

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а**

до дипломної роботи  
другого (магістерського) рівня вищої освіти  
на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАГОТІВЛІ  
СІНА З ОБГРУНТУВАННЯМ  
ПАРАМЕТРІВ КОСАРКИ-ПЛЮЩИЛКИ**

**Виконав:** студент \_\_\_\_\_ Сушков Владислав Олегович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Кобець Анатолій Степанович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ**  
**УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: "Магістр"

Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри тракторів і  
сільськогосподарських машин

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

(підпис)

(прізвище, ініціали)

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_

керівник роботи \_\_\_\_\_

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

№ \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

5. Перелік демонстраційного матеріалу \_\_\_\_\_

---



---



---



---



---



---



---

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка

**Студент**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Сушков В.О. Удосконалення технології заготівлі сіна з обґрунтуванням параметрів косарки-плющилки/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2025. – 77 с.

В роботі проведено аналіз механіко-технологічних характеристик бобових трав і сучасних технологій заготівлі сіна. Розроблено технологію збирання люцерни з врахуванням удосконалених машин

Розроблена конструкція косарки-плющилки для прискорення процесу прив'ялення (сушіння) бобових культур та проведені розрахунки основних параметрів і режиму роботи.

Визначено кінематичні і технологічні показники операційної технології скошування бобових трав.

Розроблені заходи з охорони праці можуть бути використані при проведенні інструктажів при вирощуванні і збиранні люцерни і підвищать рівень безпеки працівників при виконанні технологічних операцій.

Річний економічний ефект від застосування удосконалень на практиці становить 251440 грн., а затрати на розробку і впровадження окупаються протягом першого року використання.

Ключові слова: люцерна, технологія, косарка-плющилка, параметри, режим роботи, охорона праці, економічний ефект.

## З М І С Т

В С Т У П. ....	6
1 АНАЛІЗ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОСЛИН І ТЕХНОЛОГІЙ ЗАГОТІВЛІ СІНА. ....	9
1.1 Характеристики рослин для заготівлі сіна. ....	9
1.2 Аналіз технологій заготівлі сіна. ....	12
2 ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЮЦЕРНИ. ....	18
3 АГРОТЕХНІЧНІ ПОКАЗНИКИ СКОШУВАННЯ ТРАВ І ПРОЦЕСУ ЇХ ПЛЮЩЕННЯ. ....	23
4 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАГОТІВЛІ СІНА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВДОСКОНАЛЕНИХ МАШИН. ....	26
5 ОБГРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ КОСАРКИ. ....	31
5.1 Обґрунтування схеми удосконалення. ....	31
5.2 Визначення основних параметрів плющильного апарату. ....	32
5.3 Розрахунок параметрів балансирних пружин косарки. ....	34
6 ОБГРУНТУВАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ СКОШУВАННЯ ТРАВ. ...	43
7 ОХОРОНА ПРАЦІ. ....	53
7.1 Загальні питання. ....	53
7.2 Охорона праці при виконанні механізованих робіт. ....	54
7.3 Охорона праці при вирощуванні люцерни і заготівлі кормів. ....	57
8 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ. ....	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ. ....	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ. ....	68
Д О Д А Т К И. ....	71

## ВСТУП

З початком широкомасштабного вторгнення росії аграрний сектор економіки України зазнав значних втрат. За оцінками експертів тільки прямі збитки сільського господарства від війни вже сягнули більше 11,2 млрд доларів США [1, 2]. Це стосується всіх галузей агропромислового комплексу і в тому числі і тваринництва.

За попередніми даними Держстату України, станом на 1 жовтня 2025 року в присадибному і промисловому секторі України утримується 2 млн. 83,7 тис. голів ВРХ, у тому числі 1 млн. 121,7 тис. корів. Порівняно до 1 вересня 2025 року, поголів'я ВРХ в Україні скоротилося на 40,6 тис. голів (-1,9%), а чисельність корів скоротилася на 9,3 тис. голів (-0,8%). Порівняно до 1 жовтня 2024 року поголів'я ВРХ скоротилося на 211 тис. голів (-9%), у тому числі корів – на 121 тис. голів (-10%). Близько 45% тварин утримується на промислових підприємствах, а 55% – в господарствах населення [2, 5].



Рисунок 1 – Динаміка поголів'я великої рогатої худоби в Україні

У таких умовах будь-яке господарство прагне отримати заплановану кількість продукції з мінімальними фінансовими затратами й, як результат, мати максимальний прибуток. Зокрема тваринницька галузь має давати відповідно до норм 85 кг м'яса (у США – 103 кг) та 405 кг молока на одного жителя України [3, 6]. На жаль, ми виробляємо лише близько половини від потреби. Висока ресурсозатратність і, відповідно, низька рентабельність, а то й істотна збитковість тваринницької галузі спричиняють зменшення виробництва, з одного боку, і збільшення ціни – з іншого.

Потреба у підвищенні якості кормів зумовлена істотним впливом її на продуктивність тварин, технологічні та дієтичні властивості тваринницької продукції. Наукові дослідження і виробничий досвід свідчать, що підвищення якості кормів рівнозначне збільшенню їх кількості. Так, для одержання 1 т м'яса і молока першокласних кормів потрібно на 30—35% менше, ніж кормів третього класу.

Грубі корми (сіно, сінаж, силос, солома та ін.) посідають значне місце у кормовій базі. Їх використовують переважно в зимовий період. Цінність цих кормів у годівлі тварин велика. Високий вміст клітковини у них надає раціонам певного об'єму, нормалізує роботу шлунку, кишок, сприяє кращому виділенню травних соків. Особливо велике значення мають грубі корми для жуйних. Вони забезпечують інтенсивний перебіг бродильних процесів у передшлунках завдяки інтенсивному розвитку мікроорганізмів, за допомогою яких відбувається біосинтез мікробного білка, амінокислот, вітамінів групи В, летких жирних кислот. Згодовування сіна в ранньому віці телятам і ягнятам стимулює розвиток передшлунків, що дає змогу переводити їх у більш ранньому віці на рослинні корми. Сіно є незамінним кормом у раціонах новотільних корів. Це єдиний з об'ємистих кормів, який містить вітамін В, необхідний для регулювання мінерального обміну в організмі тварин.

Отримують сіно висушуванням скошених трав до вологості 15 - 17 % у польових умовах або штучним способом за допомогою спеціальних агрегатів. Поживність цього корму залежить від ботанічного складу рослин, фази

вегетації під час скошування, умов вирощування, заготівлі та зберігання. В середньому поживність 1 кг сіна становить 0,4-0,5 кормових одиниць, 40 - 80 г перетравного протеїну, 3 - 9 - кальцію, 1- 4 г фосфору і 10 - 35 мг каротину. Жиру в сіні 1 - 2,5 %, клітковини 25 - 30 і безазотистих екстрактивних речовин 38 - 42 %.

Скошування та плющення є ключовими технологічними процесами у заготівлі кормів, оскільки вони безпосередньо впливають на збереження поживних речовин та ефективність підсихання рослинної маси.

- Скошування у правильну фазу розвитку (бутонізація у бобових, початок колосіння у злакових) дозволяє зберегти максимальний вміст білка, вітамінів і легкоперетравної клітковини, що забезпечує високу поживність корму.
- Плющення руйнує покривну тканину стебел, прискорюючи випаровування вологи на 25–30% і вирівнюючи швидкість сушіння листків і стебел, що зменшує втрати поживних речовин і покращує якість сіна або сінажу.

Найбільш розповсюдженим способом прискорення сушіння скошеної трави з бобових трав є скошування їх з одночасним плющенням, ворухінням прокосів, їх згрібання та перевертання валків. Ці процеси разом забезпечують швидке, рівномірне підсихання та мінімальні втрати поживних речовин, що критично важливо для отримання якісного корму й одержання рівномірної за вологістю прив'яленої маси.

Метою даної роботи є удосконалення технології заготівлі сіна з обґрунтуванням параметрів косарки-плющилки.

# 1 АНАЛІЗ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОСЛИН І ТЕХНОЛОГІЙ ЗАГОТІВЛІ СІНА

## 1.1 Характеристики рослин для заготівлі сіна

Основними характеристиками, які необхідно враховувати при виконанні технологічного процесу, є розміри рослин, їх маса, коефіцієнти тертя, характеристики міцності та ін.

Таблиця 1.1 - Характеристика травостою [17, 18, 21]

Тип луків	Урожай сіна, ц/га	Рослинна маса з 1 квадратного метра				
		Кількість рослин		Маса рослин		
		шт.	%	волога, г	суха, г	суха, %
Заливні луки: - злакові	55	1170	28,7	508	207,5	37,7
- бобові		765	18,7	606	174,5	31,8
- різнотрав'я		849	20,8	616	145,5	26,5
- осокові		1297	31,8	65	22,0	4,0
<b>В С Ь О Г О</b>		4082	100	1795	549,5	100
Цілинно-степові луки: - злакові	13	4422	91,8	-	100	77
- різнотрав'я		384	7,9	-	27	21
- бобові		39	0,8	-	2	2
<b>В С Ь О Г О</b>		4845	100	220	129	100
Сіяні луки широко-рядного посіву:	13					
- люцерна		251	71	260	105	77
- бур'яни		102	29	115	33	23
<b>В С Ь О Г О</b>		353	100	375	138	100

Висота трав в середньому становить 40...80 см, для пшениці і жита – 100...170 см. Урожайність трав в залежності від умов вегетації – 5...30 ц/га. Середня кількість стебел на 1 м<sup>2</sup> становить для жита, пшениці – 450...600, для природних трав – 1170...4845 [5]. Кількісні і масові характеристики залежать від умов вегетації, типу рослин і інших факторів (таблиця 1.1).

Масові і розмірні характеристики трави і сіна в валках представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Масові і розмірні характеристики трави і сіна  
в валках, створених граблями

Продукт	Відстань між валками, м	Середня ширина валка, м	Площа профілю валка, м <sup>2</sup>	Маса валка	
				погонна, кг/м	об'ємна, кг/м <sup>3</sup>
Валки заливних луків (вологість сіна 21-23 %, урожай – 62 ц/га)					
С і н о	3	1,9	0,19	2,07	10,8
	5	1,9	0,22	3,67	16,6
	8	2,6	0,26	4,49	17,3
	10	2,6	0,27	6,2	22,9
Валки люцерни (вологість трави – 54 %, сіна 22 –26 %, урожай – 13 ц/га)					
Трава	20	-	-	8,4	71,5
Сіно	20	1,5	1,118	2,8	31,5
Валки цілинно-степових луків (вологість трави 60-65 %, сіна – 11,7-21,5 %, урожай 6 ц/га)					
Трава	10	-	-	1,4 – 1,9	-
Сіно	10	1,0	0,05 – 0,06	0,5 – 0,8	6,3 – 10
Трава	20	-	-	1,5 – 2,4	-
Сіно	20	1,1	0,09	0,9 – 1,2	10 - 13
Трава	30	-	-	2,1 – 4,3	-
Сіно	30	1,3	0,12	1,4 – 1,6	11,6 – 18,6

Жорсткість стебел трав становить 49 – 646 Н·см<sup>2</sup>. Модуль пружності сухих стебел пшениці становить 4,67 – 7,48 гПа.

Коефіцієнти тертя змінюються в великих межах в залежності від продукту і робочої поверхні (таблиця 1.3 і 1.4).

Таблиця 1.3 - Коефіцієнти тертя руху люцерни з валків

Робочі поверхні	Вологість сіна, %	
	31 - 35	13 – 20
Сталь шліфувана	0,46	0,34
Сталь листова покращена	0,40	0,38
Сталь листова нефарбована	0,38	0,30
Сталь оцинкована	0,37	0,27
Дерево гладеньке	0,41	0,27
Полотно снопов'язальне	0,49	0,31

Таблиця 1.4 - Показники тертя руху у розсипчастого і пухкого сіна тимофіївки вологістю 12 % по шліфованій сталі

Стан сіна	Тиск, Н/см <sup>2</sup>	Питома сила тертя, Н/см <sup>2</sup>	Коефіцієнт тертя
Розсипчасте	10,4	1,4	0,13
Спресоване	10,4	1,7	0,16

Особливістю сушки бобових трав є те, що швидкість сушки стебел менша, ніж швидкість сушки листків. Так при загальній вологості трави конюшини 60 % стебла мають біля 65 % вологості. А листя рослин в той час досягали наступної вологості: при сушці в затінку (фаза цвітіння) – 50 %, при сушці на сонці (бутонізація) – 40 і в фазі цвітіння – 25 %. Тобто різниця між вологістю стебел і листків становить: в першому випадку 15, в другому – 25 і в третьому – 40 %. Причому в процесі сушки різниця між вологістю стебел і листків зростає, а потім зменшується при досяганні кондиційної вологості.

На інтенсивність сушки листя, крім способу сушки, впливає фаза росту і розвиток рослин. Листя рослин пізніх фаз вегетації більш інтенсивніше віддають вологу, ніж листя рослин, скошених в більш ранні фази вегетації.

