

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Ковальчук Юрій Сергійович

УДК 631.17

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
УДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ
ВИРОЩУВАННЯ ЛЮЦЕРНИ НА СІНО З
МОДЕРНІЗАЦІЄЮ СІНОВОРУШИЛКИ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Ковальчук Ю.С.

Керівник роботи

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Ковальчук Юрій Сергійович. Удосконалення комплексу машин для вирощування люцерни на сіно з модернізацією сіноворушилки. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

У кваліфікаційній роботі розглядається актуальна проблема підвищення ефективності виробничого процесу вирощування люцерни на сіно шляхом удосконалення комплексу машин з акцентом на модернізацію сіноворушилки. Виконано огляд зарубіжного та вітчизняного досвіду вирощування кормових культур. На основі проведених розрахунків розроблено технологічну карту вирощування люцерни на сіно.

В роботі проведено детальний аналіз існуючих конструкцій сіноворушилок, виявлено їх ключові недоліки – нерівномірне розкидання рослинної маси, низька швидкість підсихання та значні втрати поживних речовин. З урахуванням виявлених недоліків сформовано технічні вимоги до модернізованого вузла, зокрема, оптимального кута нахилу дисків і конструкції захватних елементів. Розроблені ескізні креслення та технічне описання модернізації дозволили адаптувати існуючий механізм до умов інтенсивного експлуатаційного навантаження і сезонних змін вологості люцерни.

Практичне впровадження запропонованої модернізації дозволяє аграріям значно зменшити енерговитрати та покращити якість сіножатей, що сприятиме підвищенню рентабельності виробництва.

Ключові слова: сіно, технологія, люцерна, граблі, сіноворушилка, модернізація.

ANNOTATION

Kovalchuk Yurii Sergiiovych. Improvement of the complex of machines for growing alfalfa for hay with modernization of the hay tedder. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work considers the urgent problem of increasing the efficiency of the production process of growing alfalfa for hay by improving the complex of machines with an emphasis on the modernization of the hay tedder. A review of foreign and domestic experience in growing fodder crops has been carried out. Based on the calculations, a technological map for growing alfalfa for hay was developed.

A detailed analysis of the existing designs of hay tedders was carried out, and their key disadvantages were identified - uneven spreading of plant mass, low drying rate and significant losses of nutrients. Taking into account the identified shortcomings, the technical requirements for the modernized unit were formed, in particular, the optimal angle of inclination of the disks and the design of the gripping elements. The developed sketch drawings and technical description of the modernization made it possible to adapt the existing mechanism to the conditions of intensive operational load and seasonal changes in alfalfa moisture content.

The practical implementation of the proposed modernization allows farmers to significantly reduce energy costs and improve the quality of hayfields, which will increase the profitability of production.

Keywords: hay, technology, alfalfa, rake, tedder, modernization.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЛЮЦЕРНИ НА СІНО.....	9
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ.....	30
РОЗДІЛ 3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЇ ВОРУШІННЯ ПІД ЧАС ВИРОЩУВАННЯ ЛЮЦЕРНИ НА СІНО.....	45
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Актуальність теми дослідження полягає в тому, що вирощування люцерни на сіно залишається одним із ключових напрямів розвитку кормової бази тваринництва в Україні та світі. Люцерна є високопродуктивною кормовою культурою, здатною забезпечувати високу врожайність протеїнової біомаси за порівняно невисоких витрат ресурсів. Водночас якість та ефективність заготівлі сіна безпосередньо залежать від технічного забезпечення процесу підсушування рослинної маси. На сучасному етапі значна частина агротехнічних підприємств використовує застарілі моделі сіноворушилок, що призводить до нерівномірного розкриття стебел, подовженого терміну підсихання та збільшених втрат поживних речовин. Це спричиняє зниження якості кінцевого продукту, зростання експлуатаційних витрат та зменшення рентабельності виробництва.

Удосконалення комплексу машин для вирощування люцерни на сіно шляхом модернізації сіноворушилки є своєчасним заходом, адже дозволяє оптимізувати технологічний процес підсушування та підвищити продуктивність роботи агрегату. В умовах змін клімату та нестабільності аграрного ринку необхідно створювати технічні рішення, які забезпечать оперативне реагування на коливання вологості кормової маси та скоротять втрати при збиранні. Пошук та впровадження нових конструктивних рішень, зокрема регульованих кутів нахилу робочих органів і вдосконаленої геометрії дисків, сприятиме більш рівномірному розкиданню рослинної маси й пришвидшенню процесу підсихання. Таким чином, робота спрямована на практичну потребу аграрного сектору підвищити якість люцернового сіна, знизити енергетичні та трудові витрати, а відтак — підвищити економічну ефективність виробництва кормів.

Крім того, модернізація сіноворушилки має соціально-економічне значення для сільськогосподарських підприємств різного масштабу: від малих сімейних ферм до великих агрохолдингів. Впровадження результатів

дослідження дозволить зменшити експлуатаційні витрати на 8–10 %, скоротити трудовитрати на 10–15 % та знизити втрати поживної маси на 10–12 % у порівнянні зі стандартними машинами. Це особливо важливо в умовах підвищення вартості паливно-мастильних матеріалів і зростання вимог до кінцевої якості кормів у тваринництві. Отже, розробка та впровадження вдосконаленого механізму сіноворушилки є актуальним з точки зору забезпечення конкурентоспроможності вітчизняного аграрного виробництва та створення передумов для сталого розвитку галузі кормовиробництва.

Мета кваліфікаційної роботи полягає в розробці та впровадженні вдосконаленого технічного рішення для комплексу машин, призначеного для вирощування люцерни на сіно, зокрема модернізації сіноворушилки, що дозволить підвищити продуктивність процесу підсушування рослинної маси, зменшити втрати поживних речовин та скоротити експлуатаційні витрати.

Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовано **такі завдання:**

- здійснити аналіз науково-методичної та нормативної літератури з питань технології вирощування люцерни на сіно та розробити сучасну технологію вирощування люцерни на сіно;
- проаналізувати сучасний стан машинних комплексів для заготівлі люцерни на сіно, зокрема конструкції наявних сіноворушилок, їх технічні характеристики та експлуатаційні показники;
- виявити основні недоліки та обмеження стандартних моделей сіноворушилок щодо рівномірності розкидання стебел, швидкості підсихання та витрат енергоносіїв;
- сформулювати технічні вимоги до модернізованого механізму сіноворушилки з урахуванням особливостей агрокліматичних умов вирощування люцерни;
- розробити ескізний проект механізму ворущіння для оптимізації процесу підсушування.

Об'єктом дослідження є комплекс машин для вирощування люцерни на сіно, які забезпечують технологічний цикл заготівлі люцерни.

Предметом дослідження є конструктивно-технологічні параметри модернізованої сіноворушилки та їх вплив на рівномірність розкидання рослинної маси, швидкість підсихання люцерни та втрати поживних речовин у процесі заготівлі сіна.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В.Л., **Ковальчук Ю.С.**, Герасимчук Д.В., Федорчук А.О., Шевчук О.А. Вплив мінеральних добрив на врожайність і якість сіна. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія» 11 квітня 2025 року м. Житомир / МОН України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Видавничий центр ЖАТФК України, 2025. С. 103-104.

2. **Ковальчук Ю.С.** Стан механізації кормовиробництва в Україні. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених (Запоріжжя, 03-28 лютого 2025 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 115.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропонована модернізація сіноворушилки дозволяє підвищити продуктивність при заготівлі люцерни на сіно та покращити якість кормової маси. Завдяки модернізації сіноворушилки забезпечується більш рівномірне розкидання рослинної маси, що сприяє швидшому підсиханню й зниженню втрат поживних речовин на 10–12 %. Це, у свою чергу, дозволяє аграрним підприємствам знизити витрати пального на 8–10 %, а також скоротити трудові затрати на 10–15 % за рахунок підвищеної прохідної здатності агрегату. Крім того, зменшення часу сушіння люцерни на 20 % сприяє оперативнішому завершенню операційного циклу, знижуючи ризик псування врожаю через несприятливі погодні умови. Практична реалізація розроблених рекомендацій щодо режимів роботи й технічного обслуговування модернізованого комплексу машин забезпечує їхню надійність

і довговічність у різних агрокліматичних умовах, що підвищує економічну ефективність виробництва сіна на фермах різного масштабу.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 19 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 60 сторінок комп'ютерного тексту, містить 5 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЛЮЦЕРНИ НА СІНО

Люцерна є однією з найцінніших кормових культур, яка вирощується для отримання високоякісного сіна. Високий вміст білка, засвоюваність і стійкість до посухи забезпечують її популярність серед фермерів. Сіно з люцерни відзначається збалансованим складом поживних речовин, необхідним для підтримки продуктивності сільськогосподарських тварин. Сучасна технологія вирощування люцерни на сіно включає низку агротехнічних заходів, спрямованих на максимізацію врожайності та якості корму. Впровадження новітніх методів обробітку ґрунту, систем удобрення та збирання сіна дозволяє значно підвищити ефективність виробництва. Крім того, знання біологічних особливостей люцерни є ключовим етапом при плануванні технологічного процесу. Водночас врахування кліматичних умов і вибір оптимальних строків проведення агротехнічних заходів сприяє запобіганню стресів у рослин. У цьому розділі докладно розглянуто всі етапи вирощування люцерни на сіно – від підготовки ґрунту до зберігання якісного корму. Послідовне виконання агротехнічних операцій дозволяє досягти максимальної продуктивності за мінімальних витрат ресурсів. Завдяки накопиченому досвіду сільгоспвиробники можуть адаптувати загальні рекомендації до специфіки своєї місцевості. Розуміння впливу кожного технологічного елемента на кінцеву якість сіна є підґрунтям раціонального господарювання [1-2].

Люцерна віддає перевагу помірно континентальному клімату з досить розсіяними опадами протягом вегетаційного періоду. Оптимальна середньодобова температура для проростання насіння і розвитку рослин коливається в межах від 15 до 25 градусів Цельсія. Надто висока температура в період випаровування викликає стрес та знижує біологічну активність, що може призвести до погіршення якості сіна. Водночас люцерна здатна витримувати короточасні заморозки, особливо за умови достатнього зимового покриву снігу. Кількість опадів повинна бути не менш ніж 400–500 міліметрів протягом

вегетації, інакше слід організовувати додаткове зрошення. У посушливих регіонах особливого значення набувають методи мульчування та утримання вологи в ґрунті. Відсутність водного дефіциту на початкових етапах формування рослин забезпечує формування потужної кореневої системи. Кліматичні умови безпосередньо впливають на строки сівби та догляду, які варто коригувати залежно від регіону. Надмірні опади протягом періоду цвітіння можуть призвести до підгнивання білих квіток і зниження поживної цінності сіна. Разом з тим помірні дощі після збору врожаю сприяють повторному відростанню наступної гички. Таким чином, адаптація агротехнічних прийомів до кліматичних особливостей є запорукою високої врожайності та якісного сіна [3].



Рис.1.1. Площі вирощування люцерни по областях в 2021 році [6].

