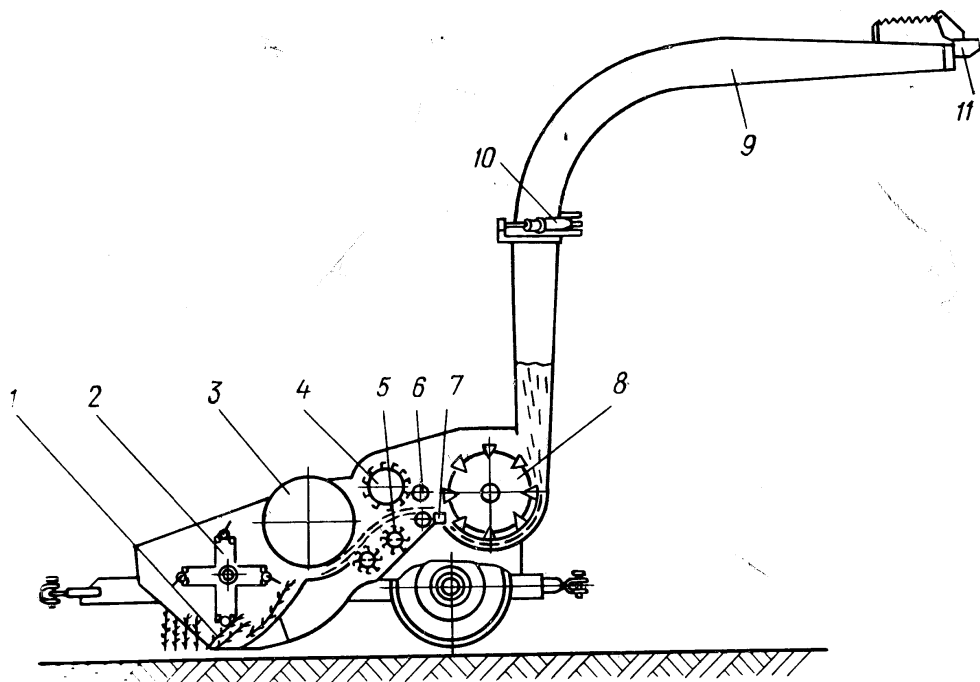


Рис. 3.13. Схема технологічного процесу комбайна КПІ-2,4

1 – підбираючий пристрій; 2 – пристрій притискний; 3 – башмак; 4 – шнек;  
 5 – вальці нижні; 6 – вальці верхні; 7 – валець гладкий; 8 – чистик; 9 – пластина протирізальна; 10 – підбарання; 11 – барабан подрібнюючий; 12 – камера подрібнювача; 13 – силосопровід; 14 – козирок

Жаткою для збирання силосних культур скошують кукурудзу, соняшник і інші високостебелові культури висотою до 4 м і діаметром стебел на висоті зрізу не більш 50 мм.

Жаткою для збирання трав скошують тонкостеблові культури висотою до 1,5 м.

Шнеки підбирача і жниварок звужують і направляють потік рослин у камеру живильного апарата, де передні вальці захоплюють його і подають на підпресовування між верхніми 6 і нижніми 5 вальцями. Спресований шар маси надходить у подрібнюючий апарат, де барабан 11 подрібнює його і подає по силосопроводу 13 у транспортний засіб. Козирком 14 виробляється зміна напрямку руху потоку маси для рівномірного заповнення транспортних засобів.

Подрібнювач включає живильний і подрібнюючий апарати, з'єднані із собою.

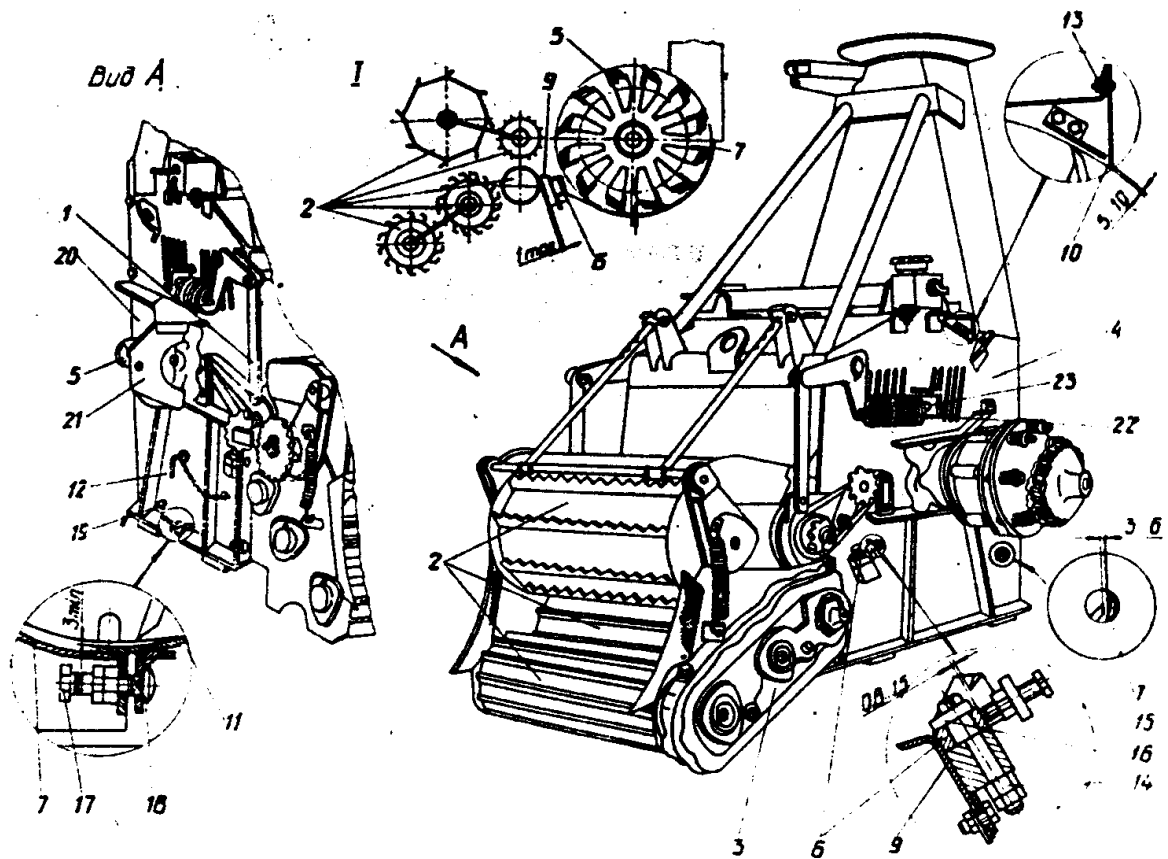


Рис. 3.14. Подрібнювач

1 – механізм підпресовування; 2 – вальці; 3 – редуктор; 4 – камера; 5 – барабан подрібнюючий; 6 – протиризальна пластина; 7 – підбарабання; 8 – заточувальний пристрій; 9 – чистик; 10 – відсікач; 11 – обичайка нижня; 12 – фіксатор; 13 – болт відсікача; 14 – гайка; 15 – болт настановний; 16 – ексцентрик; 17 – болт настановний; 18 – болт регулювальний; 19 – болт; 20 – 21 – кронштейн; 22 – натяжний болт; 23 – пружина

Живильний апарат складається з п'яти вальців, що обертаються 2, призначених для прийому рослинної маси від змінних робочих органів, підпресовування її подачі до подрібнюючого барабана.