## 1.2 Аналіз технологій заготівлі сіна

Заготівля сіна – найбільш старовинний спосіб консервування трав. За багаторічну історію існування цього способу розроблено ряд технологій, які дозволяють заготовляти сіно в розсипному, пресованому та подрібненому вигляді.

Найбільш досконалою технологією заготівлі розсипного сіна є технологія заготівлі його з консервуванням. Згідно [1] траву скошують, а якщо в травостой є бобові трави, то відразу плющать і залишають для прив'ялювання до вологості бобових не нижче 50, а злакових трав – 45%. Щоб прискорити процес прив'ялювання, траву ворують. При досяганні вказаної вологості траву згрібають у валки, в яких вона досушується до вологості 30...35%. Після чого її укладають в копиці для подальшого висушування. Одержане таким чином сіно завантажують у транспортні засоби, транспортують до місця зберігання і укладають в скирту.

Основним недоліком цієї технології є розтягування строків заготівлі, а це збільшує ймовірність попадання прив'яленої трави під опади. Копиці, утворені волокушами або підбирачами-копицеутворювачами, у випадку попадання їх під дощ, легко промокають на значну глибину. Через це після закінчення дощу і висихання поверхневого шару, копиці необхідно розкидати для сушіння, причому розкидати їх необхідно і в тому випадку, коли трава в них сушиться повільно. Це призводить до збільшення затрат праці та механічних витрат. Крім того, заготівля сіна копнуванням є багатоопераційною, а відтак трудомісткою.

Більш досконалою технологією заготівлі сіна є технологія, коли траву досушують в валках до вологості 20...22%, після чого сіно з валків підбирають і доставляють до місця скиртування.

Головним недоліком цієї технології, як і попередньої, є те, що вона передбачає повне висушування трави в польових умовах, а це пов'язане із значними втратами поживних речовин, які можуть досягати 35...50% від вмісту їх у траві [17, 19].

Значно зменшити втрати поживних речовин в порівнянні з технологіями заготівлі сіна польового сушіння дозволяє активне вентилявання. При заготівлі сіна за цією технологією прив'язану до вологості 45...35% траву збирають з поля і досушують в місцях зберігання на спеціально виготовлених повітророзподільниках шляхом продування через шар трави атмосферного або підігрітого повітря.

Досушування трави вентиляванням, навіть атмосферним повітрям, є відносно енергоємним процесом, тому що для отримання 1 т сухого сіна із трави, яка має вологість 35...40%, необхідно витратити майже 120 кВт·год. електроенергії. Крім того, через високу вологість атмосферного повітря добова тривалість ефективного вентилявання, в більшості випадків, не перевищує 5...8 год. Збільшення тривалості вентилявання шляхом підігрівання повітря електрокалориферами або теплогенераторами призводить до додаткового витрачання від 30 до 40 кг нафтопродуктів на тонну сухого сіна [17].

В останні роки, з метою зниження затрат енергії на підігрівання повітря, розроблено ряд пристроїв [9], які перетворюють сонячну енергії в теплову. Це дозволяє суттєво збільшити продуктивність сушильного обладнання без додаткових затрат енергії. Але через низьку надійність і довговічність ці пристрої ще не знайшли широкого розповсюдження.

Заготівля пресованого сіна вважається одним із прогресивних способів, який отримав широке розповсюдження в багатьох країнах світу. В США, наприклад, об'єм заготівлі такого сіна становить 90%, в Англії, Франції, Німеччині – 70 ... 80% [11]. Існує декілька технологій заготівлі пресованого сіна, які передбачають пресування його в тюки або рулони. Кожна із технологій включає скошування трави і рівномірне її висушування. Для цього

Рисунок 1.1 – Рулонний прес-підбирач 658 фірми NEW HOLLAND

Рисунок 1.2 – Рулонний прес-підбирач ROLLANT 240 фірми CLAAS

застосовують ворущіння прокосів або перевертання валків. При вологості 55...45% траву згрібають в валки і досушують до необхідної, в залежності від застосування тієї чи іншої технології, вологості.

Найбільш розповсюдженими є технології, які передбачають висушування трави в валках до вологості 20...22 або 25...30%. В першому випадку траву з валків підбирають і пресують в тюки або рулони, які укладають на зберігання. В другому випадку траву пресують в тюки, щільність яких не перевищує 140 кг/м<sup>3</sup>, і залишають в полі протягом 2...3 днів для досушування. Практикування цих технологій не дає добрих результатів тому, що вони мають ті ж недоліки, що і технології заготівлі розсипного сіна польового сушіння.

При досушуванні тюкованого сіна активним вентиляванням траву з валків підбирають при вологості 30...35% і пресують в звичайні або укорочені тюки. Недоліком досушування пресованого сіна є те, що вентиляється, в основному, зовнішня поверхня тюків. Рух повітря в середині тюка незначний. Через це при досушуванні тюкового сіна спостерігаються випадки появи цвілі в середині тюків. Важко також визначити строк закінчення вентилявання штабелю і готовність його для довготривалого зберігання.

Останнім часом розповсюдження одержала заготівля сіна в рулони. Переваги цієї технології перед заготівлею сіна в тюках полягають в більш повній механізації заготівлі, в зниженні затрат праці і собівартості. Рулонні преси простіші за конструкцією і менш енергоємні, ніж поршневі.

Стримуючим фактором більш широкого застосування технології заготівлі сіна в рулони є низька вологість (17...22%) пресованої трави. Формування рулонів із сировини, вологість якої перевищує вказану межу, призводить до зниження кормової цінності сіна. Пов'язане це з тим, що досушити активним вентиляванням траву, спресовану в рулони, на обладнанні, яке використовується для досушування розсипного або спресованого в тюки сіна, практично не можливо.

Заготівля пресованого сіна підвищеної вологості – відносно нове направлення в кормовиробництві. Суть цього способу заготівлі полягає в тому, що для пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів, які знаходяться в рослинній масі, вносять хімічні препарати (консерванти). Це запобігає псуванню сіна і забезпечує зниження втрат при заготівлі. Недоліком цього способу є те, що при підбиранні трави вологість вища 30% дія консервантів може виявитись ненадійною.

При заготівлі подрібненого сіна створюються можливості повної механізації робіт, починаючи від скошування і до роздавання корму тваринам.

Операції по скошуванню трави і її сушінню в полі при заготівлі подрібненого сіна аналогічні і здійснюються тим же комплексом машин, що й при заготівлі розсипного або пресованого сіна. Відмінність лише в тому, що прив'язану траву під час підбирання подрібнюють, завантажують в транспортні засоби і доставляють до місця зберігання або досушування. В першому випадку траву підбирають при вологості 20...25%, а в другому – 35-45%.

При підбиранні трави вологістю 20...25% її подрібнюють на частки довжиною 0,10...0,12 м і закладають на зберігання в бетонованих сховищах. При цьому сіно ущільнюють, герметизують поліетиленовою плівкою і шаром землі [9].

Траншейна технологія заготівлі подрібненого сіна може бути застосована лише для закладання сіна із злакових трав. Що стосується бобово-злакових і бобових, то втрати листя при подрібненні і подачі подрібненої маси в причепи чи кузова автомобілів є досить високим. Через це ряд вчених вважають, що заготівля подрібненого сіна доцільна при подрібненні трави вологістю 40...45%.

Досушування подрібненої трави здійснюють як на відкритих, так і в сіносховищах сарайного або баштового типів.

У загальному вигляді процес заготівлі сінажу включає такі операції: скошування, пров'ялювання, підбір та подрібнення трави, укладання маси в сховища та її герметизація.

При сприятливих погодних умовах скошування трав здійснюють валковими косарками–плющилками. При несприятливій погоді більш швидше пров'ялювання трави досягається в прокосах. Для цього її скошують з розстиланням і здійснюють активне ворухіння. Пров'ялювати траву при заготівлі сінажу нижче 45% вологості небажано. Особливо це відноситься до бобових трав і їх сумішок. Недотримання цієї вимоги призводить до збільшення втрат при прив'ялюванні, подовження строків знаходження трав в полі і підвищення механічних втрат.

Із проведеного аналізу видно, що яка б не була різниця між технологіями заготівлі сіна та сінажу невід'ємним етапом будь-якої технології є сушіння скошених трав в польових умовах. Особливістю цього процесу є не тільки втрата скошеними рослинами вологи, але й поживних речовин.

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЮЦЕРНИ

Люцерна належить до найстародавніших кормових культур. У Середній Азії та на Закавказзі вона була відома 2,5 тис. років тому. В Україні люцерну почали вирощувати у 60-х роках ХІХ ст. спочатку на Полтавщині, Поділлі, а потім на півдні [19, 20].

Нині люцерну вирощують у всіх частинах світу. Світова посівна площа її становить понад 30 млн га. В Україні люцерна займає 700 - 800 тис. га. Найбільші площі люцерни розміщені на півдні України. Люцерна є основною кормовою бобовою травою у посушливих районах. Найбільші площі люцерни в США (понад 10 млн га), Аргентині (понад 7 млн га), Індії. На значних площах її вирощують у південних країнах Європи.

Люцерна багаторічна трав'яниста рослина, з численними прямостоячими, чотиригранними, голими або опушеними стеблами, які густо облиствені та досягають 30 - 90 см у висоту. Дає високі врожаї зеленої маси - в умовах зрошення за 8-10 укосів дає до 80-120 т зеленої маси, або 20-40 т сіна з 1 га. Як кормова культура вона цінна тим, що швидко відростає після скошування (3 - 4 рази на літо) і впродовж літа у господарствах мають поживний корм. Вирощують її на зелений корм, сіно і для виготовлення трав'яного борошна. Люцерна, зібрана перед цвітінням, є цінним кормом для молочних корів, свиней і молодняку. Птиці згодують зелену масу люцерни і трав'яне борошно. Сіно люцерни, зібране до цвітіння, містить до 10, а висушене листя - до 20% перетравного протеїну. У люцерні багато вітамінів, фосфору і кальцію. Так, 100 кг люцернового сіна відповідають 53 кормовим одиницям. Багато білка також у сінному борошні та соломі з насінників. Люцерновий білок містить значну кількість незамінних амінокислот, зокрема лізину і триптофану. Вітамінне сіно люцерни значно підвищує продуктивність тварин.

Люцерна має велике агротехнічне значення. Вона нагромаджує велику кількість органічної речовини у вигляді корневих решток, збагачує ґрунт на азот (до 200 кг/га) і поліпшує його фізичні властивості. Люцерна є добрим попередником для технічних, зернових і просапних культур.

За умов інтенсивної технології вирощування збирають 80 - 100 ц/га сіна люцерни, а на зрошуваних землях урожайність її досягає 200 - 300 ц/га. Наприклад, за даними Інституту зрошуваного землеробства УААН, урожайність зеленої маси становила 703 ц/га (з п'яти укосів).

Люцерна (*Medicago L.*) належить до родини Бобових. Трапляється близько 35 її видів, з яких більшість багаторічні, а деякі - дво- й однорічні. Господарське значення мають люцерна посівна (*M. sativa*), жовта (*M. falcata*), гібридна (*M. media*), голуба (*M. coerulea*) і хмелеподібна (*M. lupulina*) [19].

Люцерна посівна має розвинену кореневу систему. Головний стрижневий корінь її розвивається дуже швидко, часто довжина його досягає 8 м і більше. Основна маса коренів розміщується у ґрунті до глибини 40 см. Завдяки цьому люцерна може засвоювати поживні речовини і вологу з глибоких шарів ґрунту, чим і пояснюється її висока посухостійкість. Квітки лілово-фіолетові, суцвіття - китиця. Стебло округло-ребристе, від 70 до 150 см заввишки. Листки трійчасті, яйцеподібні, у верхній частині з країв зазублені. Плід - спіралью скручений біб, що містить 4-8 дрібних жовтих, жовто-бурих ниркоподібних насінин. Маса 1000 насінин – 1-2,6 г.

Люцерна досить зимостійка культура, у безсніжні зими витримує зниження температури до мінус 25 °С. Під сніговим покривом посіви її не вимерзають за температури до мінус 40 °С і нижче. Насіння проростає за температури 5-6 °С, а сходи переносять приморозки мінус 5-6 °С. Навесні люцерна починає розвиватися за температури 8-10 °С. Характеризуючись стійкістю до суворих кліматичних умов і високою врожайністю, люцерна досить поширена і в північних районах.

Люцерна посівна належить до рослин довгого дня. Це світлолюбна рослина, яка погано витримує затінення, особливо на початку росту. До

родючості ґрунту люцерна досить вимоглива. Найвищі врожаї збирають на родючих, глибоких і багатих на сполуки кальцію ґрунтах. Не витримує люцерна близького залягання ґрунтових вод. Найпридатнішими для її вирощування є ґрунти, що мають рН = 7. В умовах зрошуваного землеробства вона запобігає засоленню ґрунтів. Добре розвивається люцерна на піщано-глинистих ґрунтах з достатнім умістом гумусу і незначним умістом сполук кальцію або мергелю у глибше розміщених горизонтах.