Ґрунтові умови є критичними для успішного вирощування люцерни, оскільки її глибока коренева система здатна проникати майже на два метри в ґлиб. Найкращими для вирощування люцерни вважаються легкі і середні суглинисті ґрунти з хорошим повітрообміном і водопроникністю. На важких глинистих ґрунтах можливі проблеми з надмірним зволоженням, що призводить до ураження коріння грибковими патогенами. Піщані ґрунти, хоча і забезпечують швидкий прогрів весною, мають низьку вологоутримувальну

здатність, що потребує організації догляду за вологістю. Кислотність ґрунту в ідеалі повинна бути в межах рН 6,0–7,0, оскільки у більш кислих умовах погіршується поглинання поживних речовин. За необхідності проводять вапнування, щоб підняти рівень рН, що позитивно впливає на активність бульбочкових бактерій. Рівень гумусу відіграє важливу роль у забезпеченні доступності елементів живлення та утриманні вологи. Перед посівом обов'язковим є проведення аналізу ґрунту на вміст макро- та мікроелементів, а також на кислотність. У регіонах з ризиком посухи варто застосувати методи консерваційного обробітку для збереження вологи. Оцінка ерозійних процесів дозволяє запобігти деградації площ з люцерною, особливо на схилах. Таким чином, ґрунтові дослідження є підґрунтям для розробки раціональної технологічної карти вирощування люцерни [3].

Перед закладанням насінників люцерни обов'язковою є підготовка ґрунту, яка включає оранку або глибоке рихлення на глибину 20–25 сантиметрів. При проведенні оранки необхідно враховувати строки відносно попереднього обробітку, щоб забезпечити оптимальну структуру ґрунту. Після оранки ґрунт розпушують зубовими боронами або дисковими плугами для дрібного подрібнення грудок. Важливо домогтися рівного і дрібногрудкуватого посівного ложа, яке сприятиме рівномірному заглибленню насіння. Для кращого контролю за рівнем вологості застосовують коткування поверхні ґрунту котком середнього типу. Рух агрегатів по полю варто виконувати за напрямком, що мінімізує ущільнення ґрунту, особливо в зонах навантаження. У випадку недостатнього рівня органічної речовини рекомендується вносити гній або компост попереднього року, щонайменше 20–30 тонн на гектар. Обробіток ґрунту повинен забезпечувати ліквідацію бур'янів за рахунок підгортання й вигону з насінням. Після підготовчого обробітку бажано залишити ґрунт у спокої протягом 2–3 тижнів для виявлення проростань бур'янів. За необхідності проводять дискування з ухилом для формування борозен, які сприятимуть рівномірному розподілу вологи. Лише за умови якісної попередньої підготовки ґрунту можна розраховувати на сприятливі умови для вирощування люцерни.

Планування удобрення є одним з ключових етапів технології вирощування люцерни, оскільки культура потребує значної кількості елементів живлення. Основні макроелементи, які необхідно враховувати, включають фосфор, калій, кальцій і магній. Азот у вигляді мінеральних добрив вноситься лише при створенні стоянок на малопродуктивних ґрунтах, оскільки бульбочкові бактерії забезпечують біологічне азотне живлення. Добриво з фосфору та калію необхідно внести під основний обробіток ґрунту у дозах, які визначаються результатами агрохімічного аналізу. У разі вапнування рекомендується використовувати доломітове борошно, що одночасно підвищує рівень кальцію і магнію. За високого рівня ерозії можуть застосовувати крокові обприскування, які вносять мікроелементи для підтримки активності коріння. Органічні добрива вносять заздалегідь, щоб вони встигли розкластися і забезпечити доступність поживних речовин під час посіву. У мінімально оброблюваних системах практикують використання сидеральної підкормки перед посівом люцерни, наприклад, посів фацелії чи гірчиці. Правильний баланс макро- та мікроелементів дозволяє рослині сформувати потужну кореневу систему та ефективно асимілювати вологу. Внесення мікродобрив, таких як бор, молібден або цинк, може бути виправданим на дефіцитних ґрунтах. Точне регулювання доз та строків внесення добрив сприяє тривалому підтриманню високої продуктивності насадок люцерни [3].

Вибір насіннєвого матеріалу починається з визначення сорту люцерни, який найкраще адаптований до конкретного регіону вирощування. Сорти поділяють на строкозимостійкі та холодостійкі, що дає змогу рекомендовано закладати насіння у ранніх або пізніх строках. Важливо обирати сертифіковане насіння з підтвердженим живильним потенціалом та енергією проростання не менше ніж 85%. При покупці звертають увагу на показники чистоти насіння, які мають становити понад 98%, щоб зменшити конкуренцію з бур'янами. Високоякісне насіннєве зерно характеризується також однорідним розміром, що сприяє рівномірному заглибленню під час сівби. За рекомендацією селекціонерів окремі сорти мають підвищену резистентність до корневих

хвороб, що важливо для післязбирального використання. На насіннєвих посівах люцерни використовують скловидне насіння першої репродукції для підвищення врожайних показників. При підготовці до посіву насіння обов'язково проходить очищення та калібрування, щоб виключити вміст сторонніх домішок. Попереднє протруєння насіння дозволяє знизити ризик ураження грибковими хворобами на ранніх стадіях розвитку рослин. Рекомендовано використовувати насіння, інокульоване бактеріальними препаратами, що сприяє активному азотозаселенню. Лише при дотриманні вимог до якості насіннєвого матеріалу можна очікувати дружніх сходів і подальшого рівномірного розвитку культур [1-6].

Інокуляція (зарядка) насіння люцерни бульбочковими бактеріями є важливим технологічним заходом, що сприяє активному азотному живленню. Для цього використовують спеціальні бактеріальні препарати, які містять штами *Rhizobium meliloti*, адаптовані до місцевих умов. Перед інокуляцією насіння піддають утепленню до температури близько 20–25 градусів Цельсія, щоб забезпечити виживання бактерій. Надмірна вологість і пряме попадання сонячних променів можуть знизити ефективність інокулянту, тому обробку виконують у затінку. Маса для підготовки насіння готується з додаванням клейового розчину (наприклад, гумісолу), щоб бактерії щільно прилипали до поверхні. Насіння змішують з розчинами, що містять інокулянти, ретельно перемішуючи до рівномірного нанесення живих бактерій. Для захисту бактерій використовують додавання спеціальних стимуляторів росту, які підвищують їх активність після сівби. Після інокуляції оброблене насіння слід відразу сіяти, оскільки тривале зберігання знижує життєздатність бактерій. При дотриманні всіх вимог інокуляція може забезпечувати введення до ґрунту до 200–250 кг азоту за сезон без використання мінеральних азотних добрив. Враховуючи вартість інокулянту, рекомендується планувати його застосування під кожен гектар насінників люцерни. Комплексний підхід до інокуляції насіння сприяє максимальній реалізації потенціалу культури та зменшенню виробничих витрат [2].

Оптимальні строки сівби насіння люцерни залежать від кліматичних умов регіону і становлять у середньому другу половину квітня – першу декаду травня. При сівбі раніше встановленого терміну можуть виникнути ризики підмерзання сходів під час нічних похолодань. Пізні строки сівби призводять до недостатнього розвитку кореневої системи до настання морозів, що знижує зимостійкість культур. Сучасні технології передбачають використання сівалок з точним дозуванням та системами створення загортальної борозни. За допомогою спеціальних сошників забезпечують рівномірне заглиблення насіння на глибину 1–1,5 сантиметра для оптимального контакту з ґрунтом. Під час сівби також важливе дотримання норми висіву, яка зазвичай коливається від 15 до 20 кілограмів чистого насіння на гектар. Використання сівалок з можливістю внесення добрив разом із насінням сприяє стартовому живленню рослин. Можна застосовувати комбіновані агрегати, які одночасно виконують коткування та прикочування ґрунту після висіву насіння. У регіонах з вітряним кліматом практикують проведення сівби в напрямку, перпендикулярному напрямку панування вітрів. При дотриманні всіх рекомендацій сходи з'являються рівномірно протягом 7–10 днів, що сприяє формуванню щільних травостоя. Сівбу проводять при вологості ґрунту верхнього шару, яка становить не менше 60%, щоб забезпечити енергію проростання насіння [4].

Заглиблення насіння люцерни не повинно перевищувати 1,5 сантиметра, оскільки глибше загортання призводить до ослаблення сходів. Поверхневі сходи, отримані при заглибленні менше 1 сантиметра, можуть бути уразливими до пересихання ґрунту. Важливе значення має щільність висіву – оптимальна кількість рослин становить 600–700 сходів на квадратний метр. Просторова схема розміщення рядків зазвичай становить 15–20 сантиметрів, що забезпечує достатню аерацію і внесення добрив. У випадку широкорядного способу розміщення відстань між рядками може збільшуватися до 45 сантиметрів, що полегшує міжрядний обробіток. Контроль за заглибленням і відстанню здійснюється за допомогою регулювання сошників та ширини міжрядь на сівалках. При надлишку загущення люцерна може розвиватися вогкістю, що

збільшує ризик розвитку грибкових захворювань. Надто широкі міжряддя знижують конкурентоспроможність щодо бур'янів та знижують загальну площу листової поверхні. Рекомендовано проводити попереднє калібрування семенепроводів і перевірку точності роботи висівного агрегату перед кожною операцією. Збалансоване поєднання глибини загортання та просторової схеми висіву сприяє формуванню якісного й однорідного посіву люцерни. Дотримання цих технічних параметрів позитивно впливає на наступні етапи технології вирощування та збирання [5].

Знешкодження бур'янів перед сівбою люцерни є важливою умовою для отримання чистого посіву та підвищення врожайності. Після попереднього обробітку ґрунту рекомендується проводити хімічну обробку гербіцидами суцільної дії, такими як гліфосат, за 2–3 тижні до сівби. Це дозволяє ліквідувати вегетаційний запас бур'янів та запобігти повторному проростанню на ранніх стадіях. У разі високого рівня засміченості полевого фону можуть використовувати ґрунтові гербіциди або бакові суміші для комплексного впливу. Механічні заходи, такі як боронування або легке дискування, доповнюють хімічні методи та сприяють руйнуванню бур'янів. Проведене боронування слід повторювати 2–3 рази в інтервалі 5–7 днів до сівби для вириву тонкого вкорінюючого насіння бур'янів. Важливо уникати формування кірки на поверхні ґрунту, що може утруднити появу сходів люцерни. Застосування гербіцидів до сівби повинно враховувати строки очікування, щоб не вплинути на проростання насіння. При плануванні механічних і хімічних заходів слід врахувати вологість ґрунту, оскільки сухий ґрунт знижує ефективність гербіцидів. Крім того, попередня боротьба з бур'янами забезпечує економію ресурсів на наступних етапах догляду за культурою. Комплексне поєднання агротехнічних та хімічних методів дозволяє контролювати бур'яни без зниження якості сіна [1-6].