Рівномірність ущільнення маси забезпечують механізмом підпресовування 1.

Подрібнюючий апарат складається з камери 4, барабана подрібнюючого 5, протиризальної пластини 6, підбарабання 7, заточувального пристрою 8, чистика 9 і відсікача 10.

Протирізальна пластина 6 має чотири робочих граней і може бути в процесі роботи переставлена, що дозволяє збільшити термін її служби.

Привод живильного апарата здійснений від розподільної коробки, наявність механізму реверса дозволяє включати зворотний хід подачі механізму і робити очищення камери при її забиванні рослинною масою.

Верхні вальці одержують обертання через контрпривід, а нижні – через редуктор 3 (рис. 3.14) і проміжний вал з муфтою зі зрізними болтами.

За даними протоколів іспитів за 1981–1987 р. на Подільській МВС–№20–88–87, Західної МВС – № 7–70–84, Львівської МВС № 39–86 відзначені ряд конструктивних і технологічних недоліків у роботі живильного апарата.

Низька пропускна здатність подрібнювача, велика енергоємність різання, що значно збільшує втрати корисної потужності і позначається на роботі апарата в цілому.

Недосконалість механізму підпресовування призводить до перебоїв у роботі, особливо в початковій стадії роботи комбайна (при входженні в загінку).

Низька експлуатаційна надійність привода верхніх вальців. Натяжник ланцюга не виконує своїх функцій. У процесі роботи стає на перекик, що приводить до надмірного і передчасного виходу з ладу ланцюга.

Проаналізувавши зазначені недоліки, пропонуємо:

- встановити ніж подрібнювального барабана із меншою масою;
- змінити матеріал кронштейна кріплення ножа;

Проведена модернізація знижує металоємність конструкції, передбачує зниження часу на технічне обслуговування.

### 3.4. Технологічні розрахунки

Продуктивність машини за площею визначаємо за формулою:

$$F_0 = 0,1 \cdot B \cdot v, \quad (3.8)$$

де  $B$  – ширина захоплення,  $B=2$  м;

$v$  – швидкість руху комбайна,  $v=7,2$  км/год

$$F_0 = 0,1 \cdot 2 \cdot 7,2 = 1,44 \text{ га/год.}$$

Продуктивність комбайна по кількості рослинної маси

$$G = 0,1 \cdot B \cdot v \cdot Q, \quad (3.9)$$

де  $Q$  – врожайність рослинної маси,  $Q=20$  т/га

$$G = 0,1 \cdot 2 \cdot 7,2 \cdot 20 = 28,8 \text{ т/год.}$$

Живильний механізм являє собою систему вальців – верхніх і нижніх, котрі ущільнюють продукт, що переробляється, перед подачею його в подрібнювач.

Живильний апарат виконує три послідовно зв'язані операції: зтягування, ущільнення і подачу матеріалу в горловину різального апарата.

Виходячи з гірших умов захоплення і зтягування маси гладкими вальцями, мінімальне значення діаметра вальців визначаємо за формулою:

$$D > \frac{H - h}{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}}}, \quad (3.10)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя матеріалу об поверхню вальця,  $f=0,4\dots0,5$ ;

$H$  – товщина шару маси, що надходить у вальці, мм;

$h$  – товщина шару маси ущільненого вальцями, мм

$$h \leq 0,25 \cdot D_0, \quad (3.11)$$

де  $D_0$  – діаметр ножового барабана.

$$h \leq 0,25 \cdot 750 = 187,5 \text{ мм.}$$

Товщину шару, що ущільнюється вальцями, приймаємо  $h=70$  мм.

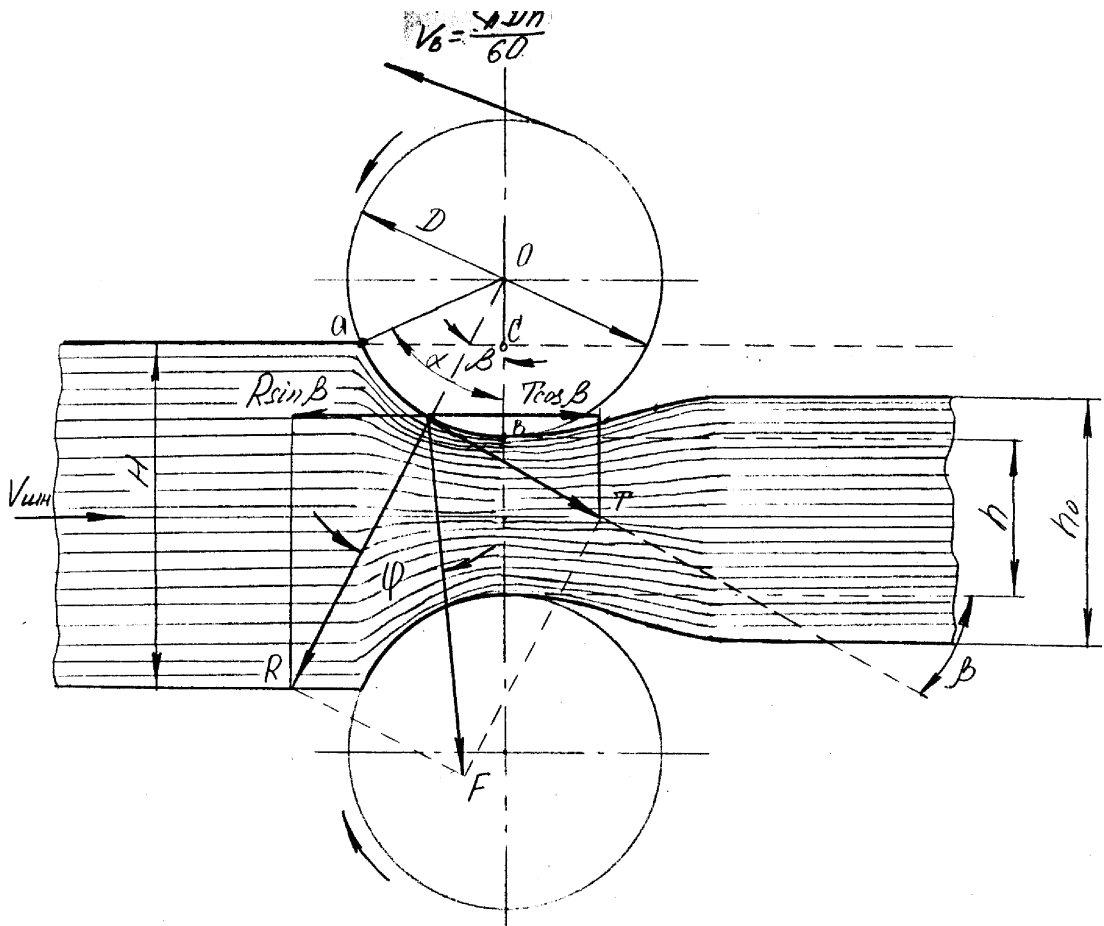


Рис. 3.15. Схема для розрахунку діаметра живильних вальців

Колова швидкість живильних вальців повинна забезпечити надійне зтягування маси, яка надходить із живильного транспортера, що забезпечується умовою:

$$v_B = (1,2...1,3) \cdot v_{под}, \quad (3.12)$$

де  $v_{под}$  – швидкість подачі маси, м/с.

У даному випадку подача маси здійснюється безпосередньо шнеком, то необхідно визначити швидкість подачі маси:

$$v_{под} = k \cdot r \cdot \omega, \quad (3.13)$$

де  $k$  – коефіцієнт прослизання маси,  $k=0,7...0...0,8$ ;

$r$  – радіус шнека,  $r=0,24$  м;

$\omega$  – кутова швидкість,  $c^{-1}$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (3.14)$$

де  $n$  – частота обертання шнека,  $n=143$  об/хв.

Швидкість подачі маси:

$$v_{nod} = 0,7 \cdot 0,24 \cdot 15 = 2,52 \text{ м/с.}$$

Колова швидкість живильних вальців:

$$v_B = 1,2 \cdot 2,52 = 3,02 \text{ м/с.}$$

Припустимо товщину шару  $H$ , що надходить у вальці, маси при обраних інших параметрах визначаємо за формулою:

$$H = h + D_{жв} \left( 1 - \frac{v_{nod}}{v_B} \right), \quad (3.15)$$

де  $D_{жв}$  – діаметр живильного вальця,  $D_{жв}=155$  мм=0,155 м;

$$H = 0,07 + 0,155 \left( 1 - \frac{2,52}{3,02} \right) = 0,096 \text{ м;}$$

$$D > \frac{0,096 - 0,07}{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,5^2}}} = 0,25 \text{ м.}$$

Розрахунок показує, що живильні вальці навіть за легких умов роботи повинні виготовлятися діаметром понад 250 мм. Ясно, що вальці такого діаметра конструктивно не доцільні. Тому, у практиці вальці (особливо верхній живильний) виготовляють зі спеціальними рифами, що в кілька разів підвищує їхнє зчеплення з масою і дозволяє виконувати їх діаметром 150–300 мм.

Так, як у живильному апараті встановлено послідовно два вальця, то нормальне затаскування маси в щілину між вальцями відбувається за умови, коли колова швидкість наступного вальця не менше швидкості попереднього.

Так, як при русі маса злегка сковзає по вальцям, то швидкість шару завжди буде менше колової швидкості вальців.

Згідно [16]

$$v_{cn} = (0,88 \dots 0,93) v_B, \quad (3.16)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт пробуксовування маси у вальцях,  $\eta=0,88 \dots 0 \dots 0,93$ .

$\eta$  завжди менше 1 і в залежності від якості поверхні, діаметра, швидкості, тиску вальців і стану маси, що подається, коливається у вище приведених межах.

Приймаємо

$$v_{cn} = 0,93 \cdot 3,02 = 2,8 \text{ м/с.}$$

Для того, щоб шар маси при вході в подрібнюючий апарат краще притискався до протирізальної пластини, колова швидкість вальця, розташованого перед протирізальної пластини, повинна бути менше колової швидкості живильного вальця:

$$v_{B1} = (1,05 \dots 1,08) v_B;$$

$$v_{B1} = 1,05 \cdot 3,02 = 3,17 \text{ м/с.}$$

Пропускною здатністю називається максимальна секундна продуктивність, що може забезпечити подрібнювач при цілком достатньому його енергонасиченості. Пропускна здатність подрібнювача, як правило, лімітується пропускною здатністю горловини:

$$G_2 = b \cdot h \cdot v_{cn} \cdot \gamma, \quad (3.17)$$

де  $b$  – ширина горловини.

Ширина горловини в барабанних подрібнюючих апаратах дорівнює довжині барабана, тобто:

$$b = l_{\bar{o}} = 515 \text{ мм.}$$

$h$  – висота горловини.

Гранична висота горловини в барабанних подрібнюючих апаратах визначається за формулою:

$$h_{\max} = \frac{D}{2} \left( 1 - \frac{v_{cn}}{v_{\bar{o}}} \right), \quad (3.18)$$

де  $D$  – діаметр барабана;

$v_{\bar{o}}$  – колова швидкість барабана.

Виходячи з умови більш вигідного різання практично встановлені більш низькі межі  $h_{\max}$ :

для односекційних барабанів:

$$h_{\max} = 0,25D;$$

$$h_{\max} = 0,25 \cdot 0,75 = 0,1875 \text{ м};$$

$v_{cn}$  – швидкість подачі шару рослинної маси в горловину, м/с;

$\gamma$  – об'ємна вага рослинної маси, спресованої вальцями і подаваної в горловину,  $\gamma=150\text{--}350 \text{ кг/м}^3$ .

Тоді, пропускна здатність горловини буде:

$$G_2 = 0,515 \cdot 0,1875 \cdot 1 \cdot 150 = 14 \text{ кг/с}.$$

### 3.4.2. Кінематичний розрахунок привода живильного апарата

Необхідність розрахунку кінематичного ланцюга привода верхніх вальців, викликана заміною приводного ланцюга і зірочки бітера.

Частота обертання ВВП трактора  $n_I=1010 \text{ об/хв}$ .

Частоту обертання інших валів визначаємо за формулою

$$n_i = \frac{n_{i-1}}{U_{12}}, \quad (3.19)$$

де  $U_{12}$  – передаточне число

$$U_{12} = \frac{z_2}{z_1}, \quad (3.20)$$

де  $z$  – кількість зубів зубчастих коліс і зірочок ланцюгових передач.