Люцерну скошують 2-3, а на зрошуваних землях – 4-5 разів. У лісостепових районах люцерна росте у травостої протягом 3-6, а в степових – 3-4 років і довше, однак за сприятливих умов вирощування посіви її високопродуктивні.

Люцерну посівну вирощують у чистих посівах та в сумішках зі злаковими травами. У районах достатнього зволоження її висівають з кострицею лучною, грястицею збірною, райграсом високим і багатоукісним, а в посушливих степових районах - зі стоколосом безостим, житняком, пирієм безкореневищним і райграсом високим. В умовах зрошення високі врожаї збирають при вирощуванні з райграсом багатоукісним і грястицею збірною. Тваринницькі господарства трирічні посіви люцерни іноді використовують як пасовища для молодняка великої рогатої худоби.

Люцерна жовта має добре розвинену кореневу систему, більш посухо- і зимостійка, ніж посівна. Часто трапляються дикорослі її види. Квітки жовті, зібрані в китиці. Боби серпоподібні, іноді майже прямі. Насіння дрібне, жовте, ниркоподібне. Маса 1000 насінин - 0,9-1,2 г. Листки трійчасті, вузькі. Люцерна жовта менш урожайна, ніж посівна, і погано відростає після скошування, тому поширена менше. Однак люцерна жовта добре росте на засолених ґрунтах.

Люцерну гібридну отримали схрещуванням посівної люцерни з жовтою. Її рослини мають квітки різнобарвлені - сині або жовті, зрідка строкаті. Синьогібридна люцерна поширена переважно у лісостепових, а жовтогібридна - у південно-східних посушливих районах.

Люцерна голуба характеризується високою посухостійкістю і трапляється у посушливих районах Закавказзя та на Прикаспійській низовині. Квітки фіолетово-голубі або світло-сині. Досить високі врожаї люцерни голубої збирають у посушливих районах. Вона витримує засолення ґрунту.

Люцерна хмелеподібна - одно- або дворічна культура. Дикорослі види її ростуть на різних ґрунтах у багатьох регіонах країни, за винятком посушливих районів. Квітки жовті, зібрані у невеликі китиці, подібні до шишок хмелю. У країнах Західної Європи її часто підсівають навесні до озимих або ярих зернових культур, щоб мати зелений корм, сіно або використовувати як пасовище після збирання врожаю. Люцерну хмелеподібну часто вирощують на зелене добриво. Придатна для сівби на сухих легких ґрунтах.

В Україні найпоширеніші селекційні й місцеві сорти синьогібридної люцерни. До районованих сортів належать такі.

Зайкевича - найпоширеніший сорт в Україні. Середньостиглий, високоврожайний, досить посухостійкий і зимостійкий. Вимерзає тільки у суворі безсніжні зими. Дає два-три і навіть чотири укуси за рік. Висота рослини до 1 м.

Веселоподолянська II - середньостиглий, високоврожайний, досить посухо- і зимостійкий сорт. Росте на засолених ґрунтах. Забарвлення квіток різноманітне - зеленувато-жовте, жовтувато-синє і майже біле з синім відтінком. Висота рослини до 90 см. За літо дає два укуси сіна. Районований у степовій, лісостеповій і поліській зонах

Херсонська 7 - середньостиглий сорт. Рослини до 80 см заввишки. В умовах зрошення збирають 530-587 ц/га зеленої маси і 158-185 ц/га сіна. Районований у степовій зоні.

Наdejда - середньостиглий, урожайний сорт. Стебла заввишки до 100 см. За літо при зрошенні дає до чотирьох укосів. Середня врожайність зеленої маси становить 580, насіння – 4-5 ц/га. Районований у степовій, лісостеповій та поліській зонах.

Ярославна - урожайний, зимостійкий, стійкий проти полягання, придатний для вирощування за низьких температур та високій вологості сорт. Кущ прямостоячий із тонкими стеблами. Районований у степовій, лісостеповій та поліській зонах.

Регіна - високоврожайний, середньостиглий прямостоячий кущ із м'яких трохи опушених стебел заввишки 60-100 см. Суцвіття - овально-циліндрична китиця з квітками переважно синього кольору. Боби середні, бурі з нещільною спіраллю. Стійкий проти обсіпання насіння і полягання, зимостійкий. Кормова цінність висока. Районований у лісостеповій і степовій зонах.

Люцерна досить вибаглива до чистих від бур'янів ґрунтів. Кращими попередниками для безпокровних її посівів є кукурудза, озимий ріпак та озима пшениця після чистого пару. За менш сприятливих ґрунтово-кліматичних умов її доцільніше висівати без покровної культури.

### 3 АГРОТЕХНІЧНІ ПОКАЗНИКИ СКОШУВАННЯ ТРАВ І ПРОЦЕСУ ЇХ ПЛЮЩЕННЯ

У відповідності з зоотехнічними вимогами багаторічні трави скошують в фазі бутонізації, а злакові в фазі початку колосіння. Тривалість періоду скошування у господарстві не повинна перевищувати 8 – 10 днів.

Висота скошування впливає на величину врожаю та склад травостою. Для найбільш повного збору врожаю необхідно зрізувати рослини як можна нижче, але при значних нерівностях поля це може призвести до забруднення сіна землею, дерниною та залишками минулорічних рослин. Надто низький зріс бобових в північних районах приводить до підмерзання кореневої системи та порушує нормальне відростання багаторічних трав. В південних районах бажано скошувати чим нижче. Це дозволяє знищити низькорослі бур'яни. Крім того, при низькому скошуванні нові стебла люцерни розвиваються переважно від бруньок, в кореневій головці, внаслідок чого відростання та цвітіння її відбувається швидше. Із врахуванням цього оптимальна висота зрізу рекомендується 5 – 6 см.

Другим важливим показником скошування являється якість зрізу. Зріз рослин повинен бути чистим, без виривання їх з землі та розривів стебла. Це не тільки зменшує навантаження на ріжучі елементи, але не впливає й на своєчасне отримання наступного врожаю. Надмірне навантаження на опори ріжучого апарату косарок зминає стерню та ущільнює поверхню поля, пригнічуючи кореневу систему рослин. Недостатнє навантаження призводить до того, що ріжучий апарат легко піднімається, що призводить до збільшення висоти стерні. Тому косарки необхідно експлуатувати з правильно відрегульованим навантаженням ріжучого апарату на ґрунт.

При сушінні трав у природних польових умовах спостерігається нерівномірне висихання окремих частин рослин. Грубі і соковиті стебла таких трав, як люцерна, конюшина й інші кормові культури, висихають повільно, а

листова частина рослини пересихає і при подальшому механічному впливі легко оббивається, що приводить до збільшення втрат врожаю. Так, при середній вологості прив'язаної трави 40% її листова частина містить тільки 20% вологи і легко обламується. При сушінні в польових умовах у сінні зберігається лише 10% каротину, що міститься в траві, а решта руйнується в результаті впливу сонячної радіації.

Дослідженнями встановлено, що втрати поживних речовин продовжуються доти, поки вологість скошеної трави не знизиться до 40%. При цьому обсяг втрат прямо пропорційний вихідній вологості і обернено пропорційний інтенсивності сушіння. У ясну погоду втрати сухої речовини досягають 20%, а в похмуру - 40%.

Одним з методів вирівнювання і прискорення процесу сушіння є плющення трави безпосередньо після скошування. При цьому стебла трави роздавлюються, що істотно прискорює вологовіддачу. Плющення трави рекомендується застосовувати у всіх випадках збирання високоврожайних сіяних трав.

Робота плющилок оцінюється по прискоренню вологовіддачі плющеної трави. Кількісним показником ефективності може служити коефіцієнт:

$$\eta = 1 - \frac{\omega_n}{\omega_{\text{нп}}}, \quad (3.1)$$

де  $\omega_n$  — вологість плющеної трави;

$\omega_{\text{нп}}$  — вологість не плющеної трави.

Значення коефіцієнта  $\eta$  безупинно міняються в процесі сушіння і досягає максимального при вологості плющеної трави рівної приблизно 40-50%. Отже, плющення виявляється найбільше ефективним при заготівлі грубих кормів у вигляді сінажу, що закладається на збереження саме при цій вологості.

Ефективність плющення залежить від поверхні вальців. Результати спостережень за вальцями різного типу, які робили в однаковому режимі на

одному агрофоні, показують, що профіль поперечного перерізу вальців у більшій мері впливає на ефективність плющення, ніж їхній матеріал. Але при однаковому профілі ефективність сталевих вальців вища, ніж прогумованих.

Якість плющення оцінюють числом пошкоджень, що отримують стебла рослин. По характеру пошкоджень плющений матеріал прийнято поділяти на наступні п'ять груп: 1) не плющені стебла; 2) частково плющені; 3) цілком плющені; 4) роздроблені; 5) дрібні частини (обривки).

#### 4 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАГОТІВЛІ СІНА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВДОСКОНАЛЕНИХ МАШИН

Основним технологічним документом на вирощування або збирання будь-якої сільськогосподарської культури у господарстві є технологічна карта, яка включає такі блоки інформації:

- агротехнічний блок, що містить назву операції та основні вимоги до неї, обсяг робіт, початок і тривалість робіт;
- технічне забезпечення операції і нормативи на використання техніки;
- потреби в ресурсах: кількість технічних засобів, виробничого персоналу, робочих днів і нормо-змін, палива і технологічних матеріалів;
- показники ефективності операції: затрати праці, прямі і приведені витрати.

Технологічні операції в карті записуються у послідовності їх виконання. При складанні технологічної карти доцільно виділити окремі технологічні цикли, що об'єднують суцільність операцій із спільною метою. Визначення основних показників використання техніки і заповнення граф нової технологічної карти заготівлі сіна, яка пропонується в дипломній роботі, покажемо на прикладі операції скошування трав.

Скошування трав у ранні фази вегетації забезпечує високу поживність кормів завдяки багатому вмісту протеїну, легкоперетравної клітковини та вітамінів. Листки рослин містять у 2,0–2,5 раза більше білкових речовин і в 10 разів більше вітамінів, ніж стебла, що робить їх більш поживними.

Важливо враховувати фазу розвитку багаторічних трав для визначення оптимальних строків збирання, що впливає на загальну продуктивність луків. Тонконогові (злакові) трави скошують у фазі виходу в трубку — початку колосіння, а бобові трави слід збирати на початку бутонізації — бутонізація і закінчувати його не пізніше ніж на початку цвітіння. Висота скошування

рослин впливає на відновлення травостою: трави відростають швидше, якщо зрізання проведене вище точки росту, і повільніше — при її пошкодженні.

В графу “Шифр операції” записуємо номер операції, в нашому випадку це цифра 1. В графу “Назва операції” відповідно – скошування, а у графу “Обсяг робіт” – площу поля.

Початок робіт по скошуванню плануємо розпочати 5.06 поточного року. Тривалість робіт вибираємо виходячи із агровимог до заготівлі сіна. Згідно рекомендацій [3, 6] тривалість виконання польових операцій по заготівлі сіна на одному полі не повинна перевищувати 10 днів. Приймаємо, що в нашому випадку тривалість скошування не повинна перевищувати 7 днів.

Коефіцієнт змінності визначаємо за формулою:

$$K_{зм} = \frac{T_{\partial}}{T_{зм}}, \quad (4.1)$$

Беручи до уваги, що у червні довгий світовий день, приймаємо  $T_{\partial} = 14$  год. Тривалість робочої зміни в сільському господарстві становить  $T_{зм} = 7$  год. Тоді

$$K_{зм} = \frac{14}{7} = 2.$$

При складанні перспективної технологічної карти склад агрегатів для виконання робіт по заготівлі сіна вибираємо, виходячи із наявної в господарстві техніки. Норми виробітку і витрати палива взяті з існуючих в господарстві нормативів.

Необхідну для виконання запланованого обсягу робіт в агрострок кількість агрегатів визначаємо за формулою:

$$n_a = \frac{\Omega}{W_{зм} \cdot K_{зм} \cdot D_p} \quad (4.2)$$

де  $\Omega$  - обсяг робіт, га;

$W_{зм}$  – змінна норма виробітку, га/зм.;

$K_{зм}$  – коефіцієнт змінності;

$D_p$  – тривалість робіт, днів.

Підставимо відповідні значення в (4.2) і отримаємо:

$$n_a = \frac{116}{10,4 \cdot 2 \cdot 7} = 0,78.$$

Приймаємо для виконання операції 1 агрегат.