Планування сівозміни є одним з факторів, що впливають на ефективність вирощування люцерни, особливо для насінневих ліній. Найкращими попередниками для люцерни вважаються зернові культури, такі як пшениця,

ячмінь або кукурудза, які сприяють розпушенню ґрунту. Нестійкі та пухкі ґрунти після збирання цих культур забезпечують благодатне середовище для формування кореневої системи. Попередні бобові культури можуть залишити значний азотний дефіцит, що призведе до недостатнього забезпечення живлення люцерни. Після картоплі чи буряків варто виділити час на відновлення родючості ґрунту через внесення органічних добрив. Дворічна сівозміна з чергуванням з люцерною сприяє запобіганню накопиченню шкідників та хвороб. При плануванні урожаїв слід враховувати, що люцерна формує мультиплікативні залишки поживних речовин, які корисні для наступних культур. У господарствах із інтенсивними технологіями рекомендується використовувати короткі сівозміни з включенням сидеральних культур. Перед посівом люцерни здійснюють глибоке розпушення ґрунту та виділення невеликих міжрядь для рівномірного розподілу вологи. Частота повернення люцерни на те саме поле повинна бути не менше ніж через 4–5 років, щоб уникнути вичерпання специфічних ресурсів ґрунту. Раціональна сівозміна сприяє зниженню витрат на боротьбу з бур'янами та підвищенню біологічної активності ґрунту [6].

Забезпечення достатнього рівня вологості ґрунту у фазі проростання є критично необхідним для формування дружніх сходів люцерни. Оптимальна вологість становить не менш ніж 60% від повного поля можливого вмісту води, що забезпечує енергію проростання насіння. У разі недостатніх опадів застосовують зрошення до появи сходів, виконуючи його дрібними нормами води. При використанні дощування варто дотримуватися інтервалів зволоження 3–4 дні, залежно від температури повітря та структури ґрунту. Краплинне зрошення підходить більше для диференційованого внесення вологи, але його застосування є доречним лише на рівнинних ділянках з відповідною інфраструктурою. Після появи сходів подальше зрошення варто проводити з урахуванням графіка випаровування та прискореного розвитку кореневої системи. Перезволоження в період перших тижнів може викликати розвиток корневих гнилей і загибель молодих рослин. Для економії водних ресурсів

застосовують методи мульчування та покриття ґрунту сидеральними поживними рештками. У регіонах із нерівномірними опадами рекомендується встановлювати датчики вологості ґрунту для моніторингу і прийняття оперативних рішень. Раціональна система зрошення сприяє кращому розвитку кореневої системи та накопиченню вологи для періодів посухи. Контроль вологості в перші місяці після сівби визначає успішність вирощування наступних урожаїв люцерни [6-9].

Після появи сходів необхідно здійснювати контроль за густотою посіву, адже надмірне загущення призводить до конкуренції за світло та поживні речовини. У разі загущення проводять розпушування міжрядь для покращення аерації ґрунту та зниження ризику розвитку фітофторозу. Якщо густота перевищує норму, можливе виконання механічного проріджування, що забезпечить оптимальний простір для росту рослин. Під час догляду важливо стежити за появою бур'янів, які у разі стрімкого росту можуть пригнічувати молоду люцерну. Рекомендується провести легке боронування на глибину до 3 сантиметрів, щоб пошкодити бур'янину, але не зачепити коріння люцерни. Перевірка стану посівів включає спостереження за кольором листя та швидкістю росту, що може свідчити про дефіцит живлення. У разі ознак дефіциту мікроелементів варто провести позакореневе підживлення через обприскування листя. Розпушування ґрунту також сприяє поглибленню кореневих відростків та покращує доступ кисню до коренів. Після досягнення рослинами висоти близько 15–20 сантиметрів слід зменшити частоту міжрядного обробітку, щоб не пошкодити кореневу систему. Догляд за посівами в цей період визначає формування потенціалу майбутніх укосів. Тільки при своєчасному догляді можна досягти рівномірного розвитку насінників люцерни [6-8].

Активна діяльність бульбочкових бактерій розпочинається через кілька тижнів після появи сходів і забезпечує початкове забезпечення азотом. Процес бульбочкоутворення відбувається поступово, починаючи зі стадії формування двох справжніх листків. Стимули до синтезу азотфіксуючих ферментів

посилюються за оптимального режиму вологості та температури. У сухі умови активність бактерій знижується, тому важливо підтримувати помірну вологість у верхньому шарі ґрунту. Розвиток потужної кореневої системи сприяє подальшому проникненню в глибші горизонти та забезпеченню водою. Під час формування бульбочок варто уникати застосування нітратних добрив, які можуть пригнічувати азотфіксацію. У фазі раннього розвитку дозрівання бульбочок безпосередньо впливає рівень доступності фосфору та калію. При достатньому живленні вуглеводами корені формують більше бульбочок, що підвищує загальний внесок біологічного азоту. Удобрення в цей період має бути корекційним і спрямованим на підтримку балансу елементів. Регулярне спостереження за формуванням бульбочок дозволяє оцінити ефективність інокуляції та необхідність додаткових заходів. Сильний стартовий розвиток культури створює передумови для отримання стабільних урожаїв сіна впродовж усього сезону [6].

Перший укос люцерни зазвичай проводять у фазі початку бутонізації, коли рослини мають оптимальний баланс листя та стебла. Час укосу залежить від сорту, умов вирощування та кліматичних факторів, але зазвичай це відбувається через 60–70 днів після появи сходів. У фазі бутонізації концентрація протеїну максимальна, що гарантує високу якість сіна. Затримка укосу навіть на 5–7 днів може призвести до перевищення оптимальної дерев'янистості стебел. Для першого укосу використовують косарки-валкоутворювачі, які залишають рослини у валки для швидкого підсихання. Рекомендується відокремлювати укоси на невеликі ділянки, щоб забезпечити більш рівномірне сушіння. При вологості повітря не вище 60% перші укоси можуть підсохнути до рівня 18–20% вологості за 2–3 дні. Надлишок вологи підвищує ризик розвитку цвілі та зниження якості зібраного сіна. Організація першого укосу визначає успішність утворення вторинної гички для повторних укосів. Для мінімізації втрат листової маси важливо налаштувати висоту зрізу на рівні 8–10 сантиметрів від поверхні ґрунту. Своєчасний та технологічно

правильний перший укос є основою для отримання високих врожаїв сіна протягом року [7].

Оптимальна висота зрізу при укосі люцерни становить 8–10 сантиметрів, що забезпечує залишення достатнього листа та бруньок для швидкого повторного відростання. Занадто низьке зрізання може пошкодити бруньки і кореневу систему, сповільнюючи відростання та знижуючи стійкість до вимерзання. Занадто високий зріз залишає надмірну дерев'янисту частину, яка ускладнює сушіння та заважає формувати щільні валки сіна. Сучасні косарки з регульованою висотою зрізу дозволяють підприємцям адаптуватися до різноманітних умов полів. Культивовані моделі обладнані датчиками та автоматичними контролерами, що підтримують рівень зрізу на заданій висоті. Використання жаток з подвійним валком забезпечує рівномірну укладку сіна та сприяє одночасному сушінню. Високопродуктивні моделі можуть обробляти до 5–6 гектарів за годину, що заощаджує час і ресурси. Рекомендується відключати подавальний механізм у разі надлишкової вологості, щоб уникнути забруднення сіна. Технічний стан ножів та натяг ременів впливає на якість зрізу – затуплені ножі залишають нерівні краї, що збільшує втрати листа. Після закінчення роботи необхідно провести технічне обслуговування обладнання: очистити, змастити та перевірити вузли на знос. Коректна організація техніки під час укосу забезпечує мінімальні механічні пошкодження та збереження поживних властивостей сіна [1-9].

Після першого укосу люцерна починає активно відростати, і контроль за станом гички стає пріоритетним завданням. Період відростання триває залежно від погодних умов та може становити від 20 до 30 днів. Під час відростання важливо підтримувати оптимальний рівень вологості та запобігати надмірному пересиханню. При недостатній вологості можливо проводити додаткове зрошення, особливо в регіонах з дефіцитом опадів. У період формування вторинної гички варто уникати ущільнення ґрунту, тому міжрядний обробіток слід обмежити. При появі бур'янів застосовують селективні гербіциди, що не шкодять люцерні, або ручне видалення в невеликих кількостях. Для підтримки

рівня поживних речовин проводять позакореневе підживлення мікроелементами, які прискорюють ріст нової гічки. При появі ознак дефіциту азоту у вторинному зростанні можна внести невелику норму нітратного добрива. Важливо уникати надмірного внесення азоту, оскільки це може призвести до витягування стебел та зниження стійкості рослин. Контроль розвитку пагонів сприяє отриманню рівномірних і потужних заростків для наступного укосу. Ефективне управління відростанням є запорукою стабільних урожаїв сіна протягом усього сезону [11].

Під час вегетації люцерни потреба у фосфорі та калії залишається високою, тому планують внесення добрив в прикореневу зону. У фазі інтенсивного росту застосовують фосфорно-калійні добрива у дозі 30–40 кілограмів діючої речовини на гектар. Мікроелементи, такі як бор, марганець і цинк, вносять у вигляді водорозчинних комплексних добрив під час першого укосу. Для забезпечення рівномірного розподілу добрив використовують методи прикореневого та позакореневого живлення. Підживлення люцерни у фазі інтенсивного відростання сприяє підвищенню вмісту білка та поліпшенню структури рослин. Важливо дотримуватися інтервалів між внесенням добрив, щоб уникнути опіків кореневої системи та листя. Залежно від стану ґрунту та аналізу листя коригують норми добрив у середині вегетації. При недостатній кількості калію в ґрунті можливе застосування калійно-сірчанних добрив, що одночасно поповнять сірку. Використання органо-мінеральних добрив дозволяє отримати ефект синергізму між швидким і довготривалим живленням рослин. Регулярний моніторинг стану поживного режиму здійснюють через агрохімічні випробування листя на вміст елементів. Своєчасне внесення добрив у фазі активного росту забезпечує стабільну продуктивність та високу якість сіна [1-5].

Люцерна може уражуватися рядом хвороб, таких як фузаріоз кореневої шийки, альтернаріоз та сіра гниль, що здатні значно знизити врожай. Для запобігання захворюванням важливо проводити профілактичні заходи, які включають сівозміну та використання стійких сортів. Хімічні препарати для

обробки проти грибкових хвороб застосовують у вигляді фунгіцидних обприскувань під час перших ознак ураження. При ураженні фітофторозом рекомендовано використовувати фунгіциди з групи триазолів або стробілуринів. Літом висока вологість сприяє активному розповсюдженню хвороб, тому варто уникати надмірного зрошення. Серед шкідників люцерни особливо небезпечні попелиці, листковий свербун і трипси, які здатні ослабити рослини. Для боротьби зі шкідниками застосовують інтегровані методи – біологічні препарати та інсектициди селективної дії. Моніторинг стану посівів полягає у регулярному огляді поля та встановленні порогів шкідливості для прийняття оперативних заходів. Іноді застосовують випуск ентомофагів, таких як хижі клопи та сіркові гриби, які зменшують чисельність шкідників. Важливо дотримуватися строків очікування після обробки, щоб не залишати залишків пестицидів у кінцевому продукті сіна. Раціональна система захисту рослин забезпечує отримання екологічно чистого та високоякісного сіна [9-11].