Тоді

$$n_i = n_{i-1} \cdot \frac{z_1}{z_2}. \quad (3.21)$$

Частота обертання вихідного вала редуктора

$$n_{II} = n_I \cdot \frac{z_1}{z_2}, \quad (3.22)$$

де  $z_1, z_2$  – число зубів відповідально ведучого і відомого зубчастих коліс редуктора

$$n_{II} = 1010 \cdot \frac{21}{22} = 964,1 \text{ об/хв}.$$

Частота обертання вхідного вала коробки передач:

$$n_{III} = n_{II} \cdot \frac{z_3}{z_4}, \quad (3.23)$$

де  $z_3, z_4$  – число зубів зірочок ланцюгової передачі привода коробки передач.

$$n_{III} = 964,1 \cdot \frac{15}{48} = 301,3 \text{ об/хв.}$$

Частота обертання проміжного вала коробки передач.

$$n_{IV} = n_{III} \cdot \frac{z_{4'}}{z_5}, \quad (3.24)$$

$$n_{IV} = 394,8 \cdot \frac{29}{38} = 301,3 \text{ об/хв.}$$

Частота обертання вала привода нижніх вальців.

$$n_{VI} = n_V \cdot \frac{z_6}{z_7}, \quad (3.25)$$

– на підвищеній передачі

$$n_{VI} = 301,3 \cdot \frac{38}{28} = 408,9 \text{ об/хв.};$$

– на зниженій передачі

$$n_{VI}' = 301,3 \cdot \frac{23}{43} = 161,16 \text{ об/хв.}$$

Частота обертання вала привода верхніх вальців

$$n_{VII} = n_{VI} \cdot \frac{z_7}{z_8}; \quad (3.26)$$

– на підвищеній передачі

$$n_{VII} = 408,9 \cdot \frac{43}{24} = 732,6 \text{ об/хв.};$$

– на зниженій передачі

$$n_{VII}' = 161,16 \cdot \frac{43}{24} = 288,7 \text{ об/хв.}$$

Частота обертання нижніх вальців живильного апарата

$$n_{VIII} = n_{VI} \cdot \frac{z_{7''}}{z_{13}}; \quad (3.27)$$

– на підвищеній передачі:

$$n_{VIII} = 408,9 \cdot \frac{18}{24} = 306,7 \text{ об/хв};$$

– на зниженій передачі:

$$n_{VIII}' = 161,16 \cdot \frac{18}{24} = 288,7 \text{ об/хв.}$$

Частота обертання прийомного вальця IX

$$n_{IX} = n_{VIII} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}}; \quad (3.28)$$

– на підвищеній передачі

$$n_{IX} = 306,7 \cdot \frac{24}{24} = 306,7 \text{ об/хв.};$$

– на зниженій передачі

$$n_{IX}' = 161,16 \cdot \frac{24}{24} = 161,16 \text{ об/хв.}$$

Частота обертання вала контрприводу X верхніх вальців

$$n_X = n_{IX} \cdot \frac{z_8}{z_9}; \quad (3.29)$$

– на підвищеній передачі

$$n_X = 732,6 \cdot \frac{16}{32} = 366,3 \text{ об/хв};$$

– на зниженій передачі

$$n_X' = 288,7 \cdot \frac{16}{32} = 144,3 \text{ об/хв.}$$

Частота обертання вала XI

$$n_{XI} = n_X \cdot \frac{z_{9'}}{z_{10}}; \quad (3.30)$$

– на підвищеній швидкості

$$n_{XI} = 366,3 \cdot \frac{11}{11} = 366,3 \text{ об/хв};$$

– на зниженій швидкості

$$n_{XI}' = 144,3 \cdot \frac{11}{11} = 144,3 \text{ об/хв.}$$

Частота обертання вала бітера XII

$$n_{XII} = n_{XI} \cdot \frac{z_{10'}}{z_{11}}; \quad (3.31)$$

– на підвищеній передачі

$$n_{XII} = 366,3 \cdot \frac{11}{18} = 224,3 \text{ об/хв};$$

– на зниженій передачі

$$n_{XII}' = 144,3 \cdot \frac{11}{18} = 88,2 \text{ об/хв.}$$

У наслідок заміни передачі привода вала бітера ланцюга ПР–19,050–3180 на ланцюг більш потужний ПР–25,4–5670, а також заміни зірочок, змінилося передатне відношення.

Це привело до збільшення частоти обертання бітера, що може погіршити умови роботи подаючого і гладкого вальців живильного апарата.

Щоб вийти з цього положення, необхідно зменшити діаметр бітера і за рахунок зменшення колової швидкості змінити швидкість подачі маси. А зменшення діаметра бітера, у свою чергу, приведе до зниження матеріалоемності.

### 3.4.3. Силовий розрахунок привода живильного апарата

Визначимо необхідну потужність для привода вальців живильного апарата

$$N^{mp} = \frac{M_{\text{бр}} \cdot \omega_{\text{бр}}}{10 \cdot \eta_{\text{заг}}}, \quad (3.32)$$

де  $M_{\text{бр}}$  – момент обертання на валу бітера живильного апарата,  $M_{\text{бр}}=208,7 \text{ Н}\cdot\text{м}$

– за даними тензометрування

$$\omega_{\text{бр}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{бр}}}{30}, \quad (3.33)$$

де  $n_{\text{бр}}$  – частота обертання бітера,  $n_1=223,9$  об/хв;  $n_2=88,2$  об/хв

$$\omega_{\text{бр1}} = \frac{3,14 \cdot 223,9}{30} = 23,4 \text{ с}^{-1},$$

$$\omega_{\text{бр2}} = \frac{3,14 \cdot 88,2}{30} = 9,2 \text{ с}^{-1};$$

$\eta_{\text{заг}}$  – загальний ККД привода дорівнює добутку часток ККД визначених передач, пара підшипників, муфт, ланцюгових передач.

Для привода верхніх вальців

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{нід}}^4 \cdot \eta_{\text{ланц.п}}^3 \cdot \eta_{\text{муфт}}, \quad (3.34)$$

де  $\eta_{\text{нід}}$  – ККД, що враховує втрати в одній парі підшипників,  $\eta_{\text{нід}}=0,99$ ;

$\eta_{\text{ланц.п}}$  – ККД, що враховує втрати в ланцюговій передачі,  $\eta_{\text{ланц.п}}=0,97$ ;

$\eta_{\text{муфт}}$  – ККД, що враховує втрати на муфті,  $\eta_{\text{муфт}}=0,995$ ;

$$\eta_{\text{заг}} = 0,99^4 \cdot 0,97^3 \cdot 0,995 = 0,87.$$

Для першої передачі

$$N_{\text{В.В}}' = \frac{208,7 \cdot 23,4}{10^3 \cdot 0,87} = 5,6 \text{ кВт.}$$

Для другої передачі

$$N_{\text{В.В}}' = \frac{208,7 \cdot 9,2}{10^3 \cdot 0,87} = 2,2 \text{ кВт.}$$

Привод на верхні і нижні вальці від коробки передач йде від різних валів. Доцільно зробити розрахунок споживаної потужності на верхні і нижні вальці окремо.