Кількість днів, протягом яких буде виконана робота, підраховуємо за формулою:

$$D_{\phi} = \frac{\Omega}{n_a \cdot W_{зм} \cdot K_{зм}} \quad (4.3)$$

Підставляємо в формулу відповідні значення і отримуємо:

$$D_{\phi} = \frac{116}{1 \cdot 10,4 \cdot 2} = 6 \text{ днів.}$$

Число нормо-змін, необхідних для виконання роботи, знаходимо за формулою:

$$N_{зм} = \frac{\Omega}{W_{зм}} \quad (4.4)$$

$$N_{зм} = \frac{116}{10,4} = 11,2.$$

Необхідну кількість обслуговуючого персоналу визначимо за формулою:

$$n_m = m_m \cdot n_a \cdot K_{зм} \quad (4.5)$$

$$n_{\partial} = m_{\partial} \cdot n_a \cdot K_{зм} \quad (4.6)$$

де  $n_m$  і  $n_d$  – відповідно, кількість механізаторів та допоміжних робітників, обслуговуючих агрегат.

Визначимо кількість механізаторів для операції скошування:

$$n_m = 1 \cdot 1 \cdot 2 = 2 \text{ механізатора.}$$

Аналогічно визначаємо кількість допоміжних робітників.

Кількість палива, необхідного для виконання роботи, визначаємо по формулі:

$$G_n = \Omega \cdot g_m \quad (4.7)$$

Для операції скошування витрати палива будуть становити:

$$G_n = 116 \cdot 3,5 = 411,5 \text{ т.}$$

Затрати праці на виконання робіт підраховуємо за формулою:

$$Z_n = (n_m + n_d) N_{zm} \cdot T_{zm} \quad (4.8)$$

В нашому випадку затрати праці будуть становити:

$$Z_n = (2 + 0) \cdot 11,2 \cdot 7 = 156,8 \text{ год./га.}$$

Виробіток машинно-тракторних агрегатів в умовних одиницях визначаємо за формулою:

$$\Omega_y = \lambda \cdot N_{zm} \cdot T_{zm}, \quad (4.9)$$

Умовний виробіток на операції скошування буде таким:

$$\Omega_y = 0,7 \cdot 11,2 \cdot 7 = 54,9 \text{ у.е.га.}$$

Аналогічно приведеному прикладу по скошуванню трави ми виконуємо решту розрахунків по операціям, які входять в технологію заготівлі сіна. Всі отримані дані зносимо у відповідні їм колонки технологічної карти.

## 5 ОБГРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ КОСАРКИ

### 5.1 Обґрунтування схеми удосконалення

В дипломній роботі запропоновано удосконалення технологічного процесу ротаційної косарки КРН-2,1. Удосконалення зводиться (див. графічну частину проекту) до оснащення косарки плющильним апаратом динамічної дії.

Плющення рослинної маси сприяє рівномірному сушінню всіх частин рослин, що особливо важливо при заготівлі сіна з бобових трав. Листя та молоді бутони рослин є найбільш поживними їх частинами, містять більше протеїну та мінеральних речовин, а також у 10–15 разів більше каротину порівняно зі стеблом.

Процес плющення полягає у проходженні рослинної маси між двома паралельними, горизонтально розміщеними один над другим циліндричними вальцями з зустрічним обертанням, які з певним зусиллям стискають рослинну масу, руйнуючи при цьому покривну тканину стебел (шкірку) з утворенням на ній поперечних зломів та поздовжніх тріщин, через які стебла швидко втрачають вологу. Завдяки плющенню швидкість вологовіддачі у стебел прискорюється на 25–30% і практично зрівнюється з швидкістю вологовіддачі листків, забезпечуючи рівномірність сушіння всієї рослинної маси.

В нашій пропозиції плющильний апарат косарки складається з ротора, на якому закріплені била, виконанні з тонкого металевого дроту або композитних матеріалів, і направляючого кожуха, який охоплює апарат на деякій відстані. Під час протягування білами скошеної трави по внутрішній поверхні напрямного кожуха відбувається пошкодження кутикулярної плівки, стебла зламуються. Завдяки цьому утворюється пухкий прокіс або валок. В результаті інтенсивність сушіння трави збільшується порівняно з необробленою.

## 5.2 Визначення основних параметрів плющильного апарату

Визначаємо основні кінематичні параметри роботи плющильного апарату та механізму розпушування ущільненої маси.

Визначаємо колову швидкість бил ротора, виходячи з умови:

$$u_6 = \frac{m_c}{h_2 \cdot l \cdot \varepsilon \cdot \eta \cdot \rho}, \quad (5.1)$$

де  $m_c$  – секундна подача рослини, кг/с;

$h_2$  – зазор між вальцями, м;

$\varepsilon$  – коефіцієнт використання робочої щілини вальців,  $\varepsilon = 0,8 - 0,85$ ;

$l$  – висота плющильного ротора, м;

$\eta$  – коефіцієнт ковзання рослини по вальцях,  $\eta = 0,8 - 0,9$ ;

$\rho$  – щільність рослини, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho = 86$  кг/м<sup>3</sup>.

Секундну подачу трави до плющильних апаратів визначаємо, виходячи із урожайності люцерни, тобто:

$$m_c = B_p \cdot V_p \cdot Y \cdot \gamma \quad (5.2)$$

де  $B_p$  – робоча ширина захвату машини, м;

$V_p$  – робоча швидкість машини, м/с;

$Y$  – урожайність люцерни, кг/м<sup>2</sup>;

$\gamma$  – коефіцієнт використання ширини захвату.

$$m_c = 2,1 \cdot 3,3 \cdot 5,0 \cdot 0,94 = 32,78 \text{ кг/с.}$$

Зазор між билами ротора і декою визначаємо за залежністю:

$$h_2 \geq h_1 - D \cdot (1 - \cos \phi) \quad (5.3)$$

де  $h_1$  – товщина шару рослини на вході в зазор між білами і декою, м;

$D$  – діаметр роторів, м;

$\varphi$  – кут тертя рослини по деці,  $\varphi = 38^\circ$ .

$$h_2 \geq 0,14 - 0,3 \cdot (1 - \cos 38^\circ) = 0,074 \text{ м}$$

Підставивши отримані значення у формулу (5.1), отримаємо:

$$u_6 = \frac{32,78}{0,074 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 86} \approx 19 \text{ м/с.}$$

Визначаємо радіус ротора за вершинами бил виходячи з умови нерозривності потоку трави. Біла ротора не повинні надмірно діяти на траву для запобігання її подрібнення та відривання листочків.

Для заданих умов визначаємо кутову швидкість вала вальців формулою

$$\omega = \frac{u_6}{R_B} \quad (5.4)$$

Тоді,

$$\omega = \frac{19}{0,15} = 126,7 \text{ с}^{-1}$$

Знаходимо частоту обертання вала вальців за формулою

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} \quad (5.5)$$

Тоді,

$$n = \frac{30 \cdot 126,7}{3,14} = 1210 \text{ об/хв}$$

Визнаємо радіус ротора за вершинами бил, виходячи з умови нерозривності потоку трави. Пальці ротора не повинні надмірно діяти на траву

для запобігання її подрібнення та відривання листочків.

Радіус вершини пальців визначаємо за формулою:

$$R = \frac{\lambda \cdot u_{\epsilon}}{\omega}, \quad (5.6)$$

де  $\lambda$  – кінематичний показник роботи ротора,  $\lambda = 1,1$ .

$$R = \frac{1,1 \cdot 19}{126,7} = 0,165 \text{ м.}$$

### 5.3 Розрахунок параметрів балансирних пружин косарки

Важливим показником скошування трав є якість зрізу. Зріз рослин повинен бути чистим, без виривання їх з землі та розривів стебла. Це не тільки зменшує навантаження на ріжучі елементи, але не впливає й на своєчасне отримання наступного врожаю. Надмірне навантаження на опори ріжучого апарату косарок зминає стерню та ущільнює поверхню поля, пригнічуючи кореневу систему рослин. Недостатнє навантаження призводить до того, що ріжучий апарат легко піднімається, що призводить до збільшення висоти стерні. Тому косарки необхідно експлуатувати з правильно відрегульованим навантаженням ріжучого апарату на ґрунт.

Щоб забезпечити найкращу роботу косарки розрахуємо параметри пружини. Гвинтова циліндрична пружина розтягу має такі основні геометричні параметри (рис. 5.1):

$d$  — діаметр витків (дроту) пружини;

$D$  — середній діаметр пружини;

$D_3 = D + d$  — зовнішній діаметр пружини;

$C = D/d$  — індекс пружини;

$h$  — крок витків у ненавантаженій пружині ( $H = d$  — для пружини розтягу, рис. 5.1);

$\alpha$  — кут підйому витків ( $\text{tg } \alpha = h/(\pi D)$ );

$H_0$  — довжина (висота) ненавантаженої пружини;

$H_p$  — довжина робочої частини ненавантаженої пружини;

$i$  —  $H_p/h$  — кількість робочих витків;

$L$  — довжина дроту для виготовлення пружини.

Податливість циліндричних пружин пропорційна їхньому індексу  $C$ . Для збільшення податливості індекс  $C$  беруть якомога більшим; практичне застосування мають пружини з індексом  $C$  – 4-12. Залежно від діаметра витків рекомендують такі значення індексу циліндричних пружин [22]:

$d$ , мм	< 2,5	3—5	6—12
$C$	5—12	4—10	4—9

Збільшуючи індекс пружини певної жорсткості, можна зменшити довжину пружини через збільшення її діаметра, а зменшуючи індекс, можна зменшити діаметр через збільшення довжини пружини. Для нашої конструкції вибираємо пружину з індексом 5.

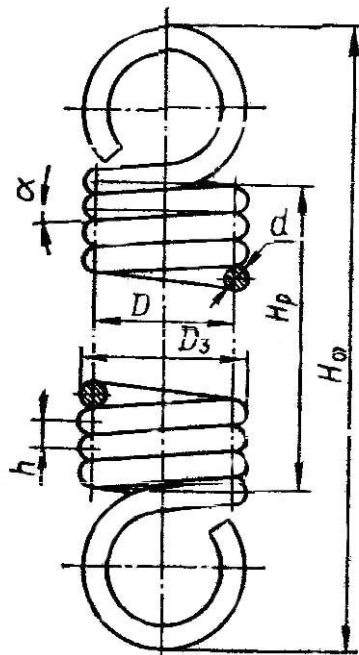


Рисунок 5.1- Гвинтова циліндрична пружина розтягу

Для розрахунку на міцність розглянемо силові фактори, що діють у перерізі витка, навантаженого силою  $P$  пружини (рис. 5.2). За умовою

рівноваги нижньої частини пружини визначаємо, що у довільному перерізі витка діють крутний момент  $T = 0.5P \cdot D$  та поперечна сила  $P$ , які спричинюють відповідно кручення та зріз витка. Нехтуючи кутом підйому витків  $\alpha$ , рис. 5.2, який для більшості пружин розтягу та стиску менший ніж  $10-12^\circ$ , а також напруженнями зрізу від поперечної сили, напруження кручення витків визначають за виразом [22]

$$\tau = T \cdot K / W_p = 8 \cdot P \cdot D \cdot K / (\pi \cdot d^3), \quad (5.7)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує кривину витків;

$W_p = \pi d^3 / 16$  - полярний момент опору перерізу витка.

Коефіцієнт  $K$  беруть залежно від індексу  $C$  пружини із співвідношення [22]

$$K = 1 + 1,4/C. \quad (5.8)$$

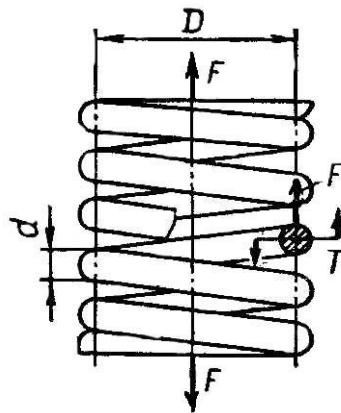


Рисунок 5.2 - Навантаження витків пружини розтягу

Умову міцності витків пружини на основі виразу (5.7) записують у вигляді

$$\tau = 8 \cdot P \cdot D \cdot K / (\pi \cdot d^3) \leq [\tau]. \quad (5.9)$$

Потрібний діаметр дроту пружини із умови (4.9) визначають за формулою [22]

$$d \geq \sqrt[3]{8 \cdot P \cdot D \cdot K / (\pi[\tau])}. \quad (5.10)$$

Якщо в умові (5.10) врахувати, що  $D/d = C$ , то формулу для визначення діаметра дроту пружини можна записати у вигляді

$$d \geq \sqrt{8 \cdot P \cdot K \cdot C / (\pi[\tau])}. \quad (5.11)$$

Допустимі напруження для пружин залежать від матеріалу пружини, характеру зміни навантаження та ступеня відповідальності пружини. Циліндричні гвинтові пружини відповідального призначення виготовляють здебільшого з дроту підвищеної та високої міцності. Для таких навантажених статично пружин допустимі напруження беруть: при розрахунку витків на кручення  $[\tau]_c = 0,5\sigma_B$ ; при розрахунку на згин  $[\sigma]_c = 0,5\sigma_B$ .