Після появи сходів люцерни бур'яни можуть почати активно конкурувати за поживні речовини, воду та світло. На ранніх етапах перевагу надають механічним методам – боронуванню легкими боролами для видалення бур'янів. Якщо загущення бур'янами стає значним, рекомендується застосовувати селективні гербіциди для бобових, такі як фунгізоли чи трибенурони. Хімічні обробки проводять у фазі 3–5 листків в люцерні, щоб мінімізувати пошкодження культурних рослин. Після застосування гербіцидів важливо забезпечити достатнє зволоження ґрунту, щоб знизити ризик фітотоксичності. При значній засміченості поля може бути доцільним одночасне поєднання механічного й хімічного методів. Багаторічні бур'яни в межах господарства рекомендують контролювати за допомогою обприскування під час відтворювальної стадії насіння. Надмірна хімізація може привести до зниження активності корневих бульбочкових бактерій, тому обирають мінімально ефективні норми препаратів. Використання проміжних сидеральних культур між укосами сприяє знищенню бур'янів та підтримці структури ґрунту. Спостереження за складом бур'янів полегшує вибір найбільш оптимального

гербіциду та методу його застосування. Комплексна система контролю бур'янів забезпечує мінімальні втрати продуктивності люцерни та якісне сіно [7-8].

Після першого укосу потреба люцерни у вологості суттєво збільшується через активний ріст вторинної гички. Залежно від регіону застосовують краплинне, дощувальне або борознове зрошення для підтримки оптимальних рівнів вологи. У фазі інтенсивного росту необхідно зволожити ґрунт до глибини кореневого шару, щоб забезпечити доступ води. Періодичність зрошення залежить від показників ET₀ (евтранспірації) та кількості опадів у конкретний період. Занадто раннє і надмірне зрошення може спровокувати розмноження шкідників та хвороб, особливо грибкових. Технічні засоби вимірювання вологості ґрунту, такі як датчики або тензодатчики, допомагають визначити реальні потреби рослин. За нестачі вологи в міжукосний період можливий негативний вплив на потенційний рівень врожаю сіна. Рациональна система зрошення дозволяє зберігати ресурси та досягати стабільних показників якості сіна. Після кожного зрошення необхідно проводити обережне боронування поверхні, щоб запобігти утворенню кірки. У маловодних регіонах застосовують агротехнічні прийоми, такі як нульовий обробіток, для збереження вологи. Відповідність між зрошенням і погодними умовами визначає успіх вирощування люцерни у посушливому середовищі [1-9].

Визначення оптимальної фази зрілості рослин є важливим для отримання сіна високої якості та харчової цінності. Найбільш придатною для збирання фазою вважається початок бутонізації, що співпадає з пиком протеїнової накопиченості в листі. Проміжна фаза цвітіння може спричинити надмірну дерев'янистість стебел, що погіршує поїдання сіна тваринами. Для точного визначення фази використовують візуальний огляд та вимірювання відсотка відкритих бутонів. Затримка збору навіть на кілька днів здатна призвести до зниження перетравності корму. У регіонах з нестабільним осінньо-весняним кліматом терміни першого укосу можуть коригуватися залежно від погодних умов. Важливе значення має прогноз погоди при плануванні наступних укосів, щоб уникнути опадів у період сушіння сіна. Час збору наступних укосів

залежить від швидкості відростання, яка визначається температурою та вологістю. Перед збиранням бажано оцінити вологість рослин за допомогою аналізаторів, щоб уникнути надмірного вмісту вологи. Оптимальна вологість для подвійного валку або рикування становить 18–20%, що дозволяє уникнути перегріву і цвілі. Дотримання технологічних строків збору забезпечує високі показники зеленої маси та згодом сіна високої якості [14].

Для збирання люцерни застосовують різноманітні машини: косарки-сенокоси, роторні косарки та косарки-подрібнювачі. Косарки-сенокоси з роторними ножами забезпечують рівний зріз і якісне формування валків. У випадку великих площ використовують самохідні косарки з шириною захвату до 6–8 метрів. Сенокосильні машини часто оснащені притискними котками для рівномірного випрямлення рослин перед зрізом. Після зрізу застосовують валкоутворювачі, які складають зрізані рослини у валок для полегшення подальшого сушіння. При виборі машини слід враховувати тип ґрунту та стан рослин – вологі ділянки можуть ускладнити прохід техніки. Роторні косарки-дискокоси підходять для швидкого збирання, але вони можуть приводити до пошкодження листя через швидкість обертання. Для запобігання зайвим механічним пошкодженням варто налаштовувати швидкість руху агрегату відповідно до густоти насаджень. Забезпечення рівномірного зрізу сприяє одночасному підсиханню у валках і зменшує ризик загнивання. Перед початком роботи техніку перевіряють на справність приводних ременів, ножових механізмів і системи гідравліки. Раціонально організована технологія збирання сіна є запорукою збереження поживних речовин та механічної цілісності корму [9].

Після збиральних операцій сіно повинно пройти процес сушіння, який включає натуральне підсихання у валках. Оптимальні умови для сушіння полягають у сонячній погоді та помірному вітрі, що сприяє вентиляванню валків. Валки бажано розташовувати під таким кутом, щоб вони мали максимальну поверхню для доступу повітря. Періодичне перевертання валків дозволяє рівномірно просушити всі частини зрізаних рослин. Занадто швидке

висихання у жарку суху погоду може призвести до руйнування листя і втрати зеленої маси. Крім того, за оптимальної вологості (30–35%) у середині валка зменшується ризик нагрівання та загнивання. Для контролю вологості застосовують вологоміри, що дають змогу приймати рішення щодо часу транспортування в стіг. Після першого підсихання сіно рекомендується розрівняти валки вручну або за допомогою розвішувачів для дозрівання. За добу або дві валки набувають оптимальної вологості (18–20%), після чого їх можна перевести до стаціонарного сховища. У регіонах із коротким періодом гарної погоди процес сушіння може доповнюватися механізованими віялами. Якісне сушіння сіна сприяє збереженню хімічного складу та енергоємності корму протягом тривалого зберігання [10].

Після досягнення оптимальної вологості сіна проводять рикування, щоб збільшити щільність матеріалу та полегшити пресування. Роторні рикувальники акуратно підбирають сіно, не пошкоджуючи листя, що сприяє збереженню поживних речовин. Важливо встановлювати оптимальну швидкість роботи рикувальника, щоб не створювати занадто щільних або надто пухких валків. Борошноподібні домішки можуть знижувати якість сіна, тому варто уникати контакту стоп люцерни з ґрунтом під час рикування. Пресувальні машини бувають роторними або римерами, що формують прямокутні або круглі тюки. Круглі тюки дозволяють легше зберігати сіно на відкритому повітрі, однак прямокутні дають компактну форму для укладання в стіг. Перед пресуванням слід перевірити рівномірність вологості та виключити наявність сторонніх матеріалів. Оптимальна вологість для пресування становить 15–18%, що дозволяє отримати щільні тюки без ризику розвитку цвілі. При формуванні тюків досягають значення щільності 120–150 кілограмів сіна на кубічний метр. Установлення відповідного тиску пресування запобігає розпаданню тюків під час зберігання й транспортування. Після формування сіно варто якнайшвидше перевезти до місць довготривалого зберігання для мінімізації втрат якості [13].

Зберігання люцернового сіна вимагає дотримання температурних та вологості умов, щоб уникнути псування. Оптимальна температура на складах для зберігання сіна повинна бути в діапазоні від 5 до 15 градусів Цельсія. Вологість повітря не повинна перевищувати 65%, щоб обмежити розвиток цвілі та грибків. Використання вентиляційних систем у приміщеннях сприяє підтриманню постійного мікроклімату. Підтримка сушки до рівня вологості 12–14% дозволяє зберігати сіно протягом 1–2 років. Щоб уникнути ураження шкідниками, склади обробляють інсектицидними препаратами профілактично перед укладанням сіна. Тюки розташовують на дерев'яних піддонах з відстанню між рядами не менш ніж 20 сантиметрів для забезпечення циркуляції повітря. Регулярний моніторинг вологості сіна здійснюють шляхом відбору проб і вимірювання за допомогою вологомірів. Забороняється зберігати сіно на ґрунті або бетону без піддонів, оскільки це підвищує ризик поглинання вологи. При виявленні локального підвищення вологості відразу проводять розбирання тюків та провітрювання, щоб ліквідувати вогнища цвілі. Дотримання правил зберігання забезпечує збереження поживних властивостей та безпечність сіна у вигодовуванні тварин [12].

Щоб зберегти максимальний рівень протеїну та інших поживних речовин у люцерновому сіні, іноді додають консервуючі добавки. Найчастіше використовують молочнокислі бактерії або спеціальні ферментні препарати, що сприяють заквасці сіна. Закваска сіна дозволяє знизити ризик самозігрівання та продовжити термін зберігання. Під час внесення добавок важливо рівномірно розподілити їх по всій масі сіна, що забезпечує однорідність консервування. Покращення показників перетравності досягається за рахунок контролю рН в тюках, який має залишатися у межах 4,0–4,5. Для кращої консервації частину води у сіні можуть замінювати спеціальними осушувачами, що підвищують щільність пресування. Використання мінеральних добавок, таких як фосфорно-калійні сполуки, може покращити мінеральний склад корму. Для зменшення вмісту нітратів у сіні практикують передзбиранський полив, що сприяє розчиненню надлишку нітратів. Інтеграція бактеріальних консервантів з

ферментами забезпечує швидке падіння рН та уповільнює розвиток гнильних процесів. Ретельне застосування добавок значно підвищує якість та безпечність люцернового сіна для тварин. Раціональний підхід до консервації дає змогу зменшити економічні втрати та забезпечити стабільний запас корму [14].

У процесі виробництва сіна з люцерни утворюються побічні продукти, такі як солома, листя та стебла нижнього ярусу. Ці залишки можуть бути використані як грубі корми для великої рогатої худоби або дрібного рогатого скота. Сухі залишки стебел можуть служити як підстилка в тваринницьких приміщеннях, що підвищує їх вологовбирну здатність. Оптимально використовувати побічні матеріали для виготовлення таблетованих кормових добавок, що підвищують загальну поживність раціону. Використання залишків у виробництві органічних добрив сприяє замкненню циклу поживних речовин у господарстві. Механічне подрібнення стебел дозволяє отримати кормову фракцію з меншим вмістом клітковини та покращеною перетравністю. Частина матеріалу можна використовувати для отримання біогазу в спеціалізованих установках, що підвищує енергоефективність господарства. Лузгу, отриману з опалого листя, застосовують для компостування та покращення структури ґрунту. Виробництво мульчі з подрібнених залишків сприяє захисту ґрунту від ерозії та втрати вологи. Іноді залишки використовують як сировину для виробництва паперу грубого помелу. Раціональне використання побічних продуктів дозволяє підвищити економічну ефективність і екологічну стійкість виробництва [13].

Вирощування люцерни на сіно може бути дуже прибутковим за умови застосування сучасних агротехнологій і оптимального використання ресурсів. Основні витрати пов'язані з підготовкою ґрунту, купівлею насіння та інокулянтів, а також із придбанням добрив і засобів захисту рослин. Високопродуктивні технології, такі як точне внесення добрив і автоматизовані системи зрошення, дозволяють знизити змінні витрати. Капітальні вкладення в зрошувальні системи виправдовуються за умов нестійкого зволоження або посушливої погоди. Використання сучасної техніки підвищує продуктивність

праці та знижує залежність від ручної праці. Окупність витрат на закладання насіння люцерни може настати вже через перший рік за високої врожайності сіна. При розрахунку економічної ефективності до уваги беруться прямі витрати на гектар та потенційний обсяг реалізації сіна. Формування круглих або квадратних тюків може впливати на логістику та витрати на транспортування. Продаж якісного люцернового сіна відкриває можливості збуту на висококонкурентних ринках, оскільки попит на білкові корми залишається стабільним. Ключовими показниками ефективності є валовий збір сіна, витрати на одиницю продукції та рівень внутрішньої рентабельності. Рациональне використання землі та технологічних прийомів дозволяє отримати сталий прибуток та забезпечити ресурсну базу для розвитку тваринницької галузі [12-14].