Потужність необхідна для приводу нижніх вальців

$$N_{\text{Н.В.}} = \frac{M \cdot \omega}{10^3 \cdot \eta_{\text{заг}}}, \quad (3.35)$$

де  $M$  – крутний момент на прийомному вальці живильного пристрою, за даними тензометрирування  $M=125,5$  Н·м

$\eta_{\text{заг}}$  – загальний ККД привода

$$\eta_{\text{заг}} = 0,99^4 \cdot 0,995 = 0,956.$$

На даній машині встановлена коробка передач з передатним числом, що змінюється,  $U$  і частотою обертання вихідного вала  $n$ . Тому зробимо розрахунок потужності для двох передач.

Для підвищеної передачі

$$\omega_{H.B.} = \frac{3,14 \cdot 306,7}{30} = 32 \text{ с}^{-1};$$

$$N_{H.B.} = \frac{125,5 \cdot 32}{10^3 \cdot 0,956} = 4,2 \text{ кВт.}$$

Для зниженої передачі

$$\omega'_{H.B.} = \frac{3,14 \cdot 120,9}{30} = 12,7 \text{ с}^{-1};$$

$$N'_{H.B.} = \frac{125,5 \cdot 12,7}{10^3 \cdot 0,956} = 1,67 \text{ кВт.}$$

Сумарна потужність затрачувана на привод живильного апарата подрібнювача

$$N = N_{B.B.} + N_{H.B.} \quad (3.36)$$

Для підвищеної передачі

$$N = 5,6 + 4,2 = 9,8 \text{ кВт}$$

Для зниженої передачі

$$N = 2,2 + 1,67 = 3,87 \text{ кВт.}$$

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1. Коротка інструкція з охорони праці при роботі на кормозбиральному агрегаті

Дана інструкція з охорони праці встановлює вимоги безпеки під час підготовки, експлуатації, технічного обслуговування та зупинки кормозбирального агрегату, що використовується для збирання та подрібнення зеленої маси, кукурудзи на силос, сінажу та інших кормових культур.

До роботи на кормозбиральному агрегаті допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктаж з охорони праці, навчання безпечним методам роботи, а також перевірку знань вимог охорони праці та пожежної безпеки.

Працівник повинен знати будову агрегату, принцип його роботи, призначення основних механізмів, органів керування, сигналізації та аварійної зупинки.

Під час роботи на кормозбиральному агрегаті на працівника можуть діяти небезпечні та шкідливі виробничі фактори: рухомі та обертові частини машин, підвищений рівень шуму і вібрації, запиленість повітря, можливість викиду сторонніх предметів, підвищена пожежна небезпека, а також несприятливі метеорологічні умови.

Працівник зобов'язаний виконувати вимоги цієї інструкції, правила внутрішнього трудового розпорядку, дотримуватись виробничої дисципліни та використовувати засоби індивідуального захисту.

Забороняється допускати до керування агрегатом сторонніх осіб, а також передавати керування без дозволу відповідальної особи.

За порушення вимог охорони праці працівник несе відповідальність відповідно до чинного законодавства України.

Перед початком роботи працівник повинен одягнути справний спецодяг та спецвзуття, що не має вільних кінців, які можуть бути захоплені рухомими частинами машин. Волосся необхідно прибрати під головний убір.

Перевірити справність засобів індивідуального захисту: захисних окулярів, навушників або вкладишів для захисту від шуму, рукавиць.

- оглянути кормозбиральний агрегат, перевірити:
- наявність та справність захисних кожухів і огорожень;
- надійність кріплення робочих органів;
- справність карданних валів та запобіжних муфт;
- відсутність витоків пального, мастил та гідравлічної рідини.

Переконайтеся у справності органів керування, гальмівної системи, сигнальних пристроїв та аварійної зупинки.

Очистити робочі органи агрегату від сторонніх предметів, рослинних решток та бруду лише при зупиненому двигуні і відключеному приводі.

Перед запуском агрегату впевнитися, що в зоні його роботи відсутні люди, тварини та сторонні предмети.

Забороняється починати роботу при виявленні несправностей, які можуть загрожувати безпеці працівника або оточуючих.

Під час роботи кормозбирального агрегату працівник повинен постійно контролювати його роботу, дотримуватись встановлених режимів руху та швидкості.

Забороняється перебувати поблизу обертових і рухомих частин агрегату, а також виконувати будь-які регулювальні або ремонтні роботи при працюючому двигуні.

Очищення, регулювання або усунення забивання робочих органів дозволяється проводити лише після повної зупинки агрегату, вимкнення двигуна та відключення приводу від вала відбору потужності.

Під час руху агрегату по полю необхідно дотримуватись безпечної дистанції до інших машин та людей.

Забороняється перевозити людей на агрегаті або його робочих органах.

При роботі на схилах слід дотримуватись особливої обережності, уникати різких поворотів та руху поперек схилу, якщо це не передбачено умовами експлуатації.

У разі появи сторонніх шумів, вібрації, запаху горілого або інших ознак несправності необхідно негайно зупинити агрегат та повідомити керівника робіт.

Під час заправки агрегату паливом забороняється палити, користуватися відкритим вогнем або працювати при працюючому двигуні.

Після завершення роботи необхідно зупинити агрегат, вимкнути двигун та відключити привод від вала відбору потужності.

Очистити робочі органи від рослинних решток та бруду, використовуючи спеціальні інструменти.

Провести зовнішній огляд агрегату, перевірити наявність пошкоджень та витоків робочих рідин.

Поставити агрегат на рівний майданчик, зафіксувати його від самовільного руху.

Зняти спецодяг, очистити його від забруднень, зберігати у відведеному місці.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно негайно зупинити агрегат, використовуючи аварійні органи керування.

При виникненні пожежі слід негайно вимкнути двигун, від'єднати джерела живлення та приступити до гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння, не наражаючи себе на небезпеку.

У разі травмування працівника необхідно надати першу домедичну допомогу та викликати медичну службу.

Про всі аварійні ситуації, нещасні випадки та несправності необхідно повідомити керівника робіт.

Дотримання вимог цієї інструкції є обов'язковим для всіх працівників, які залучені до роботи на кормозбиральному агрегаті.

Інструкція підлягає перегляду у разі зміни конструкції агрегату, умов праці або чинного законодавства з охорони праці.

Працівник повинен пам'ятати, що суворе дотримання вимог охорони праці є запорукою збереження життя, здоров'я та безперебійної роботи техніки.

## 5. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВДОСКОНАЛЕНЬ

Доцільність упровадження запропонованих удосконалень у процес скошування стеблостою конюшини визначається сукупністю чинників і в кінцевому підсумку зводиться до зниження виробничих витрат або збільшення рівня прибутковості.

Для наочності розглянемо спрощений розрахунок, що дозволяє оцінити економічний ефект за рахунок скорочення витрат на паливо внаслідок заміни традиційного трактора на агрегат із кормозбиральним комбайном КПИ-2,4.