Якщо під час роботи на пружину діють змінні навантаження, то допустимі напруження треба вибирати з умови запобігання втомному руйнуванню. У такому разі рекомендують брати [22]:

$$[\tau] = [\tau]_c \cdot K_L, \text{ та } [\sigma] = [\sigma]_c K_L,$$

де  $[\tau]_c$ ,  $[\sigma]_c$  — допустимі напруження при статичному навантаженні пружин;

$K_L$  — коефіцієнт довговічності, який залежно від числа циклів  $N_{ц}$  навантаження пружини за строк її служби та коефіцієнтів асиметрії циклів  $R$ .

Вибираємо коефіцієнт  $K_L = 0,4$ , орієнтуючись на виготовлення пружини із пружинного дроту III класу міцності діаметром 4-6 мм. Вибираємо границю міцності дроту  $\sigma_B = 1100$  МПа. Тоді, допустиме напруження витків

$$[\tau] = 0,5 \sigma_B K_L = 0,5 \cdot 1100 \cdot 0,4 = 220 \text{ МПа.}$$

Якщо попередньо взяти індекс пружини  $C'=5$ , то матимемо коефіцієнт, що враховує кривизну витків (5.8)

$$K'=1+1,4/C'=1+1,4/5=1,3.$$

Тоді, з (5.11) визначаємо діаметр дроту

$$d \geq \sqrt{8 \cdot F \cdot K \cdot C / (\pi [\tau])} = \sqrt{8 \cdot 65,3 \cdot 1,3 \cdot 5 / (3,14 \cdot 220)} = 5,2 \text{ мм.}$$

Добуте значення  $d$  округлюємо до значення у стандартному ряду діаметрів дроту для виготовлення пружин  $d = 6$  мм.

Діаметр дроту пружини дає змогу визначити середній та зовнішній діаметри пружини:

$$D = C d = 5 \cdot 6 = 30 \text{ мм;}$$

$$D_3 = D + d = 30 + 6 = 36 \text{ мм.}$$

Осьову пружну деформацію пружини (розтяг або стиск) під дією навантаження  $P$  можна дістати як добуток кута закручування витків  $\theta$  пружини та середнього радіуса пружини  $0,5D$  [22]:

$$\lambda = 0,5D\theta = 0,5 \cdot D \cdot M \cdot \pi \cdot D \cdot i / (G \cdot I_p),$$

де  $i$  - кількість робочих витків пружини;

$G$  - модуль пружності при зсуві матеріалу пружини (для сталі  $G = 8 \cdot 10^4$  МПа);

$I_p = \pi d^4/32$  - полярний момент інерції перерізу витка пружини.

Виражаючи  $I_p$  через  $d$  та враховуючи, що  $D/d = C$ , вираз для осьової пружної деформації пружини можна записати у вигляді:

$$\lambda = 8 \cdot P \cdot D^3 \cdot i / (G \cdot d^4) = 8 \cdot F \cdot C^3 \cdot i / (G \cdot d) \quad (5.12)$$

Відношення навантаження  $P$  до осьової пружної деформації  $\lambda$  пружини називається жорсткістю  $k$  пружини. Із виразу (5.12)

$$k = G \cdot d^4 / (8 \cdot D^3 \cdot i) = Gd / (8 \cdot C^3 \cdot i). \quad (5.13)$$

Вираз (5.12) дає змогу визначити потрібну кількість робочих витків пружини, якщо відоме значення  $\lambda$ ,

$$i = G \cdot d^4 \cdot \lambda / (8 \cdot P \cdot D^3) = G \cdot d \cdot \lambda / (8 \cdot P \cdot C^3) \quad (5.14)$$

Щоб правильно розрахувати та підібрати пружину, треба знати її робочу характеристику (рис. 5.3), на якій повинні бути зазначені:  $\lambda_{\min}$ ,  $\lambda_{\max}$  - відповідно мінімальна та максимальна розрахункові деформації пружини;  $P_{\min}$ ,  $P_{\max}$ ,  $P_{\text{Гр}}$  - відповідно мінімальне і максимальне розрахункові навантаження та граничне навантаження на пружину (при посадці витків у пружинах стиску і за міцністю витків у пружинах розтягу).

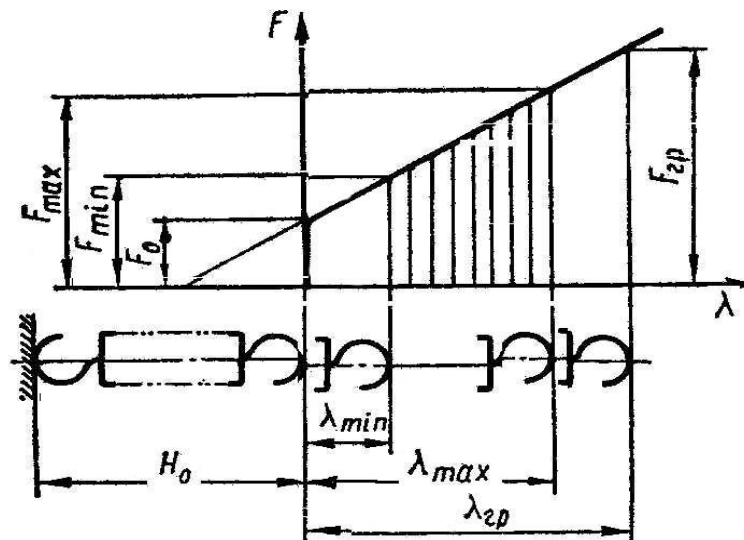


Рисунок 5.3- Робоча характеристика пружини розтягу

Для пружин розтягу (рис. 5.3), виготовлених із щільним (закритим) навиванням витків, початковий натяг (притискання сусідніх витків)  $P_0 = (0,2 - 0,3) P_{гр}$ . Граничне навантаження для пружин розтягу та стиску беруть  $P_{гр} = (1,1 - 1,2) P_{max}$ . Граничне навантаження

$$P_{гр} = 1,2 \cdot P = 1,2 \cdot 80 = 96 \text{ Н.}$$

При цьому навантаженні розрахункове напруження у витках пружини вибраних параметрів [15]

$$\tau = 8 \cdot P_{гр} \cdot D \cdot K / (\pi \cdot d^3) = 8 \cdot 96 \cdot 15 \cdot 1,3 / (3,14 \cdot 6^3) = 154,2 \text{ МПа,}$$

що менше від допустимого  $[\tau] = 220 \text{ МПа}$ .

За формулою (5.14) потрібна кількість витків пружини при деформації  $\lambda = 20 \text{ мм}$

$$i = G \cdot d^4 \cdot \lambda / (8 \cdot P \cdot D^3) = 8 \cdot 10^4 \cdot 6^4 \cdot 20 / (8 \cdot 96 \cdot 30^3) \approx 44.$$

Решту розмірів пружин обчислюють за такими формулами. Довжина робочої частини ненавантаженої пружини (див. рис. 5.1)

$$H_p = i \cdot d \tag{5.15}$$

$$H_p = 44 \cdot 6 = 264 \text{ мм.}$$

Повна кількість витків

$$i_0 = i + (1 \dots 2) \tag{5.16}$$

$$i_0 = 44 + 2 = 46.$$

Довжина ненавантаженої пружини:

$$H_0 = i_0 \cdot d + 2 \cdot h_B, \quad (5.17)$$

де  $h_B = (0,5 - 1) \cdot D$  — висота одного вушка.

$$H_0 = 44 \cdot 6 + 2 \cdot 30 = 324 \text{ мм.}$$

Довжина пружини при максимальному розрахунковому навантаженні  $P_{\text{так}}$  [22]

$$H = H_0 + \lambda_{\text{max}} = H_0 + (P_{\text{так}} - P_0)/k = H_0 + 8 C^3 i (P_{\text{так}} - P_0)/(G d) \quad (5.18)$$

$$H = 324 + 8 \cdot 5^3 \cdot 44 (96 - 65,3)/(8 \cdot 10^4 \cdot 6) = 358,97 \text{ мм.}$$

При максимальному осьовому навантаженні  $P = 96 \text{ Н}$  мінімальний зазор між витками

$$\Delta = 0,2\lambda/i, \quad (5.19)$$

$$\Delta = 0,2 \cdot 20/44 = 0,09 \text{ мм.}$$

Крок витків ненавантаженої пружини

$$H = \lambda i + d + \Delta, \quad (5.20)$$

$$H = 20/44 + 6 + 0,05 = 6,71 \text{ мм.}$$

Довжина дроту для виготовлення пружини [22]

$$L = \pi \cdot D \cdot i_0 / \cos \alpha + 2l_B, \quad (5.21)$$

де  $l_B$  — довжина дроту для одного вушка.

$$\alpha = \arctg[h/(\pi \cdot D)]/(8 \cdot F \cdot D^3) \quad (5.22)$$

$$\alpha = \arctg[6,71/(3,14 \cdot 30)] = 4,03^\circ.$$

$$L = \pi \cdot D \cdot i_0 / \cos \alpha + 2l_B = 3,14 \cdot 30 \cdot 44 / \cos(4,03) + 2 \cdot 45 = 1631,3 \text{ мм.}$$

Для гвинтових циліндричних пружин розтягу або стиску з дроту круглого перерізу існує також табличний метод визначення розмірів за відомими навантаженнями (ГОСТ 13765-86).

## 6 ОБГРУНТУВАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ СКОШУВАННЯ ТРАВ

Операція скошування трав виконується при наступних умовах в господарстві: площа поля – 100 га; група поля – 2; довжина гонів – 1000 м; величина схилу – 3%; висота зрізу рослин – 6 см; урожайність – 250 ц/га.

Для забезпечення високоякісної заготівлі сіна операція скошування повинна відповідати наступним вимогам: висота зрізу рослин для природних сінокосів і багаторічних трав лісної зони при першому укосі повинна складати 5-6 см, а при другому – 6-7 см. Якщо скошувати сіяні багаторічні трави для отримання насіння, то можна збільшити висоту зрізу до 8-9 см. Зріз лучних сіяних трав (першого року) не повинен бути нижче 10-12 см. Однорічні трави і їх суміші скошуються на висоті 4-6 см. Слід пам'ятати, що збільшення висоти зрізу призводить до значних втрат врожаю, а зменшення її знижує послідувачі врожаї трав і збереженість травостою. Відхилення висоти зрізу від встановленого рівня не повинно перевищувати  $\pm 0,5$  см, по всій довжині ріжучого апарату. Необхідно також забезпечити рівний і повний зріз, щоб рослини не виривались із ґрунту, а їх коріння не попадало в скошену масу. Загальні втрати при скошуванні трав від збільшення висоти зрізу, не зрізання рослин та ін. не повинні перевищувати 2%.

Перед початком роботи необхідно підготувати агрегат. Підготовка до роботи трактора включає: встановити ширину колії – 1400-1500 мм; тиск в шинах коліс: напрямних – 0,25МПа; ведучих – 0,14 МПа; встановити довжину центральної тяги системи навіски на довжину – 750 мм.

Підготовка косарки передбачає виконання таких робіт: з'єднати повздожню і центральну тяги механізму навіски трактора з рамою навіски косарки; з'єднати гідросистему косарки з гідросистемою трактора та шарнір карданного валу з ВВП трактора; усунути бокові зміщення косарки відносно

повздожньої осі трактора за допомогою блокувального пристрою начіпної системи; встановити раму навіски у вертикальне положення, змінюючи довжину розкосів; відрегулювати висоту рами навіски косарки на 485 мм і зафіксувати гідроциліндр начіпної системи трактора.

Перевірка технічного стану косарки: перевірити і при необхідності залити масло в картер конічного редуктора і різального апарату (вони мають бути заповнені на 1/3 сумішшю мастила такого складу 50% трансмісійного масла (або М-8А) 50% солідолу); перевірити, і при необхідності відрегулювати натяг клинопасової передачі; за допомогою натяжних пристроїв пружин встановити силу тиску на ґрунт башмаків: внутрішнього – 270-700; зовнішнього – 100-300 Н; зміною довжини центральної тяги начіпної системи трактора встановити кут нахилу різального апарату (не більше 7°) за ходом агрегату.

Для того, щоб підготувати поле до обробітку машинно-тракторним агрегатом (МТЗ-82 + косарка-плющилка) потрібно виконати наступні операції: усунути з поля наявні перешкоди; розмітити поле; відмітити поворотні смуги; на місце першого проходу встановити прапорець; спосіб руху круговий; вид повороту безпетльовий з прямою ділянкою.

Розрахуємо швидкісні та тягові режими роботи агрегату.