Люцерна позитивно впливає на екологічний стан агроecosистем завдяки здатності до азотної фіксації та накопичення органічної маси. Використання бульбочкових бактерій зменшує потребу в азотних добривах, що знижує ризик забруднення ґрунтових і поверхневих вод. Коренева система люцерни сприяє покращенню структури ґрунту та зменшенню ерозії, особливо на схилах. Висока біомаса листя та стебел підвищує вміст органічних речовин у ґрунті при збереженні решток. Під люцерновими насадженнями зростає біорізноманіття корисних комах, що забезпечують біологічний контроль шкідників. Зменшення застосування пестицидів та інтенсивних агрохімікатів сприяє збереженню якості довкілля. Люцернові ротації можуть включатися в стратегії стійкого землеробства разом з органічними та мінімально-відверненими технологіями. Оптимізація водокористування через ефективні зрошувальні системи знижує навантаження на водоносні горизонти. Вирощування люцерни на сіно сприяє зменшенню викидів парникових газів, оскільки частина вуглецю накопичується у ґрунті. Впровадження екологічних методів обробітку ґрунту, таких як мінімальний обробіток або нульове угортання, підвищує стійкість агроecosистем. Сучасні екологістійкі технології вирощування люцерни поєднують високу продуктивність з турботою про довкілля

Сучасні тенденції в технології вирощування люцерни включають інтеграцію GPS-навігації та систем точного землеробства. Використання дронів для моніторингу стану посівів дозволяє оперативно виявляти проблеми з вологою, шкідниками та хворобами. Автоматичні системи внесення добрив за зонами забезпечують економію ресурсів і рівномірне живлення рослин. Нові моделі косарок та пресувальних машин оснащені телематичними системами, що дозволяють контролювати продуктивність у реальному часі. Роботизовані платформи для міжрядного обробітку здатні виконувати сівбу, обрізку бур'янів та внесення добрив без участі людини. Біотехнології спрямовані на створення нових сортів із підвищеною стійкістю до посухи та хвороб. Геномні дослідження люцерни дозволяють швидше адаптувати рослини до місцевих умов та змін клімату. Використання біополімерних мульчуючих матеріалів сприяє збереженню вологи та стримуванню росту бур'янів. Інтелектуальні системи управління зрошенням аналізують метеодані та рекомендації для оптимального розподілу водних ресурсів. Впровадження безпілотних тракторів поступово змінює довгострокові перспективи механізації люцернових насадок. Інноваційні технології дозволяють підвищити продуктивність, зменшити витрати та зберегти екологічну рівновагу [15].

Технології вирощування люцерни на сіно ґрунтуються на чіткому дотриманні агротехнічних вимог, починаючи від підготовки ґрунту і закінчуючи зберіганням готового корму. Ключовою умовою є вибір якісного насіння, оптимальних строків сівби та забезпечення поживного режиму через збалансоване удобрення. Інокуляція насіння бульбочковими бактеріями сприяє економії на азотних добривах та підвищенню врожайності. Ефективна система зрошення, коректне проведення укосів та сушіння роблять можливим отримання сіна з високими поживними властивостями. Моніторинг стану посівів за допомогою сучасних технологій дозволяє вчасно реагувати на загрози у вигляді бур'янів, шкідників та хвороб. Важливе місце займає екологічна стійкість – впровадження технологій, які мінімізують негативний вплив на довкілля. Рациональне використання побічних продуктів підвищує

економічну ефективність господарювання та зменшує відходи. Інновації в галузі механізації та біотехнологій сприяють підвищенню продуктивності та зниженню витрат праці. Використання інтегрованих підходів у системі захисту та живлення дозволяє отримати стабільні урожаї сіна протягом декількох років. Рекомендовано адаптувати загальні технологічні карти до конкретних умов господарства для забезпечення максимальної доцільності використання ресурсів. При впровадженні сучасних технологій вирощування люцерни на сіно слід враховувати економічні, екологічні та соціальні фактори для досягнення сталого розвитку агровиробництва [16].

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Обґрунтування необхідності вдосконалення конструкції чинної машини для виконання операції ворущіння сіна (з аналізом існуючих технічних рішень для цієї операції).

В ідеалі тваринам слід згодовувати корми в їхньому свіжому стані, оскільки це забезпечує максимальну поживну цінність. Однак зелена маса доступна безпосередньо лише в літній сезон, а частково — у весняно-осінні місяці. Для того, щоб підтримувати забезпеченість худоби поживними кормами в зимовий період, необхідно здійснювати їхнє консервування заздалегідь.

Консервування кормів полягає в спеціальній обробці рослинної сировини таким чином, щоб вона зберігалася довгий час без суттєвої втрати поживних властивостей. Існує кілька основних способів досягнення цього: висушування (повне або часткове видалення вологи), заквашування (силосування) та застосування хімічних засобів консервації. Кожен із цих методів має свої переваги та обмеження в залежності від кліматичних умов, наявної техніки та економічної доцільності.

Сушка трави для виготовлення сіна залишається найпоширенішим методом її консервування. Раніше основу заготовлення сіна становила суха обробка трави прямо на полі, що повністю залежало від погодних умов. Останнім часом при заготівлі сіна все частіше застосовують хімічні консерванти, а також досушують траву шляхом примусового вентилявання підігрітим повітрям та використовують накопичену сонячну енергію. Завдяки таким технологічним підходам можна отримати сіно високої якості з мінімальними втратами поживних речовин.

Водночас традиційна польова сушка трави продовжує практикуватися, хоча цей спосіб характерний значними втратами кормової маси, які іноді досягають 40–50 %.

Щоб уникнути таких втрат, необхідно чітко уявляти собі, скільки поживних речовин може бути втрачено під час різних етапів заготовлення сіна. Зниження поживної цінності при застосуванні тих чи інших технологій виникає через несвоєчасний збір трав, а також через біохімічні процеси ферментативного окиснення (голо́дний обмін у рослинних клітинах і автоліз). Крім того, мають місце механічні втрати під час технологічних операцій, вимивання частин корму під час дощових опадів та втрати, спричинені мікробіологічними процесами.

Під час сушіння трави на полі на її поверхню потрапляє велика кількість мікроорганізмів із ґрунту та повітря. Коли клітини трав'яних рослин відмирають і зберігається достатній рівень вологості, ці мікробні організми починають активно розвиватися, споживаючи поживні речовини сіна. Особливо інтенсивно розвиваються плісєневі гриби після того, як сіно кілька разів намокло від роси чи дощу. В такому разі після додаткового досушування сіно часто сиплеться пилом, яке, по суті, є спорами мікроорганізмів.

Через вимивання компонентів сіна і діяльність мікроорганізмів втрачається 20–30 % сухої речовини та до 55 % протеїну. За умов сприятливої погоди ці показники значно нижчі і становлять приблизно 12–14 %.

У сучасних умовах дедалі більшу увагу приділяють хімічному консервуванню сіна. Воно зменшує залежність процесу заготовлення від погодних чинників і дозволяє зберігати сіно з підвищеним вмістом вологи. Для таких цілей застосовують різні хімічні консерванти, передусім органічні кислоти та їхні солі.

Додавши консерванти в сіно з підвищеною вологістю, припиняють розвиток мікроорганізмів, що запобігає самозігріванню корму й зменшує втрати поживних речовин під час зберігання. Рекомендовані дози пропіонової кислоти залежать від вмісту вологи: при 20–25 % потрібно використовувати 1 % речовини від маси сухої речовини, при 26–30 % – 1,5 %, а при 31–35 % – 2 %. Крім того, застосовують суміші пропіонової та оцтової кислот у співвідношенні 4:1, суміш пропіонової кислоти з формальдегідом чи концентрат

низькомолекулярних жирних кислот (КНМК). Всі ці препарати зменшують активність мікроорганізмів і сприяють збереженню якості сіна довше.

Низька ефективність консервування вологого сіна у великих рулонах за застосування тих самих доз консервантів, що рекомендовані для розсипного сіна, пояснюється тим, що реагент розподіляється нерівномірно: окремі ділянки залишаються необробленими, через що в рулонах з'являються осередки прогрівання та цвілі. Тому для сіна з вологістю понад 25 % у вигляді великих рулонів слід використовувати препарати у 2–3 рази більшій концентрації, ніж для розсипного.

Хімічне консервування зелених кормів передбачає силосування з введенням спеціальних речовин, які гальмують розвиток гнильних та маслянокислих бактерій. Це дає змогу отримати силос високої якості, зменшуючи втрати поживних речовин, одночасно зберігаючи частину вмісту цукрів у кормі.

Біологічне консервування полягає в контролі бродильних процесів шляхом додавання до силосної маси різних біодобавок, що не лише пригнічують шкідливу мікрофлору, а й збільшують рівень цінних поживних речовин у кінцевому продукті.

За ступенем збереження поживної цінності матеріалу метод хімічного консервування поступається тільки штучному сушінню трав. При цьому втрати сухої речовини складають приблизно: штучне сушіння – 5–7 %, хімічне консервування – 10–13 %, а класичне силосування – 25–30 %.

До переваг хімічного консервування належить можливість оперативно заготувати великі обсяги високобілкових кормів з мінімальними втратами корисних компонентів навіть за несприятливих погодних умов.

Речовини, що застосовуються для хімічного консервування кормів, умовно поділяють на три категорії: мінеральні кислоти, органічні кислоти та антибактеріальні сполуки (солі й гази). Представники першої групи — соляна, сірчана та фосфорна кислоти — знижують рН силосної маси до рівня 3,8–4,2, створюючи середовище, яке пригнічує розвиток гнильної, маслянокислої та

іншої небажаної мікрофлори. Водночас молочнокислі бактерії не активізуються. Однак у сучасній практиці кормовиробництва консервування мінеральними кислотами майже не застосовують, оскільки такі корми, згодні тваринам, часто призводять до патологій (наприклад, ацидозу, гіпомагnezії) і порушень обмінних процесів.

Серед усіх консервантів найпоширенішими сьогодні є органічні кислоти — мурашина, пропіонова, оцтова, бензойна — та їхні суміші. Ці речовини та продукти їхнього розпаду, що залишаються в готовому кормі, безпечні для здоров'я тварин, не впливають на їхню репродуктивну функцію й не знижують якість продукції, отриманої від цих тварин. За хімічною природою пропіонова, мурашина й оцтова кислоти належать до летких жирних кислот: вони природно містяться в силосі, сінажі та інших ферментованих кормах, а також синтезуються мікроорганізмами у передшлунках жуйних як звичайні проміжні продукти обміну речовин.