За таких умов економія пального в перерахунку на 1 гектар площі поля становить

$$12,05 - 8,43 = 3,62 \text{ кг.}$$

Кількість зекономленого палива зі всієї площі поля

$$87 \cdot 3,62 = 314,94 \text{ кг.}$$

Найменша ціна для нашого регіону 1 л палива становить 58,99 грн/л.

Тоді, вартість зекономленого палива встановить:

$$\frac{58,99 \cdot 314,94}{0,88} = 21111,72 \text{ грн.}$$

Економія палива при виконанні операції

$$\frac{12,05 - 8,43}{12,05} \cdot 100\% = 30,04\% .$$

Отримане значення дозволяє результат має позитивне значення.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі обґрунтовано та запропоновано удосконалення технології вирощування кукурудзи на зелений корм, реалізація яких спрямована на скорочення обсягів ручної праці працівників сільськогосподарського підприємства.

Проектна технологія розроблена з урахуванням практичного досвіду раціонального та ефективного використання машинно-тракторного парку під час виконання основних технологічних операцій при вирощуванні обраної культури.

При формуванні технологічного процесу також враховано напрацьований досвід оптимізації виробничих операцій з метою зниження матеріальних і енергетичних витрат під час вирощування конюшини.

У науково-дослідній частині роботи проведено експериментальні дослідження, спрямовані на встановлення залежностей витрат потужності на привід подрібнювача від робочої швидкості агрегату за різної довжини подрібнених часток.

Запропоновані в проекті технологічні рішення забезпечують суттєвий економічний ефект, що проявляється у зменшенні собівартості виконання робіт і дає змогу досягти економії коштів понад 30%.

## Список використаних джерел

1. <https://subject.com.ua/agriculture/crop/13.html>
2. <https://bizontech.ua/blog/tehnologiya-viroshchuvannya-kukuruzi-na-zerno>
3. <https://superagronom.com/articles/367-viroschuvannya-kukurudzi-povna-tehnologiya>
4. <https://www.syngenta.ua/news/kukurudza/tehnologiya-viroshchuvannya-kukurudzi>
5. <https://agroexp.com.ua/uk/tehnologiya-vyrashchivaniya-kukuruzy>
6. <http://www.semagro.com.ua/info/tehnologija-viroshuvannja-kukurudzi-415.html>
7. <https://laboulet.com.ua/corntech-ua/>
8. <https://agrarii-razom.com.ua/culture/kukurudza-na-zerno>
9. <http://nova.te.ua/statti/suchasna-tehnologiya-vyroshhuvannya-kukurudzy/>
10. <https://propozitsiya.com.ua/riznim-zonam-ukrayini-svoya-kukurudza>
11. <http://www.semagro.com.ua/info/tehnologija-viroshuvannja-kukurudzi-415.html>
12. <https://howtogrow.news/6-zernovi/193-intensivna-tehnologiya-viroshchuvannya-kukurudzi/ua>
13. <https://www.lnz.com.ua/news/tehnologia-virosuvanna-kukurudzi-zalezno-vid-gruntovo-klimaticnih-umov>
14. <https://uapg.ua/blog/suchasna-tehnologiya-viroshhuvannya-kukurudzi-na-zerno/>
15. Петров П. В. Агротехнологія і технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур: навч. посіб./Петров П.В., Посполітак Т.Є., Юркевич Є.О. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 268 с.

16. Технологія виробництва продукції рослинництва: навч. посіб. Ч.2 / [Мельник С.І., Муляр О.Д., Кочубей М.Й., Іванцов П.Д.]. –К.: Аграрна освіта, 2010. – 405 с.
17. Бондаренко М.Г., Демещук В.А. Комплектування і використання машинно–тракторного парку в рослинництві: Підручник. –К.: Вища шк., 1995. – 237 с.: іл.
18. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студент. вищ. навч. зал. із спец. „Машини та обладн. с.–г. вир–ва”/ За ред. М.І. Черновола. Кн. 2: Машини для рільництва/ П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Сало; За ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2002. – 364 с.: іл.
19. <https://www.poettinger.at>
20. <https://www.kuhn.com>
21. <https://www.kongskilde.com>
22. <https://www.samasz.pl/>
23. <https://lacotec.de/home.html>
24. АгроОгляд. Ринок кормозбиральної техніки в Україні 2013-2024. Науково-технічний звіт.
25. SaMASZ Sp. z o.o. Technical documentation for Mammoth series. URL: samasz.pl
26. Journal of Agricultural Machinery. Comparative analysis of cylinder vs flywheel chopping units (2022).
27. Грицишин М.І. "Машини для заготівлі кормів: теорія та практика". Видання К., 2021.