Знаходимо діапазон швидкості руху агрегату.

$$V = V_{\min} - V_{\max} = 6 - 12 \text{ км/год.}$$

В інтервалі агротехнічно допустимих швидкостей руху вибираємо передачі трактора.

$$V_{\text{ТЗ}} = 7,24 \text{ км/год; } V_{\text{ТН}} = 8,9 \text{ км/год; } V_{\text{ТС}} = 10,54 \text{ км/год.}$$

Підраховуємо величину тягового зусилля трактора з врахуванням умов роботи:

$$P_{\text{ТАКі}} = P_{\text{руш}}^i - P_f - P_{\alpha}, \quad (6.1)$$

де  $P_{ГАКі}$  – номінальне тягове зусилля трактора на  $i$ -й передачі, кН;

$P_f$  – сила опору перекочуванню трактора, кН;

$P_\alpha$  – сила опору рухові трактора на підйом, кН.

Сила опору перекочуванню [23, 24]:

$$P_f = G_{тр} \cdot f_{тр}, \quad (6.2)$$

де  $f_{тр}$  – коефіцієнт опору кочення;

$G_{тр}$  – вага трактора, кН.

$$P_f = 31,5 \cdot 0,05 = 1,575 \text{ кН.}$$

Сила опору трактора на підйом:

$$P_\alpha = G_{тр} \frac{i}{100}, \text{ кН} \quad (6.3)$$

де  $i$  – величина схилу, %.

$$P_\alpha = 31,5 \cdot \frac{3}{100} = 0,945 \text{ кН.}$$

Дотична сила трактора дорівнює [23]:

$$P_{дот} = \frac{9,554 \cdot N_e \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр}}{r_k \cdot n_n}, \quad (6.4)$$

де  $N_e$  – ефективна потужність двигуна трактора, кВт;

$i_{тр}$  – передаточне число трансмісії на задній передачі;

$\eta_{тр}$  – механічний ККД;

$r_k$  – радіус перекочування [23];

$$r_k = r_0 + h \cdot \lambda, \quad (6.5)$$

де  $r_0$  – радіус сталюого ободу колеса, м;

$h$  – висота шини, м;

$\lambda$  – коефіцієнт прогинання шини;

$n_n$  – частота обертання колінчастого валу, об/хв.

$$r_k = 0,483 + 0,305 \cdot 0,72 = 0,703 \text{ м.}$$

$$P_{\text{дот3}} = \frac{9,554 \cdot 58,9 \cdot 85,5 \cdot 0,90}{0,703 \cdot 2200} = 27,8 \text{ кН.}$$

$$P_{\text{дот4}} = \frac{9,554 \cdot 58,9 \cdot 68,0 \cdot 0,90}{0,703 \cdot 2200} = 22,3 \text{ кН.}$$

$$P_{\text{дот5}} = \frac{9,554 \cdot 58,9 \cdot 57,4 \cdot 0,90}{0,703 \cdot 2200} = 18,8 \text{ кН.}$$

Силу зчеплення рушіїв з ґрунтом визначимо за формулою [24]:

$$F = G\mu\varphi, \quad (6.6)$$

де  $G$  - вага трактора,  $G = 33$  кН;

$\mu$ - коефіцієнт зчеплення рушіїв,  $\mu = 0,85$ ;

$\varphi$ - коефіцієнт, який показує яка частина ваги трактора припадає на ведучі колеса,  $\varphi = 0,67$ .

Тоді підставивши дані, будемо мати

$$F = 33 \cdot 0,85 \cdot 0,67 = 18,8 \text{ кН.}$$

Таким чином, рушійна сила трактора для всіх вибраних передач буде становити 18,8 кН.

Тягове зусилля трактора на всіх передачах буде становити

$$P_{\text{гак3}} = 18,8 - 1,6 - 0,9 = 16,3 \text{ кН.}$$

Робочі швидкості трактора [15]:

$$V_p = V_T \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) \text{ км/год.} \quad (6.7)$$

де  $\delta$  – коефіцієнт буксування рушіїв трактора, %;

Визначимо безрозмірний параметр  $p$   $K_{\text{вик}}$  – за його значенням коефіцієнти буксування.

$$p = f(p) = f\left(\frac{P_{\text{гак}} \cdot K_{\text{вик}}}{F_{\text{max}}}\right). \quad (6.8)$$

де  $K_{\text{вик}}$  – коефіцієнт використання,  $K_{\text{вик}} = 0,85$ ;

Тоді, для всіх передач

$$p = 0,05 \cdot \left(\frac{16,3 \cdot 0,85}{18,8}\right) = 0,74.$$

Коефіцієнт буксування рушіїв трактора на всіх передачах буде  $\delta = 12,5$  %.

Робочі швидкості агрегату на відповідних передачах:

$$V_{p3} = 7,24 \cdot \left(1 - \frac{12,5}{100}\right) = 6,3 \text{ км/год.},$$

$$V_{p4} = 8,9 \cdot \left(1 - \frac{12,5}{100}\right) = 7,8 \text{ км/год.},$$

$$V_{p5} = 10,54 \cdot \left(1 - \frac{12,5}{100}\right) = 9,2 \text{ км/год.}$$

Приведений тяговий опір агрегату [14]:

$$R_{\text{пр}} = R_m + R_{\text{ВВП}}, \quad (6.9)$$

де  $R_m$  – тяговий опір машини,

$K_v$  – питомий опір машини, при русі на  $i$ -й передачі, кН/м [24].

$$K_{v_i} = K_0 \cdot [1 + \Delta(V_p - V_0)], \quad (6.10)$$

де  $K_0$  – питомий тяговий опір машини при швидкості  $V = 5$  км/год.;

$V_p$  – фактична робоча швидкість машини;

$V_0$  – початкова швидкість,  $V_0 = 5$  км/год.;

$\Delta$  – приріст питомого опору, агрегату із збільшенням робочої швидкості на 1 км/год,  $\Delta = 2\%$ .

$$K_{v_3} = 0,6 \cdot [1 + 0,02 \cdot (6,3 - 5)] = 0,63 \text{ кН/м.}$$

$$K_{v_4} = 0,6 \cdot [1 + 0,02 \cdot (7,8 - 5)] = 0,65 \text{ кН/м.}$$

$$K_{v_5} = 0,6 \cdot [1 + 0,02 \cdot (9,2 - 5)] = 0,67 \text{ кН/м.}$$

$$R_M = K_v V_p.$$

$$R_{M_3} = 0,63 \cdot 3,0 = 1,9 \text{ кН}$$

$$R_{M_4} = 0,65 \cdot 3,0 = 2,0 \text{ кН.}$$

$$R_{M_5} = 0,67 \cdot 3,0 = 2,1 \text{ кН.}$$

$R_{\text{ВВП}}$  – тягове зусилля, яке міг би додатково розвинути трактор, за рахунок потужності, що витрачається на приведення в дію робочих органів косарки через ВВП [24]:

$$R_{\text{ВВП}} = \frac{3,6 \cdot N_{\text{ВВП}} \cdot \eta_M}{V_p \cdot \eta_{\text{ВВП}}}, \quad (6.11)$$

де  $N_{\text{ВВП}}$  – потужність, що витрачається на приведення в дію робочих органів косарки, через ВВП, кВт.  $N_{\text{ВВП}} = 20$  кВт;

$\eta_{\text{ВВП}}$  – ККД ВВП трактора,  $\eta_{\text{ВВП}} = 0,95$ ;

$$R_{\text{ВВП}3} = \frac{3,6 \cdot 20 \cdot 0,9}{6,3 \cdot 0,95} = 10,8 \text{ кН.}$$

$$R_{\text{ВВП}4} = \frac{3,6 \cdot 20 \cdot 0,9}{7,8 \cdot 0,95} = 8,7 \text{ кН.}$$

$$R_{\text{ВВП}5} = \frac{3,6 \cdot 20 \cdot 0,9}{9,2 \cdot 0,95} = 7,4 \text{ кН.}$$

Приведений тяговий опір:

$$R_{\text{ПР}3} = 1,9 \cdot 10,8 = 12,7 \text{ кН,}$$

$$R_{\text{ПР}4} = 2 + 8,7 = 10,7 \text{ кН,}$$

$$R_{\text{ПР}5} = 2,1 + 7,4 = 9,5 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт використання тягового зусилля

$$\eta_{\text{вик}} = \frac{R_{\text{пр}}}{P_{\text{ГАК}}}. \quad (6.12)$$

$$\eta_{\text{вик}3} = \frac{12,7}{16,3} = 0,78,$$

$$\eta_{\text{вик}4} = \frac{10,7}{16,3} = 0,66,$$

$$\eta_{\text{вик}5} = \frac{9,5}{16,3} = 0,58.$$

Отже, косарку агрегувати на всіх передачах, проте ми вибираємо V передачу, оскільки вона є найбільш швидкісною, що дозволяє збільшити продуктивність. Подальші розрахунки проводимо по ній.

Визначимо коефіцієнт використання робочих ходів [23]:

$$\varphi = \frac{L_p}{L_p + L_x}, \quad (6.13)$$

де  $L_p$  – середня довжина гону, м;

$L_x$  – середня питома довжина холостого ходу агрегату, м.

Кінематичну довжину агрегату можна визначити за формулою:

$$l_k = l_{\text{тp}} + l_{\text{м}} , \quad (6.14)$$

де  $l_{\text{тp}}$ ,  $l_{\text{м}}$  – відповідно кінематичні довжини трактора і машини.

$$l_k = 1,2 + 3,5 = 4,7 \text{ м.}$$

Довжина виїзду агрегату

$$l = (0,5 \dots 0,75) \cdot l_k . \quad (6.15)$$

$$l = (0,5 \dots 0,75) \cdot 4,7 = 2,4 \dots 3,5 \text{ м.}$$

Приймаємо  $l = 3,0 \text{ м.}$

Розрахункову ширину поворотної смуги визначимо за формулою:

$$E_p = 3R + l , \quad (6.16)$$

де  $R$  – радіус повороту агрегату,  $R = 6 \text{ м.}$

$$E_p = 3 \cdot 6 + 3 = 21 \text{ м.}$$

Фактичне значення ширини поворотної смуги приймають з умови [23]:

$$E_{\phi} = n \cdot B_p \geq E_p , \quad (6.17)$$

де  $n$  – коефіцієнт кратності ( $n = 1, 2, 3 \dots i$ )

$$E_{\phi} = 8 \cdot 3,0 \cdot 0,94 = 22,6 \text{ м.}$$

Тоді, середня довжина гону становитиме

$$L_p = L - 2 \cdot E = 1000 - 2 \cdot 22,6 = 954,8 \text{ м.}$$

Довжина холостого ходу

$$C_{\text{онт}} = (0,13 \dots 0,20) \cdot L_p = 0,13 \cdot 954,8 \approx 129 \text{ м.} \quad (6.18)$$

Ширина заїмки повинна бути кратною ширині захвату агрегату

$$C_a = n \cdot B_p = 70 \cdot 3 \cdot 0,94 = 197,4 \text{ м.}$$

Тоді, коефіцієнт використання робочих ходів становитиме

$$\varphi = \frac{954,8}{954,8 + 129} = 0,88.$$

Виробіток за годину основного часу розраховують за формулою

$$W_r = 0,1B\beta V_p = 0,1 \cdot 3,0 \cdot 0,94 \cdot 9,2 = 2,6 \text{ га/год.} \quad (6.19)$$

Норма виробітку ( $H_v$ ) на механізовані польові роботи визначаємо за формулою [23]:

$$H_v = \frac{T_{зм} - (T_{пз} + T_{від} + T_{ос.п.} + T_{обс.})}{60 \cdot (1 + r_{пов} + r_{пер} + r_{доп.р})} \cdot W_r, \quad (6.20)$$

де  $T_{зм}$  – тривалість зміни, хв.;

$T_{пз}$  – тривалість підготовчо-заключних робіт, хв.;

$T_{від}$  – тривалість відпочинку, хв.;

$T_{ос.п.}$  – час на особисті потреби, хв.;

$r_{пов}$  - коефіцієнт повороті.

$$r_{пов} = \frac{1 - \varphi}{\varphi}.$$

$$r_{пов} = \frac{1 - 0,88}{0,88} = 0,14.$$

$$H_v = \frac{420 - (49 + 21 + 17)}{60 \cdot (1 + 0,14)} \cdot 2,6 = 18,2 \text{ га/зм.}$$

Величина витрати основного палива [23]

$$Q_{\text{га}} = \frac{(T_0 \cdot Q_0 + T_{\text{пов}} \cdot Q_{\text{пов}} + T_{\text{зуп}} \cdot Q_{\text{зуп}})}{H_{\text{в}}} \quad (6.21)$$

Тоді,

$$Q_{\text{га}} = \frac{(5,36 \cdot 15 + 0,56 \cdot 7 + 0,35 \cdot 1,7)}{18,2} = 4,67 \text{ л/га.}$$

За проведеними розрахунками складаємо операційно-технологічну карту на проведення операції скошування люцерни.

## 7 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 7.1 Загальні питання

Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально–економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувальних заходів і засобів, спрямованих на створення безпечних умов, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Складовими охорони праці є законодавство про працю, виробнича санітарія і безпека застосування різних технічних засобів на виробничих процесах у сільському господарстві, включаючи пожежну безпеку.