Хімічні консерванти мають суворо відповідати вимогам державних нормативів, і забороняється застосовувати препарати, які цих вимог не виконують. Мурашина кислота ефективно пригнічує розвиток гнильних і маслянокислих бактерій, стримує розмноження дріжджів та молочнокислих мікроорганізмів. Вона формує в зеленій масі таку концентрацію іонів водню, що не дає змоги небажаній мікрофлорі розвиватися. Залежно від виду рослинної сировини та її вологості мурашина кислота дозволяє зберегти 88–92 % поживних речовин і до 30 % цукру. Це один із найдієвіших засобів консервації: корм, оброблений мурашиною кислотою, добре споживають тварини. Проте пари мурашиної кислоти подразнюють слизову дихальних шляхів та очей, а контакт крапель кислоти зі шкірою може спричинити опіки. Гранично допустима концентрація її парів у повітрі — 1 мг/м³.

Оцтова кислота дуже дратує дихальні шляхи й очі, а максимально допустима концентрація її парів у повітрі становить 5 мг/м³. Пропіонова кислота теж викликає подразнення слизових оболонок, а при контакті

концентрованої рідини — опіки шкіри; її гранично допустима концентрація в повітрі – 20 мг/м³.

Концентрат низькомолекулярних жирних кислот (КНМК) отримують як побічний продукт у процесі синтезу штучних жирних кислот. До складу КНМК входять приблизно 27–29 % мурашиної кислоти, 30–35 % оцтової та 5–8 % пропіонової кислоти. Цей консервант пригнічує розвиток молочнокислих, гнильних і маслянокислих бактерій, дріжджів і плісені. За застосування КНМК або мурашиної кислоти в силосі зберігається до 30 % початкового вмісту цукру в зеленому кормі, а накопичення молочної кислоти в консервах менше, ніж при звичайному силосуванні. КНМК використовують для консервування багаторічних трав і кукурудзи.

Бензойна кислота активно пригнічує діяльність гнильних і маслянокислих бактерій, гальмує розмноження дріжджів і не чинить впливу на молочнокислі бактерії. Під її дією формується пил, здатний дратувати слизові оболонки верхніх дихальних шляхів та очі.

Фінська компанія «Фармос» випускає консерванти «Віхер-Розчин» (також відомий як «Віхер-Лівос») і «Віхер-Кислота» («ВіхСР-Ханно»), що є сумішами органічних і мінеральних кислот із додаванням формаліну та стабілізуючого розчину. «Віхер-Розчин» застосовують для обробки пров'яленої трави у нормі 3–3,5 л на тонну, а «Віхер-Кислоту» — для свіжоскошеної зеленої маси у кількості 5–6 л на тонну. Ці препарати також використовують для консервації підвищено вологих (80 %) качанів кукурудзи, зібраних під час дощів або з післяжнивних ділянок, в нормі 3,5–4 л на тонну.

Окрім кислот, у консервуванні кормів застосовують і солі, й гази з антимікробною дією. Особливе поширення отримали солі лужних металів, що містять сірку, такі як бісульфат натрію (NaHSO_4) і метабісульфіт натрію ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Ці сполуки володіють бактерицидними, бактеріостатичними й фунгіцидними властивостями завдяки вмісту сірчистого ангідриду, який сильно консервантує кормову масу.

Для знищення плісневих грибів у силосі також застосовують чистий сірчистий газ (SO_2). У дозах від 0,2 до 0,5 % від маси зеленої сировини він дозволяє отримати силос високої якості.

Вуглекислий газ (CO_2) при силосуванні використовують для витіснення повітря із маси корму, створюючи анаеробні умови. Крім того, частково розчиняючись у рослинному соку, він підкислює середовище, сприяючи розвитку молочнокислих бактерій. Зазвичай його вводять у кількості від 0,5 до 1,5 % від маси корму.

Для консервування харчових продуктів найчастіше використовують бензонат натрію ($\text{K}_2\text{H}_5\text{COONa}$). Додавання 2–4 кг бензонату натрію на тонну силосної маси забезпечує одержання високоякісного силосу з різноманітних кормових культур. Для рослин, які складніше піддаються силосуванню, норма становить 4 кг/т, тоді як для легко силосованих — 1,5–2 кг/т.

Дієвість консервантів визначається правильною дозою, однорідністю їхнього розподілу в сировині, вологістю маси та точним дотриманням технологічних операцій під час силосування. Хімічні препарати вносять у зелений корм за допомогою причіпних обприскувачів під час завантаження сховища або за допомогою спеціального обладнання прямо в полі під час скошування й подрібнення.

Леткі жирні кислоти доцільно використовувати у вигляді композицій, які підсилюють консервуючу дію кожного компонента. Такі суміші готують безпосередньо перед обробкою корму. Зокрема, препарати «ВІК-1» і «ВІК-2» вносять у дозі 5 л/т силосної маси.

Перед застосуванням рідкі органічні кислоти розводять водою у співвідношенні 1:2 або 1:3; у спекотну погоду концентрацію коригують до 1:4 або 1:5.

Рідкі та порошкоподібні консерванти можуть вноситися або під час скошування трави, або безпосередньо при закладці корму в сховище з використанням спеціального обладнання. У якості біопрепаратів для

силосування використовують концентровані культури молочнокислих бактерій у сухому або рідкому вигляді (закваски).

Сухі бактеріальні закваски, наприклад препарат «Літосил», зберігаються до дев'яти місяців. За дві–три години до початку процесу силосування 2,5–3 г порошкоподібної закваски розчиняють у невеликій кількості теплої води на кожен тону силосної маси. Потім отриману суспензію доводять водою до об'єму, розрахованого як 5 л робочого розчину на 1 т зеленої маси.

За кордоном випускають і інші біопрепарати під різними торговими найменуваннями. Їхня дія полягає в стимуляції процесу молочнокислого бродіння й одночасному пригніченні небажаної мікрофлори в силосній масі.

Щоб отримати високоякісний силос із матеріалу, який складно або взагалі не піддається класичному силосуванню, а також підвищити його засвоюваність, у силосну масу додають ферментні препарати (глюкаваморін, пектоваморін, амілоризин, пектонігрин, глюкоризин, цитрорезилін, цитопектонігрин, прототерризин), які розщеплюють білки та полісахариди до амінокислот і простих цукрів. Особливо ефективним є новий ферментний препарат «Целотерин»: при застосуванні 60 000 умовних одиниць його активності на 1 т зеленої маси люцерни з вологістю до 75 % досягається потужний консервуючий ефект.

Якщо ж сировина для силосу містить мало цукрів і має високу буферність, до неї додають цукровмісні компоненти (мелясу, цукор, подрібнені буряки, зерно злакових культур тощо). Це сприяє інтенсифікації розвитку молочнокислих бактерій і значно покращує якість та поживну цінність готового корму. Норма внесення таких добавок визначається залежно від виду основного корму та його хімічного складу.

Для покращення смакових властивостей у силос іноді вводять кухонну сіль у кількості 1–1,5 кг на 1 т силосу, виходячи з норми його згодовування тваринам. Крім того, як джерело сірки застосовують глауберову сіль (Na_2SO_4) у дозі 1–2 кг на 1 т маси, яка також має консервуючі властивості. Використання

всіх цих хімічних препаратів при заготівлі силосу дає змогу значно зберегти поживні речовини, зокрема вуглеводи, білок і каротин.

Щоб об'єктивно оцінити ефективність хімічного консервування під час силосування, зазвичай використовують кормові одиниці, які визначають при лабораторному аналізі кормів. Кормові одиниці легко перерахувати у вартісні показники, адже їхня ціна залежить від конкретних виробничо-кліматичних умов господарства. Витрати на хімічні консерванти, що включають і ціну самих реагентів, часто перевищують економічний ефект від додатково отриманих кормових одиниць. Причина цього полягає в тому, що вміст кормових одиниць у силосі зазвичай розраховують на 1 кг готового корму (або його сухої речовини) без урахування втрат сухої речовини під час самого процесу консервування чи при транспортуванні від поля до годівниці. Щоб уникнути хибних висновків і дійсно визначити, наскільки виправданим є застосування хімічних консервантів, слід враховувати кількість сухої речовини, яка втрачається у процесі консервації.

Проаналізувавши наведені дані, бачимо, що нинішня практика обробки сіна консервантами є досить громіздкою та трудомісткою через необхідність застосування спеціалізованого складного обладнання. У цій курсовій роботі ставлю за мету зробити цей процес менш витратним і спростити його технологію. Для цього потрібно максимально зменшити використання механічних і трудових ресурсів. Досягти цього можна, обробляючи скошену траву консервантами безпосередньо під час її ворущіння у полі. Зокрема, пропоную модернізувати ворущилку ВЦН-Ф-3 таким чином, щоб у момент перевертання люцерни пристрій одночасно ~~ще~~ обробляв її рідкими хімічними або біологічними консервантами. Це дозволить покращити збереження трави у відкритому полі та суттєво знизити витрати праці й коштів на консервацію.

3.2. Опис модернізованої машини

Мета вдосконалення сіноворушки полягає в розширенні її технологічних можливостей та підвищенні якості отримуваного корму за рахунок одночасного внесення хімічних засобів під час обертання робочих органів. У базовій конструкції машина має ротор (позначений цифрою 2), на обичайці якого через шарніри закріплені поворотні кронштейни (6) із прикріпленими до них робочими органами. У запропонованій модифікації ротор додатково оснащений резервуаром для хімічних препаратів. Пружинні зуби робочих органів виконано порожнистими, а їхні конічні кінці мають отвори й з'єднані гнучкими трубками з цим резервуаром.

Для точного дозування рідини та зменшення забруднення навколишнього середовища кожен робочий орган обладнано запірно-регулювальним механізмом у вигляді пружинного клапана, що взаємодіє з упорним елементом додаткового шарніра кронштейна. Сам резервуар для хімічних розчинів виконано у формі усіченого конуса й розміщено на ободі ротора так, щоб його вісь співпадала з віссю обертання машини, що сприяє рівномірному переміщенню рідини до кожного робочого органа.

Важливим чинником, що визначає втрати поживних речовин під час заготівлі сіна, є тривалість перебування свіжоскошеної рослинної маси на полі під час її підсихання до необхідної вологості. Прискорити процес підсихання допомагає систематичне ворущіння прокосів і обертання валів. Проте кожне додаткове ворущіння супроводжується відламуванням листя з кошиків і суцвіть — найцінніших у поживному плані частин рослин, що призводить до зниження врожайності.

Суттєвий недолік моделі ВЦН-ФЗ полягає в її неможливості одночасно обробляти скошену траву та додавати до неї хімічні засоби, які прискорюють сушіння, що обмежує функціональні можливості пристрою.

Завданням запропонованого доопрацювання є підвищення якості отримуваного корму за рахунок введення хімічних препаратів під час

ворушіння. Це дозволяє скоротити час сушіння трави та зменшити втрати урожаю.

Для реалізації цієї ідеї класична конструкція сіноворушки, що включає ротор із шарнірно закріпленими на його ободі поворотними кронштейнами й пружинними зубами, доповнена резервуаром для рідких хімічних засобів. Самі пружинні зуби виконані порожнистими й мають перфоровані кінці. Кожна пара зубів під'єднана гнучким трубопроводом до резервуара й обладнана клапаном із регулюванням потоку, що спирається на упор, розташований на кронштейні.