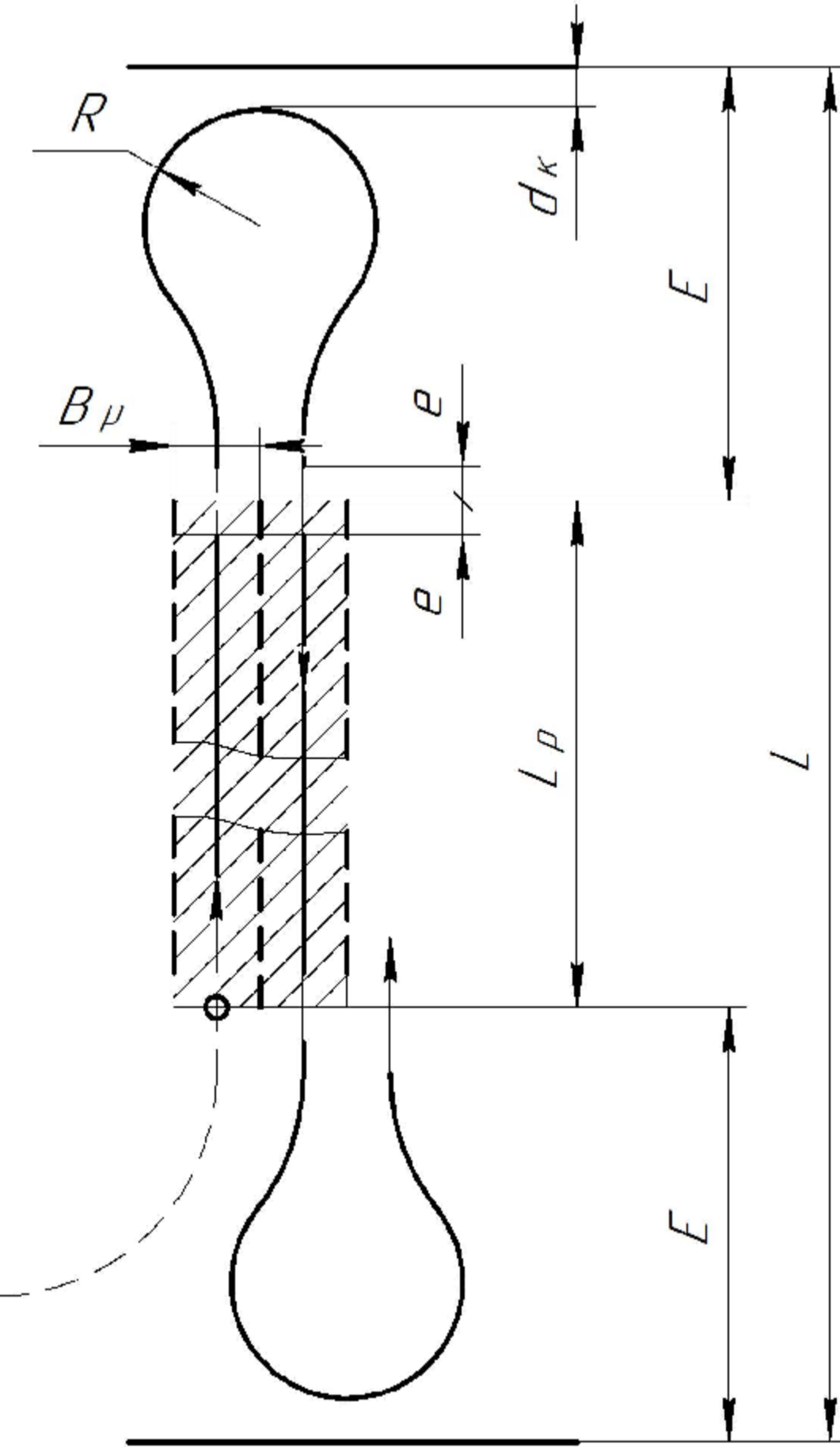
ДОДАТКИ

# Технологічна карта

Культура – кукурудза  
Площа – 100 га  
Урожайність – 30 ц/га

Назва технологічних операцій	Обсяг робіт	Склад агрегату		Змінна норма виробітку	Витрати праці, люд./год.
		трактор, комбайн	с.-г. машини, знаряддя		
Обробіток комбінованим агрегатом 12–14 см	100 га	НН Т7.315	Селс 4000–ТХ	38,4 га	16,66
Підготовка мінеральних добрив	6 т	вручну		28 т	14,98
Завантаження мінеральних добрив	30 т	МТЗ–80	ПЕ–35	42 т	4,97
Транспортування мінеральних добрив до 5 км	30 т	автомобілі		10 т	–
Розпушування ґрунту з внесенням мінеральних добрив	100 га	НН Т7.315	ЧНУ–4	20 га	35
Передпосівна культивування, 6–8 см	100 га	НН Т7.315	КПУ–8	30 га	23,33
Транспортування води для приготування розчину гербіцидів	20 т	автомобілі		–	–
Транспортування гербіцидів	200 л	автомобілі		–	–
Внесення гербіцидів	20 т	НН Т7.315	ОП–2000	24 га	58,33
Транспортування насіння в поле, до 10 км	24 Т	автомобілі		–	–
Підготовка мінеральних добрив	8 Т	вручну		3,5 т	15,99
Транспортування мінеральних добрив, до 10 км	8 Т	автомобілі		10 т	5,60
Завантаження насіння у сівалку	24 Т	вручну		–	–
Завантаження добрив у сівалку	8 Т	вручну		–	–
Сівба з внесенням добрив	100 га	НН ТD5.110	Multicorn 560	26,45 га	10,99
Коткування посівів	100 га	НН Т7.315	ЗККШ–6	76 га	9,21
Боронування сходів	100 га	МТЗ–80	БЗС–1,0	31 га	13,69
1-ї міжрядний обробіток	100 га	МТЗ–80	КРН–5,6	19,6 га	35,7
Транспортування води для приготування розчину добрив	20 т	автомобілі		–	–
Транспортування добрив	200 л	автомобілі		–	–
Підживлення посівів добривами	100 га	НН Т7.315	ОП–2000	24 га	58,33
2-ї міжрядний обробіток	100 га	МТЗ–80	КРН–5,6	21,3	32,86
Обробіток посівів від хвороб, бур'янів та шкідників	100 га	НН Т7.315	ОП–2000	30 га	23,33
Обкошування і прокошування	5 га	CASE IH Farmall JX90	КПМ–2,4	27,89 га	1,20
Збирання на силос	95 га	CASE IH Farmall JX90	КПМ–2,4	27,89 га	11,61
Транспортування силосу до 10 км	600 Т	автомобілі		–	–

# Операційно-технологічна карта

Назва груп показників	Параметри, вимоги, нормативи	Схеми
Умови роботи	Площа поля - 87 га; довжина гонів - 1000 м; величина підйому - 3°; висота зрізу - 15 см	<p style="text-align: center;">Схема поля</p> 
Агротехнічні вимоги	Відхилення від заданої висоти - ± 1 см; недопускають нескошені ділянки посівів культури.	
Склад агрегата і підготовка його до роботи	<p>Трактор CASE IH Farmall JX90; косарка КПИ-2,4;  робоча ширина захвату - 2,4 м;  мінімальний радіус повороту - 4,08 м;  кінематична довжина агрегату - 6,7 м.</p> <p>Підготовка агрегату:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Провести щозмінний технічний огляд трактора і косарки.</li> <li>Перевірити робочі поверхні косарки та справність гідросистеми.</li> <li>Відрегулювати косарку на задану висоту скошування.</li> </ol>	
Підготовка поля	<p>Перед початком обробітку оглянути поле, виявлені перешкоди усунути.</p> <p>Ширина поворотної смуги - 12,6 м;  оптимальна ширина заїмки - 188,6 м;  кількість заїмок 5 (4 заїмками шириною 188,6 м; 1 - шириною 192,2 м).</p>	<p style="text-align: center;">Схема руху одного циклу</p> 
Способи руху	Спосіб руху - гоновий у розвал.	
Швидкість руху	Робоча швидкість, враховуючи буксування - $V_p = 6,12$ км/год.	
Показники організації процесу	<ol style="list-style-type: none"> <li>Тривалість циклу - 15,28 хв.</li> <li>Технічна продуктивність за цикл - 0,3 га/цикл.</li> <li>Змінна продуктивність агрегату - 9,43 га/зм.</li> <li>Кількість циклів за зміну - 31,43 цикл/зм.</li> <li>Витрати палива на 1 га - 8,43 кг/га.</li> <li>Витрати палива за 1 цикл - 2,538 кг/цикл.</li> <li>Витрати палива за зміну - 79,49 кг/зм.</li> </ol>	
Контроль за якістю	<ol style="list-style-type: none"> <li>Виконати 10-15 разів за зміну контроль висоти зрізу рослин. Відхилення від норми зрізу не повинно перевищувати ±3%.</li> <li>Нерівномірність висоти зрізу між окремими роторами не повинна перевищувати ±3%.</li> </ol>	

$L$  - довжина гонів,  $L_p$  - робоча довжина заїмки,  
 $E$  - ширина поворотної смуги,  
 $e$  - довжина виїзду агрегата,  
 $B_p$  - ширина захвату агрегату,  
 $d_k$  - кінематична ширина агрегата

# **МЕТА, ЗАДАЧІ, ПРЕДМЕТ ТА ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**Мета досліджень:** підвищення якості роботи кормозбирального комбайна та зменшення витрат енергії на привід його робочих органів

**Задачі досліджень:**

1. Дослідити витрати енергії на привод в роботу органів кормозбирального комбайна..
2. Встановити вплив конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача листостеблової маси на витрати потужності його рушія.