Трудове законодавство регламентується законодавчими актами, основними з яких є Конституція України, Кодекс законів про працю, Закон України «Про охорону праці». При організації охорони праці в господарстві слід керуватися «Правилами охорони праці у сільськогосподарському виробництві», затвердженими наказом Міністерства соціальної політики України 29 серпня 2018 року № 1240 (Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 вересня 2018 р. за № 1090/32542) [27].

Для забезпечення безпечності технологічних процесів потрібно добиватися більш повної механізації і автоматизації, використовувати дистанційне керування небезпечних виробничих ділянок,

На технологічних операціях не допускалося використання сільськогосподарської техніки, яка не пройшла обкатки і технічного огляду.

При проведенні робіт небезпечні ділянки робочої зони і відповідні місця знаряддя слід позначати знаками безпеки.

Агрегати, в склад яких входять причіпні машини, які мають робоче місце, повинні мати справну двосторонню сигналізацію. Самохідні машини і агрегати слід забезпечувати медичними аптечками, термосами з питною водою, засобами пожежної безпеки.

## 7.2 Охорона праці при виконанні механізованих робіт

Особливістю умов праці механізатора в сільськогосподарському виробництві являється те, що велику кількість польових робіт вони виконують на значній відстані від центральної садиби і бригадних станів. В таких умовах важко проконтролювати виконання техніки безпеки працівниками, важко надати своєчасну медичну допомогу в разі такої необхідності. В зв'язку з цим підвищується особиста відповідальність механізатора за безпечне проведення робіт, яка повинна базуватися на знанні правил охорони праці і безпечної експлуатації кожного конкретного агрегату на будь-яких сільськогосподарських роботах.

Основні вимоги техніки безпеки при виконанні механізованих робіт:

7.1. Технічний стан трактора і сільськогосподарської машини повинен відповідати вимогам заводських інструкцій і агрегат повинен бути укомплектованим набором справного інструмента і пристосувань у відповідності із заводською інструкцією.

7.2. Трактор має бути обладнаним справним іскрогасником і первинними засобами пожежогасіння.

7.3. Важелі управління машинами повинні мати рукоятки із нетеплопровідного матеріалу.

7.4. На захисних огороженнях, а також біля вузлів, небезпечних для обслуговуючого персоналу (ротори косарки, плющілки, вузли і деталі, які обертаються), повинні бути зроблені написи, які попереджують про небезпеку.

7.5. Частина машини, які рухаються і обертаються (карданні, пасові передачі і т.ін.) повинні бути огорожені захисними кожухами, які забезпечують безпеку обслуговуючого персоналу.

7.6. Захисні кожухи повинні бути пофарбовані в колір, який відрізняється від загального фарбування машини. Внутрішня поверхня таких кожухів повинна бути пофарбована в червоний колір.

7.7. Кабіна трактора повинна відповідати таким вимогам:

1). Переднє, заднє, бокове скло не повинне мати тріщин і затемнень, які погіршують видимість. Встановлення непрозорих матеріалів замість скла забороняється.

2). Бокове скло при наявності склопід'ємних механізмів повинне легко і плавно опускатися, підніматися і фіксуватися в визначеному положенні.

3). Склоочисники повинні легко переміщатися, забезпечуючи повне очищення скла.

4). Замки дверей кабіни повинні бути справними, виключаючи можливість їх самовільного відкривання під час руху.

5). На подушці і спинці сидіння не допускаються провали, виступаючі пружини і гострі кути. При наявності на тракторі регулюємого сидіння воно повинне фіксуватися в визначеному положенні (при ремонті або заміні сидіння і спинок змінювати їх розміри і форми забороняється).

6). Щитки контрольно-вимірювальних приладів повинні бути освітлені.

7). На полу кабіни повинен лежати гумовий килимок.

8). В місці проходження важелів і педалей повинні бути передбачені конструкцією чохли, які запобігають проникненню пилу в кабіну.

7.8. Двигун не повинен мати протікання палива, масла і води, пропуску вихлопних газів в з'єднаннях вихлопного колектора з двигуном і вихлопною трубою. Лопаті вентилятора повинні бути пофарбовані в колір, який відрізняється від кольору пофарбування двигуна.

7.9. Важелі механізмів пускового двигуна повинні легко і надійно переключатися.

7.10. Технічний стан електрообладнання повинен забезпечувати нормальну роботу стартера, приладів освітлення, сигналізації і електричних контрольних приладів, а також виключати можливість виникнення іскри і втрат струму в дротах і клемах. Електропроводка повинна бути захищена від механічних пошкоджень, а поблизу нагрітих частин двигуна і в місцях, де можливе попадання на неї мастил і палива, повинна бути надійно захищена.

7.11. Акумуляторні батареї повинні знаходитись в місцях, які передбачені інструкцією, надійно закріплені, закриті кришкою і не мати протікання електроліта.

7.12. Технічний стан рульового управління трактора повинен забезпечити легке, надійне і безпечне керування. З'єднувальні пальці тяг повинні бути зашплінтовані стандартними, не бувшими в використанні шплінтами.

7.13. У рульового управління колісного трактора не допускається:

- а) ослаблення кріплення рульової колонки;
- б) ослаблення кріплення рульової сошки на її валу;
- в) несправність повздовжньої і поперечної рульових тяг і їх деталей (згин, тріщини, пошкодження різьби, пробок і наконечників, злом або відсутності шплінтів і т. ін.);
- г) люфт рульових тяг вище вказаного заводом-виготовником;
- д) вільний хід рульового колеса більше  $15^{\circ}$ .

7.14. З'єднувальні шланги гідросистеми повинні бути надійними і не допускається протікання масла.

7.15. Агрегат повинен бути забезпечений медичною аптечкою.

7.16. Питний бачок або термос, який є на тракторі, повинен щодня заповнюватися питною водою.

7.17. Перед початком руху агрегата необхідно впевнитися, що попереду немає людей, потім подати попереджувальний звуковий сигнал і зрушити з місця.

7.18. Всі кріпильні роботи, очищення, змащення треба виконувати після зупинки трактора і виключення передачі до ротора, який обертається.

7.19. Забороняється лежати, відпочивати на ділянках, де працюють косарки і сінозбиральні агрегати, перевозити людей і сторонні вантажі на вузлах косарки.

7.20. Під час обслуговування машини вона повинна займати стійке положення. Під колеса трактора встановлюються упори, а під начіплену

косарку ставлять козли або спеціальні підставки, які пройшли попереднє випробовування на вантажопід'ємність.

7.21. Підтягування болтових з'єднань, операції по регулюванню виконують тільки справним інструментом.

### 7.3 Охорона праці при вирощуванні люцерни і заготівлі кормів

Розглянемо деякі заходи з охорони праці при заготівлі кормів. Перед початком робіт механізатори і робітники повинні пройти інструктаж по техніці безпеки і пожежній безпеці.

При транспортуванні різальний апарат косарки повинен бути закритий захисними щитками. Слідкувати, щоб перед пуском і під час роботи нікого не було попереду агрегату.

При встановленні на трактори навантажувального обладнання ширина колії передніх коліс трактора повинна бути не менше 1400 мм, а задніх – 1900 мм.

На тракторах і машинах, які агрегуються з ними, а також на збиральних комбайнах для обслуговуючого персоналу необхідно обладнувати двосторонню сигналізацію (звукову або іншу) і мати медичну аптечку і бачок (термос) для питної води.

Необхідно відводити спеціальні місця для відпочинку, куріння, зберігання і заправки техніки.

Забороняється починати роботу не впевнившись в тому, що всі запобіжні загорожі механізмів і машин правильно встановлені; оглядати, регулювати і усувати неполадки робочих органів машин при русі агрегату, а обладнання і електропристрої – при працюючому двигуні; очищати на робочому або холостому ході від трави ріжучі апарати, рухомі і обертаючі частини машин і механізмів, змащувати ланцюги, підшипники і інші деталі, які труться; застосовувати для переносного освітлення електроживлення з напругою вище 12В; допускати втрату і розливання палива і мастила при заправці і мащенні тракторів і самохідних сільськогосподарських машин.

Всі небезпеки виявлені в процесі вирощування і заготівлі кормів з люцерни були систематизовані і на цій основі розроблено заходи по усуненню цих небезпек.

Рільнича бригада в господарстві є самостійним структурним підрозділом. Очолює бригаду бригадир рільничої бригади. Робочий день у польовий період становить 8 годин, у зимовий - 6 годин. При збирання трав в господарстві використовують косарки, які рухають по загінній схемі руху з правими поворотами. Такий спосіб руху дає можливість дотриматись розділу протипожежних смуг на території поля.

Місця відпочинку відведено в центральній частині прилягаючої лісосмуги. В польовій сівозміні інколи використовують і круговий спосіб руху збиральних агрегатів з відведенням протипожежних смуг та прокосів для диких тварин.

## 8 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Відмінність нової технології від базової полягає в тому, що після скошування бобових трав косаркою КРН-2,1 скошену масу обробляють кондиціонером. В новому варіанті скошування і плющення бобових трав проводиться удосконаленою косаркою. Агрегатується базова косарка і удосконалена косарка-плющилка з трактором класу 1,4 (МТЗ-80/82). Таким чином додаткових операцій і затрат в удосконаленій технології не буде.

Затрати праці можна визначити за формулою:

$$z_n = \frac{m}{W} \quad (8.1)$$

де  $m$  – кількість обслуговуючого персоналу, чол.

$W$  – продуктивність за годину змінного часу, га/год.

Агрегат з базовою косаркою обслуговує один механізатор. Її продуктивність становить 2,2 га/год. Тоді, затрати праці на скошування по базовій технології будуть становити

$$z_{nb} = \frac{1}{2,2} = 0,45 \text{ люд}\cdot\text{год./га.}$$

Продуктивність удосконаленої косарки-плющилки дорівнює 2,6 га/год. Тоді, затрати праці по новій технології становлять:

$$z_{нк} = \frac{1}{2,6} = 0,38 \text{ люд}\cdot\text{год./га.}$$

Зниження затрат праці при впровадженні удосконалення становлять

$$Z_{ПН} = 0,45 - 0,38 = 0,07 \text{ люд.год/га.}$$

Питомі прямі експлуатаційні витрати визначають за формулою:

$$C = C_{оп} + C_{ра} + C_{кто} + C_{пмм}, \quad (8.2)$$

де  $C_o$  – оплата праці з нарахуваннями, грн./га;

$C_{ра}$  – відрахування на реновацію, грн./га;

$C_{кто}$  – витрати на капітальний і поточний ремонти та технічне обслуговування, грн./га;

$C_{пмм}$  – витрати на паливо і мастильні матеріали, грн./га.

Оплата праці механізатору, який працює на агрегаті, нараховується по тарифній сітці за норму виконаної роботи. За 1 га обробленої площі оплата праці становить:

$$C_o^1 = \frac{C_T}{W_{зм}}, \quad (8.3)$$

де  $C_T$  – оплата праці за тарифною сіткою;

$W_{зм}$  – продуктивність агрегату за зміну.

Для механізатора, який працює на базовому агрегаті оплата праці по п'ятому розряду тарифної сітки з врахуванням мінімальної заробітної плати 8000 грн. за місяць становить 348 грн. за зміну [28]. А за 1 га скошеної площі оплата праці буде становити:

$$C_{о.б}^1 = \frac{348}{15,4} = 22,6 \text{ грн./га}$$

Крім того, в господарстві проводиться доплата: 50 % - за складність робіт (становить 11,3 грн./га), 12% - за інтенсивність робіт (становить 2,7 грн./га). І тоді оплата праці з нарахуваннями буде становити:

$$C_{об}^н = 22,6 + 11,3 + 2,7 = 36,6 \text{ грн./га.}$$

На цю суму механізатору нараховується 20 % за класність (становить 7,3 грн./га) і 51 % соціального страхування і ін. (становить 18,7 грн./га). І тоді вся оплата праці з нарахуваннями механізатору, який працює на базовому агрегаті, становить:

$$C_{об} = 36,6 + 7,3 + 18,7 = 62,6 \text{ грн./га.}$$

Для механізатора, який працює на агрегаті з удосконаленою косаркою-плющилкою, оплата праці буде проводитися по п'ятому розряду тарифної сітки і за 1 га скошеної площі вона становить:

$$C_{O.H}^1 = \frac{348}{18,2} = 19,1 \text{ грн./га.}$$

Аналогічно нараховуються всі необхідні доплати: 50 % за складність робіт (9,5 грн./га), 12 % за інтенсивність робіт (2,3 грн./га). І оплата праці з нарахуваннями буде становити:

$$C_{он}^н = 19,1 + 9,5 + 2,3 = 30,9 \text{ грн./га.}$$

На цю суму нараховується 51 % соціального страхування (15,8 грн./га) і 20% за класність (становить 6,2 грн./га) і оплата праці з усіма нарахуваннями для механізатора, який працює на новому агрегаті, буде становити

$$C_{он} = 30,9 + 15,8 + 6,2 = 52,9 \text{ грн./га.}$$

Амортизаційні відрахування визначаються виходячи з річних норм на відрахування від загальної вартості машини за формулою:

$$C_a = \frac{Ц \cdot \alpha}{100 \cdot Д \cdot К \cdot W_{3M}} \quad (8.4)$$

де  $Ц$  – балансова вартість машини, грн.;

$Д$  – кількість днів роботи в рік;

$К$  – коефіцієнт змінності.