Конструкція сіноворушки містить раму 1 (рис. 3.1), на якій встановлено принаймні один ротор 2, що обертається навколо вісі 3. Нижній кінець цієї осі спирається на колесо 4, а верхній жорстко прикріплений до рами. Активна обертаюча частина ротора виконана у вигляді колісної системи: ступиця 5, до якої приварено трубчасті хрестовини 6, а до них, у свою чергу, приєднано обід 7.

На внутрішній стороні кожної хрестовини 6 розміщено резервуар 8 у формі усіченого пустотілого конуса, який містить рідкий хімічний препарат 9. Через запірно-регулювальний пристрій 10 (рис. 3.2) цей резервуар з'єднано за допомогою гнучких трубопроводів 11 та 12 з каналами 13 пружинних зубів 14. Пружинні зуби виконані із сталльної товстостінної труби малого діаметра, центральна частина якої загнута в обидва боки, а її вільні кінці спрямовані назовні. На зовнішній поверхні цих кінців розташовані перфоровані отвори 15 для рівномірного розпилення препарату в оброблювану масу.

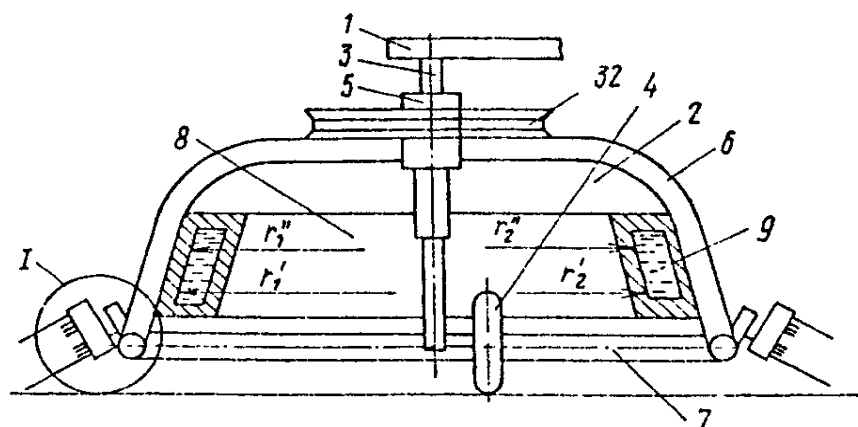


Рис. 3.1. Ротор сіноворушки

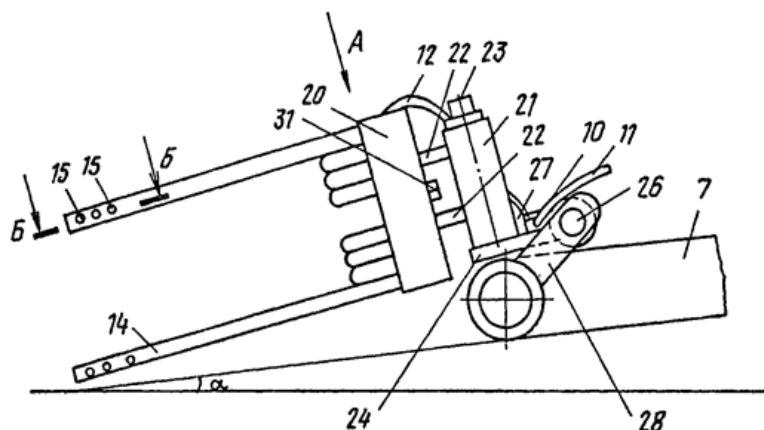


Рис. 3.2. Вузол який модернізується.

На рис. 3.2 показано вузол пружинних пальців. Регулювальний клапанний механізм (позначений цифрою 10) складається з корпусу 16, всередині якого розміщені пружини 17, сам клапан 18 та його сідло 19. За допомогою штуцерів до корпусу 16 під'єднані трубопроводи 11 і 12.

Рисунок 3.2. Вузол пружинних пальців.

Запірно-регулюючий пристрій 10 представляє собою корпус 16, в якому розташовані пружини 17, клапан 18 і сідло клапана 19. До корпусу 16 за допомогою штуцерів прикріплені трубопроводи 11 і 12.

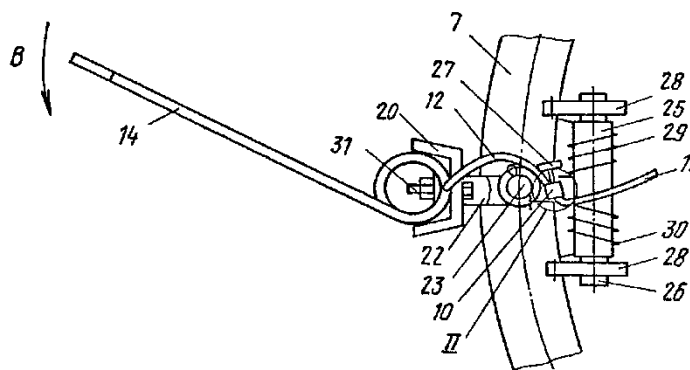


Рис. 3.3. Вузол пружинних пальців.

На рис. 3.3 представлений вигляд зверху на вузол пружинних пальців. Пружинні зуби 14 закріплені на ободі 7 за допомогою кронштейна, що складається зі тримача 20 та втулки 21, об'єднаних пластинами 22. На втулці 25 приварено основу 24, до якої прикріплено палець 23, а поруч змонтовано палець 26.

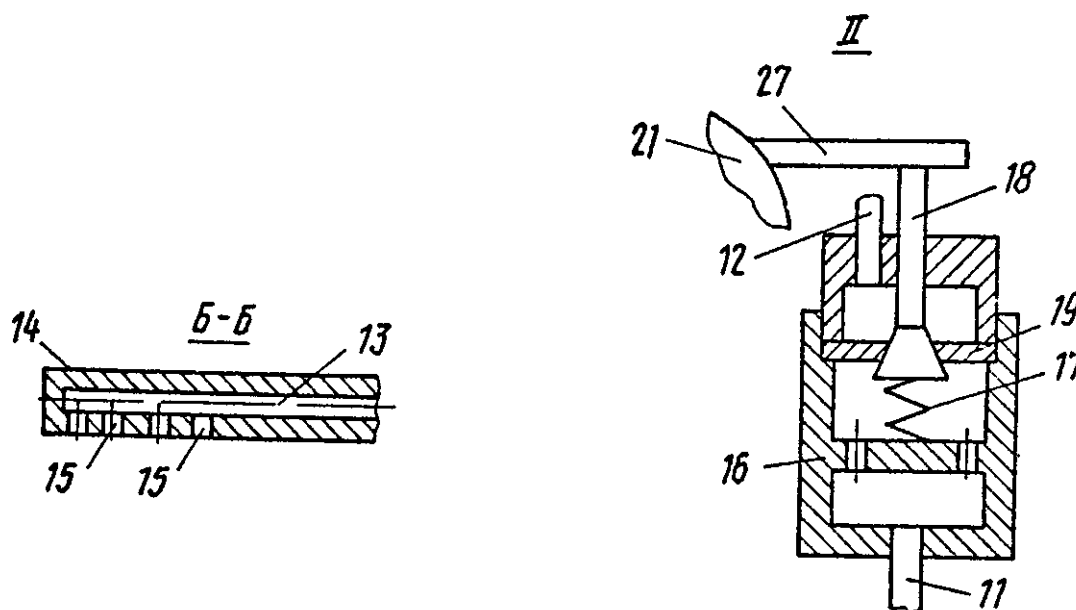


Рис. 3.4. Переріз пружинного пальця з клапанно-регулювальним механізмом.

На рис. 3.4 показано переріз пружинного пальця разом із запірно-регулювальним механізмом. До втулки 21 прикріплено упор 27, що контактує з клапаном 18 у корпусі регулювального пристрою 10, жорстко закріпленого на основі 24. Втулка 21 насаджена на палець 23 із можливістю обертатися навколо його осі, що формує додатковий шарнір у кронштейні кріплення пружинних зубів 14 до обода 7. Завдяки цьому пружинні зуби можуть відхилятися в радіальній площині обода під тиском рослинної маси.

Вільні кінці пальця 26 зафіксовані в двох тримачах 28, приварених до внутрішньої сторони обода 7. Разом із втулкою 25 палець 26 утворює основний шарнір кронштейна, завдяки якому під дією торсійних пружин 29 і 30 увесь вузол із пружинними зубами 14 піднімається вгору в осьовому напрямі, якщо ротор 2 нерухомий. Це запобігає зачепленню зубів за ґрунт або інші перешкоди під час неробочого руху машини по полю. Пружинні зуби 14 жорстко прикріплені до тримача 20 болтом 31 у їхній середній частині. Для обертання ротора 2 навколо осі 3 до трубчастих хрестовин 6, встановлених співвісно з віссю обертання, під'єднано шків 32.

Упор 27 закріплено на втулці 21 і взаємодіє з клапаном 18 регулювального пристрою 10, який, у свою чергу, прикріплений до основи 24.

Втулка 21 надіта на палець 23 із можливістю обертатися навколо його осі, що створює додатковий шарнір у кронштейні кріплення пружинних зубів 14 до обода 7. Завдяки такому шарнірному з'єднанню пружинні зуби можуть відхилятися в радіальному напрямку під дією рослинної маси.

Вільні кінці пальця 26 зафіксовані в двох тримачах 28, приварених до внутрішньої поверхні обода 7. Разом із втулкою 25 палець 26 утворюють основний шарнірний вузол кронштейна, який, завдяки торсійним пружинам 29 і 30, відкидає кронштейн із пружинними зубами 14 вгору уздовж осі ротора 2, коли ротор стоїть нерухомо. Це запобігає зачепленню зубів ґрунтом або іншими перешкодами під час буксирування сіноворушки полем із нерухомим ротором.

Пружинні зуби 14 посередині зафіксовані болтом 31 до тримача 20. Щоб надати ротору 2 обертального руху навколо осі 3, до трубчастих хрестовин 6, встановлених співвісно з віссю обертання, приєднано шків 32.

Принцип роботи сіноворушки полягає в наступному. У процесі експлуатації машина має легкий нахил уперед за напрямком руху, що забезпечує утворення гострого кута α між ободом 7 і поверхнею поля. Ротор 2 приводиться в обертання від шківа 32 навколо осі 3. Завдяки відцентровим силам пружинні зуби 14 разом із кронштейнами долають опір торсійних пружин 29 і 30, повертаючись навколо пальця 26 у робоче положення. У міру обертання в бік, позначений стрілкою В, пружинні зуби 14 захоплюють сіно, що лежить перед ротором 2 за ходом руху, і відкидають його в напрямку обертання ротора. Рідкий хімічний препарат 9, розміщений у порожнині 8, що обертається, під дією відцентрових сил зазнає тиску:

$$P := \rho_{\text{ж}} \cdot \frac{\pi^2 \cdot n^2}{1800} \cdot (r_1^2 - r_2^2)$$

де : P – тиск в рідині, Н/м^2 ;

$\rho_{\text{ж}}$ – густина ріди, кг/м^3 ;

n – число обертів ротора, об/хв;

r_1 і r_2 – радіус ємкості, м.