**Об'єкт дослідження:** процес роботи подрібнюючого апарата кормозбирального комбайна.

**Предмет дослідження:** конструктивні та технологічні параметри подрібнюючого апарата кормозбирального комбайна.

# ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ



***КПИІ-2,4***



***Röttinger MEX 6 (Австрія)***



***Kuhn MC 180 S (Франція)***



***Kongskilde FCT 1060 (Данія)***



***Lacotec LH II (Німеччина)***



***Kemper Champion 1200 (Німеччина)***



***Celikel Challenger (Туреччина)***



***Case IH FHX300 (США)***



***New Holland 717 (США/ЕС)***

# ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДУ ПОДРІБНЮВАЧА

## ГРАФІКИ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ПОТУЖНОСТІ

Потужність на привод подрібнюючого апарата

$$N_n = \frac{N_{різ} + N_{приск} + N_m + N_{вен} + N_{мех}}{\eta}$$

Потужність на деформацію та перерізання стебел

$$N_{різ} = \frac{k \cdot b \cdot h \cdot z \cdot n}{60}$$

Потужність на прискорення маси

$$N_{приск} = \frac{Q \cdot v_l^2}{2 \cdot 10^3}$$

Потужність на подолання тертя по поверхні кожуха

$$N_m = \frac{f \cdot Q \cdot v_l^2 \cdot \varphi}{10^3}$$

Потужність на подолання опору повітря

$$N_{вен} = C_w \cdot \rho_n \cdot F \cdot v_l^3$$

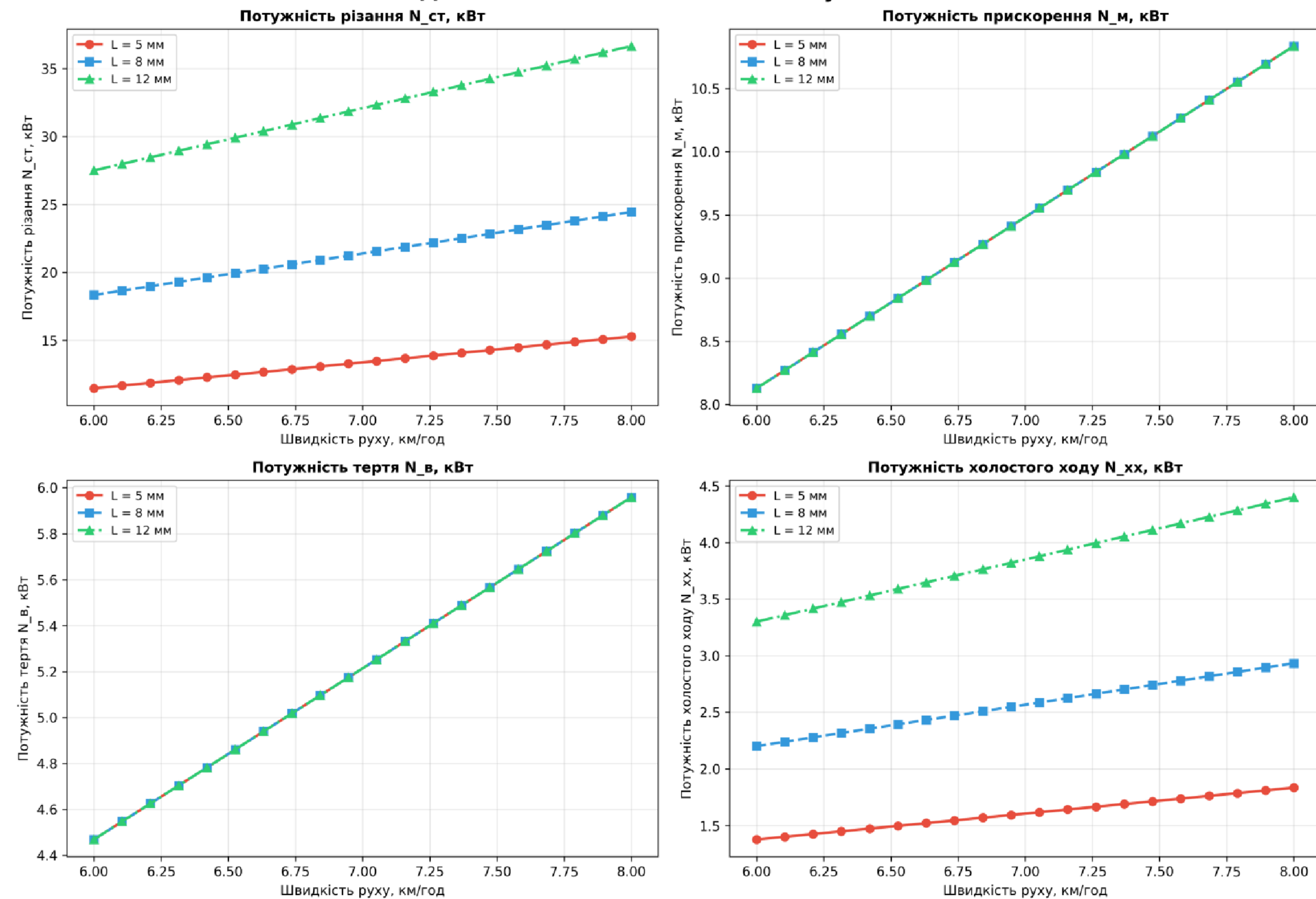
Потужність холостого ходу та механічних втрат

$$N_{мех} \approx (0,05 \dots 0,08) \cdot N_{різ}$$

Потужність на привод подрібнюючого апарата

$$N_n = \frac{1}{\eta} \left( \frac{1,1 \cdot k \cdot b \cdot h \cdot z \cdot n}{60} + \frac{Q \cdot v_l^2 (1 + 2 \cdot f \cdot \varphi)}{2 \cdot 10^3} + C_w \cdot \rho_n \cdot F \cdot v_l^3 \right)$$

Детальний аналіз складових потужностей



Залежність потужності приводу подрібнювача від швидкості руху для різних довжин подрібнення