За нормативами річна норма відрахувань на амортизацію для роторних косарок становить 15%. Тоді відрахування для базової машини будуть становити:

$$C_{аб} = \frac{80000 \cdot 15}{100 \cdot 30 \cdot 1,8 \cdot 15,4} = 14,4 \text{ грн./га.}$$

Амортизаційні відрахування на удосконалену косарку-плющилку будуть становити:

$$C_{ар} = \frac{84000 \cdot 15}{100 \cdot 30 \cdot 1,8 \cdot 18,2} = 12,8 \text{ грн./га.}$$

Затрати на ремонт і технічне обслуговування агрегату також визначається за нормативами, які становлять 15 % в рік від вартості машини.

Розрахунки проводяться за формулою:

$$C_p = \frac{Ц \cdot \beta}{100 \cdot Д \cdot К \cdot W_{3M}}, \quad (8.5)$$

де  $\beta$  - норма річних відрахувань.

Для базової машини затрати на ремонт і технічне обслуговування машини будуть дорівнювати:

$$C_{p.б} = \frac{80000 \cdot 15}{100 \cdot 30 \cdot 1,8 \cdot 15,2} = 14,4 \text{ грн./га.}$$

Для розробленої сіноворушилки затрати на ремонт і технічне обслуговування будуть дорівнювати:

$$C_{p.n.} = \frac{84000 \cdot 15}{100 \cdot 30 \cdot 1,8 \cdot 18,2} = 12,8 \text{ грн./га.}$$

Питомі витрати на паливо і мастильні матеріали можна визначити за формулою:

$$C_{\text{ПММ}} = Q \cdot \text{Ц}_k, \quad (8.6)$$

де  $Q$  – витрати палива, л/га;

$\text{Ц}_k$  – комплексна ціна палива, грн./л.

Комплексна ціна включає витрати на основне паливо, а також на мастильні матеріали. Норми витрат мастильних матеріалів в % до основного палива для МТА становлять: дизельне мастило – 5 %; автотракторне мастило – 3,7 %; солідол – 0,5 %; трансмісійне мастило – 0,8 %.

Вартість палива і мастил коливаються на ринку і залежать від об'ємів закупок, постачальника і інших факторів. З врахуванням сьогоденних цін приймаємо комплексну ціну ПММ 59,9 грн./л. Тоді, питомі витрати на паливо і мастильні матеріали для базової технології будуть становити

$$C_{\text{ПММ}}^b = 5,27 \cdot 59,9 = 315,7 \text{ грн./га.}$$

Для нової технології витрати на ПММ можна визначити так:

$$C_{\text{ПММ}}^k = 4,67 \cdot 59,9 = 279,7 \text{ грн./га.}$$

Загальні питомі прямі експлуатаційні витрати будуть становити:

- для базової технології

$$C^b = 62,6 + 14,4 + 14,4 + 315,7 = 407,1 \text{ грн./га,}$$

- по новій технології

$$C^m = 52,9 + 12,8 + 12,8 + 279,7 = 358,2 \text{ грн./га.}$$

При цьому кондиціонування трави дозволяє зменшити термін її сушіння при заготівлі сіна, що призведе до зменшення на 5-15 % втрат поживних речовин.

Поживність сінажу із бобових трав становить 0,30-0,40 кормових одиниць. Прийmemo, що поживність одного кілограма сінажу становить 0,35 кормових одиниць. Тоді, запровадження кондиціонування дозволить зменшити втрати поживних речовин, на  $\frac{0,35 \cdot 10}{100} = 0,035$  кормових одиниць, тобто дозволить отримати додаткову продукцію.

Відомо, що одна кормова одиниця за поживністю відповідає одному кілограму вівса. При закупівельній ціні вівса 9650 грн./т, або 9,65 грн./кг, запровадження кондиціонера, дасть змогу одержати грошовий еквівалент  $0,035 \cdot 9,65 = 0,34$  гривень на один кілограм сінажу. При врожайності сіна 95 центнерів з гектара можна одержати додаткову продукцію, яка в грошовому еквіваленті буде становити:

$$D_{\Pi} = 9500 \cdot 0,34 = 3230 \text{ грн./га.}$$

Таким чином, запровадження у виробництво запропонованої косарки-плющилки дасть змогу, за рахунок зменшення втрат при заготівлі сіна, одержати додаткову продукцію, яка оцінюється в сумі 3230 грн./га.

Річний економічний ефект від впровадження кондиціонера можна визначити за формулою:

$$E_p = [(C_b - C_n) + D_{\Pi}] \cdot T_p, \quad (8.7)$$

де  $T_p$  – річний виробіток машини, га.

Таблиця 8.1 - Основні економічні показники

Назва показника	Базовий комплекс машин	Новий комплекс машин	Відхилення + .-
Продуктивність, га/год.	2,2	2,6	0,4
Затрати праці , люд-год./га	0,45	0,38	0,07
Прямі експлуатаційні затрати, грн./га В тому числі:	407,1	358,2	48,9
- оплата праці	62,6	52,9	9,7
- відрахування на реновацію	14,4	12,8	1,6
- затрати на ремонт	14,4	12,8	1,6
- затрати на ПММ	315,7	279,7	36,0
Економічний ефект від одержання додаткової продукції, грн./га	-	3230	
Річний економічний ефект, грн.	-	327890	
Термін окупності проекту, років	-	0,26	

При річному виробітку машини 100 га, річний економічний ефект буде становити

$$E_p = [(407,1 - 358,2) + 3230] 100 = 327890 \text{ грн.}$$

Після проведених розрахунків визначимо термін окупності запропонованої машини за формулою:

$$O = \frac{B_m}{E_p}, \quad (8.8)$$

де  $B_m$  – вартість виготовлення кондиціонера, грн.

$E_p$  – річний економічний ефект, грн.

$$O = \frac{84000}{327890} \approx 0,26 \text{ років.}$$

Всі розраховані дані зводимо в таблицю 8.1.

Результати розрахунків економічної ефективності показують, що запровадження косарки-плющилки у виробництво дасть змогу, за рахунок зменшення втрат поживних речовин при заготівлі сінажу, одержати річний економічний ефект в сумі 327890 грн., а затрати на її виготовлення окупляться протягом першого року експлуатації.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Люцерна дуже цінна кормова культура, яку можна використовувати як в свіжому, так і в консервованому (сіно, сінаж) виді. Для прискорення сушіння трави в полі можуть бути використані різноманітні заходи механічної дії на траву, а саме: плющення, ворущіння, перевертання, спущування, згрібання і ін.

2. При сушінні трави на сіно стебла висихають значно повільніше, ніж листки. Це сповільнює процес заготівлі. Тому, прискоривши віддачу вологи стеблами, можливо значно скоротити тривалість сушіння, а внаслідок цього і втрати поживних речовин. Досягти зазначеного можливо шляхом плющення трави. Цей процес не тільки в 1,5 - 3,0 рази прискорює сушіння всієї рослини, але й наближає швидкість сушіння стебел до швидкості сушіння листків.

3. Запропоновано удосконалення процесу роботи ротаційної косарки КРН-2,1. Плющильний апарат косарки складається з ротора, на якому закріплені біла, виконанні з тонкого металевого дроту або полімерних матеріалів, і направляючого кожуха, який охоплює апарат на деякій відстані. Під час протягування білами скошеної трави по внутрішній поверхні напрямного кожуха відбувається пошкодження кутикулярної плівки, стебла зламуються. Завдяки цьому утворюється пухкий прокіс або валок.

4. Оснащення косарки плющильним апаратом динамічної дії дозволить інтенсифікувати процес сушіння трави в 1,5 - 2 рази, а відтак і зменшити втрати поживних речовин на 20 - 30 %.

5. Результати розрахунків економічної ефективності показують, що обладнання косарки КРН-2,1 плющильним апаратом динамічної дії дозволить за рахунок зменшення втрат поживних речовин при заготівлі сіна одержати річний економічний ефект в сумі 327890 грн./га, термін окупності удосконалення косарки менше одного року.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Збитки сільського господарства від війни перевищили весь аграрний ВВП за 2021 рік. - <https://agravery.com/uk/posts/show/zbitki-silskogo-gospodarstva-vid-vijni-perevisili-ves-agrarnij-vvp-za-2021-rik>.
2. Втрати сільського господарства від війни досягли \$11,2 млрд // <https://agronews.ua/news/vtraty-silskogo-gospodarstva-vid-vijny-dosyagly-112-mlrd/>
3. Заготівля кормів в умовах війни та обмежених ресурсів – рекомендації від НААН. - <https://landlord.ua/news/zahotivlia-kormiv-v-umovakh-viiny-ta-obmezhenykh-resursiv-rekomendatsii-vid-naan/>
4. Приховані деталі заготівлі кормів. - <https://ag-bag.ua/advice/prihovani-detali-zagotivli-kormiv>.
5. Чисельність поголів'я ВРХ стабілізується // <https://avm-ua.org/uk/post/ciselnist-pogoliva-vrh-stabilizuetsa-drugij-misac-pospil>.
6. Ключові новини молочного сектору // <https://avm-ua.org/uk/post/mtf-narostili-pogoliva-koriv-u-veresni-2025-roku>.
7. Приховані деталі заготівлі кормів// <https://ag-bag.ua/advice/prihovani-detali-zagotivli-kormiv>.
8. Гетман Н. Я., Квітко М. Г., Циганський В. І. Люцерна посівна/ Монографія. – Вінниця, ТОВ «Твори». 2021. - 428 с.
9. Мечта М., Бабинець Т. Ефективний спосіб виробництва високоякісних кормів// Техніка АПК. - № 6-7 (червень-липень), 2006 р. – с. 10-13.
10. Карпенко М. Розширення функціональності кормозбиральної техніки// Пропозиція. - №4 (130), 2006. – с.120-122.
11. Карпенко М., Карпенко В. Перспективна технічна політика в галузі механізації заготівлі стеблових кормів в Україні// Пропозиція. - №4, 2005. с. 116 – 118.

12. Філоненко Л., Тихоненко О. Сучасна техніка для заготівлі кормів// Агробізнес сьогодні. - [№10 \(209\) травень 2011](#). - с. 11-15.
13. Осьмак В., Качан І. Сучасна техніка для заготівлі кормів// Пропозиція. - №5, 2010. – с. 119-127.
14. Філоненко Л., Тихоненко О. Сучасна техніка для заготівлі кормів// Пропозиція. - №6, 2011. – с. 107-112.
15. Карпенко М. Розширення функціональності кормозбиральної техніки// Пропозиція. - № 4, 2006. – с. 120-122.
16. Карпенко М., Карпенко В. Перспективна технічна політика в галузі механізації заготівлі стеблових кормів в Україні// Пропозиція. - №4, 2005. – с. 116-118.
17. Технологія кормів та кормових добавок: навчальний посібник / К.М. Сироватко, М.О. Зотько. - Вінниця: ВНАУ, 2020.- 263 с.
18. Вожегова Р. А. Ресурсоощадні технології вирощування люцерни на насіння в південному Степу України / Р. А. Вожегова, Г. В. Сахно, С. П. Голобородько та ін. – Херсон.: Атлант, 2012. – 130 с.
19. Зінченко Б. С. Люцерна і конюшина / Б. С. Зінченко, В. С. Ключ та ін. – К.: Урожай, 1989. – 162 с.
20. Зінченко Б. С. Довідник по виробництву насіння багаторічних трав / Зінченко Б. С. і ін. – К.: Урожай, 1990. – 230 с.
21. Кобець А.С., Іщенко Т.Д., Волик Б.А., Демидов О.А. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009. – 84 с.
22. 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.
23. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві /В.Ю.Ільченко, П.І.Карасьов, А.С.Лімот та ін.; За ред. В.Ю.Ільченка. – К.: Урожай, 1993. – 288 с.

24. Машиновикористання в землеробстві / В.Ю.Ільченко, Ю.П.Нагірний, А.П.Джолос та ін.; За ред. В.Ю.Ільченка і Ю.П.Нагірного. – К.: Урожай, 1996. – 384 с.

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

26. Гряник Г.М., Лехман С.Д., Бутко Д.А. Охорона праці. – К.: Урожай, 1994. – 272 с., іл..

27. 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.

28. Вініченко І.І, Сітковська А.О. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних робіт для студентів факультету механізації сільського господарства// Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2016. – 27 с.