Оскільки ємність 8 має форму порожнистого усіченого конуса, різниця між радіусами r_1 і r_2 залишається сталою по всій висоті ємкості. Разом з тим, одна з величин у згаданій формулі змінюється залежно від висоти посудини. Примітно, що значення різниці квадратів радіусів у нижній частині ємності перевищує аналогічну величину в її верхній зоні.

Внаслідок цього тиск рідини в нижній області ємкості суттєво більший, ніж у верхній, що створює постійну циркуляцію рідини вздовж висоти посудини та примушує її переміщуватися. Такий процес запобігає розшаруванню розчину при застосуванні для обробки скошеної рослинності хімічних препаратів, які погано розчиняються або випадають в осад, а також дає можливість використовувати сухі хімікати без попереднього приготування робочих розчинів..

Під дією надлишкового тиску робочий розчин хімічного препарату надходить трубопроводом 11 у запірно-регулюючий вузол 10. Оскільки кронштейн для встановлення пружинних зубів 14 оснащений додатковим шарніром — втулкою 21, що обертається навколо пальця 23, — то під тиском згрібаного матеріалу по стерні зуби 14 починають обертатися навколо того ж пальця 23. При цьому упор 27 впливає на клапан 18, який, стискаючи пружину 17, відходить від свого сидла 19. Через зазор між клапаном 18 і сидлом 19 розчин по трубопроводу 12 подається у порожнину каналу 13 пружинних пальців 14, а далі, через отвори 15 – безпосередньо в зернову або рослинну масу. Завдяки цьому здійснюється одночасне згрібання (ворушіння) і внесення хімічного препарату в оброблюваний матеріал.

Завдяки наявності додаткового шарніра в кріпленні пружинних зубів 14, під час згрібання або ворушіння нерівномірно розподілених прокосів із різною масою (вагою рослин на одиницю площі) забезпечується дозоване внесення хімічного препарату в оброблювану купу. Зокрема, коли пружинні зуби 14 стикаються з більш щільним (важчим) прокосом (валком), вони обертаються

навколо пальця 23 під більшим кутом, ніж за проходження меншої за масою ділянки. У результаті упор 27 чинить більший тиск на клапан 18, що збільшує зазор між клапаном 18 і сідлом 19 і, відповідно, забезпечує більший потік препарату в оброблюваний матеріал.

Як тільки контакт пружинних зубів 14 із згрібаємим матеріалом поліпшується (вага прокошу зменшується), пружина 17 притискає клапан 18 до сидла 19, припиняючи подачу препарату.

На відміну від раніше відомих рішень, цей пристрій дозволяє одночасно з механічним обробітком скошених трав (згрібання і ворущіння покосів, формування валків) вводити в масу хімічні препарати. Це сприяє зменшенню втрат врожаю та прискорює сушіння скошених рослин.

РОЗДІЛ 3

ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЇ ВОРУШІННЯ ПІД ЧАС ВИРОЩУВАННЯ ЛЮЦЕРНИ НА СІНО

Операція ворущіння є невід'ємною складовою технологічного процесу заготівлі люцерни на сіно, спрямованою на рівномірний розподіл масиву рослинної маси після скошування. Ця операція виконується після того, як люцерна підсохне достатньо для збору, але до початку активного зволоження ранковою росою. Основною метою ворущіння є підсилення випаровування вологи та забезпечення рівномірного підсихання стебел і листя, що сприяє збереженню поживних речовин корму. Для досягнення максимального ефекту необхідно враховувати погодні умови, стан ґрунту та біологічні властивості люцерни, зокрема її вологовміст та етап росту. До виконання ворущіння приступають у ранкові години, коли роса вже облетіла, а денна температура сприяє активному випаровуванню вологи. При цьому важливо здійснювати операцію з урахуванням напрямку руху вітру та експозиції поля, щоб уникнути неодночасного підсихання окремих ділянок. Вибір технічних засобів для ворущіння забезпечується аналізом рекомендацій щодо типу ґрунту та рельєфу поля. Оптимальне виконання ворущіння сприяє покращенню якості сіна, зменшенню втрат поживних речовин і підвищенню врожайності в наступних циклах заготівлі [4].

Вибір часу проведення ворущіння є критичною умовою для забезпечення ефективності цієї операції. Найбільш сприятливим періодом вважаються години між 10:00 та 14:00, коли сонячне випромінювання досягає піку, а повітря вже прогрілося настільки, щоб активувати інтенсивні процеси випаровування. У разі затяжного похмурого або вологого періоду слід оцінювати щоденний прогноз погоди, щоб запобігти зайвому перемішуванню вологого матеріалу. Запізнене ворущіння, коли рослина вже надто підсохла, може призвести до надмірного розпилювання листя та зменшення кормової цінності. Навпаки, занадто раннє ворущіння, коли люцерна ще надто волога, не

забезпечить належного підсихання та може спричинити накопичення грибкових хвороб в масиві. До початку операції здійснюють пробний огляд декількох ділянок поля, визначаючи одинарний та подвійний шар ворущеної рослинної маси. Якщо більшість стебел гнуться під легким натисканням, але не відламуються від кореня, це є сигналом до початку ворущіння. Дотримання цього критерію гарантує, що матеріал не буде пересушено, але достатньо проконтрольовано для якісного ворущіння [2-8].

Основними засобами механізації для виконання операції ворущіння є роторні та барабанні ворущилки, а також граблі-ворошилки. Роторні ворущилки забезпечують більш інтенсивний рух сінної маси за рахунок обертання ротора із встановленими на ньому пружинними зубами чи гребінками. Конструкція барабанних ворущилок передбачає обертання циліндричного барабана із закріпленими на барабані прутковими або пластинчастими губками, що активно піднімають та розкидають масу. Для вибору обладнання враховують продуктивність трактора, потужність приводу та ширину захвату машини, а також потреби у швидкості обробки конкретного поля. У разі роботи на нерівній поверхні доцільно застосовувати машини з плаваючою підвіскою ротора, що знижують ризик пошкодження рослинного покриву. При виборі обладнання важливо зважати на передбачувану швидкість руху й бажану інтенсивність ворущіння, оскільки надто інтенсивне перемішування може спричинити поламання стебел та втрату листя. Крім того, технічний стан пружинних зубів чи пластин барабана має постійно перевірятися, аби уникнути випадкових поломок у полі. Регулярне технічне обслуговування механізму ворущилки, включно з мастилом підшипників та регулюванням натягу приводних ременів, забезпечує безперебійну роботу і продовжує строки експлуатації обладнання [12-14].

Перед початком експлуатації ворущилки необхідно налаштувати висоту підйому ротора або барабана над поверхнею ґрунту. Оптимальна висота становить зазвичай від 15 до 25 см, залежно від стану матеріалу: при більшому вологовмісті висоту збільшують, щоб уникнути збивання маси в купини. Перш

ніж приступити до роботи, оператор здійснює пробний виїзд на край поля, щоб оцінити відповідність налаштувань фактичним умовам. При недостатньо високому положенні ротора рослинна маса може не підніматися в повітря, а продовжувати притискатися до ґрунту, що ускладнює процес підсихання. Якщо ж встановлений занадто малий просвіт, то ворушилка може зачіпати поверхню поля, ламати стебла та створювати ризики потрапляння ґрунту до сіна. Після регулювання початкової висоти слід звернути увагу на кут нахилу ротора відносно поверхні поля: оптимальний кут коливається в межах $5\text{--}10^\circ$, щоби забезпечити плавне виведення маси за двигуном. Параметри регулюють відповідно до рекомендацій заводу-виробника, контролюючи положення щонайменше трьох ключових вузлів приводу. Після налаштування обладнання доцільно провести візуальний контроль через 50–100 метрів руху, щоб переконатися в рівномірному ворущінні без пропусків або надмірної інтенсивності [1-7].

Параметр робочої швидкості руху при ворущінні має значний вплив на якість операції та рівномірність підсихання люцерни. Рекомендований діапазон швидкості складає від 6 до 10 км/год, залежно від ширини захвату і типу обладнання. При більшій швидкості збільшується продуктивність, але водночас виникає ризик недостатнього підйому матеріалу і нерівномірного розподілу на поверхні. Надто повільна швидкість може призвести до надмірного повторного перемішування вже підсохлого сіна, що потенційно погіршує його якість. Перед визначенням оптимальної швидкості оператор перевіряє щільність рослинної маси в рядках, враховуючи ступінь стиснення та попереднє вирівнювання. Якщо камера ворушилки не справляється з великим об'ємом вологої маси, слід зменшити швидкість і/або виконати додатковий прохід після первинного підсихання. При роботі на схилах швидкість регулюють із урахуванням нахилу поля, щоб уникнути накопичення маси на нижній ділянці чи зривів ворушилки. Ефективне поєднання швидкості руху та налаштувань ротора забезпечує максимальну площу зіткнення пружинних елементів із масою люцерни, що сприяє рівномірній транспірації вологи. Безперервний

моніторинг стану робочих органів і контролю над швидкістю руху є невід’ємними умовами успішного виконання операції [8].

Робочі органи ворушилки, зокрема пружинні зуби, гребінки або пластини барабана, повинні бути правильно орієнтовані та закріплені для рівномірного захоплення маси люцерни. Зуби ворушилки розміщуються з певним кроком, що дозволяє ефективно піднімати й розпрямляти скошену масу, не подрібнюючи стебло. При цьому кут нахилу зубів до ходу руху регулюється в межах 15–20°, щоб уникнути пробуксовування та зриву піднятої маси. Правильне кріплення зубів на роторі гарантує їхнє синхронне обертання і рівномірний розкиданий ворох. У випадку використання барабанної конструкції важливо стежити за станом шпилів і фіксацією пластин, аби не допустити випадання елементів під час руху високою швидкістю. Крім того, необхідно перевірити зношування зубів: за наявності ознак значного сточування або деформацій слід замінити їх до початку ворущіння. Відповідна підготовка робочих органів забезпечує мінімальні втрати корму й економію палива, оскільки машина працює з оптимальним зусиллям. Особлива увага приділяється регулюванню зазору між робочими органами та трав’яним покривом, щоб забезпечити саме поверхневе захоплення, без заглиблення в ґрунт. У випадку поломки зуба під час роботи рекомендується зупинитися та негайно усунути несправність, аби не допустити створення умов для нерівномірного підсихання [9].

Для оцінки інтенсивності ворущіння застосовують показники, що включають ширину захвату, швидкість руху машини й кут установки робочих органів. Як правило, ширина захвату стандартних моделей ворушилок коливається в межах від 4 до 8 метрів. Більша ширина захвату знижує кількість проходів по полю, проте вимагає потужнішого трактора й може спричиняти пошкодження рослин через збільшене навантаження на перекидачі маси. При розрахунку оптимальної ширини захвату враховують розміри агрегату, ширину міжрядь та ширину колії трактора, щоб мінімізувати необроблені ділянки і забезпечити достатнє накладання проходів. Кут установки робочих органів виставляють таким чином, щоб максимально використовувати кінетичну

енергію руху ротора чи барабана для підняття сіна. При роботі на полях з нерівними ділянками кути нахилу можуть змінюватися, що впливає на характер ворущіння — більш пологий кут призводить до м'якого підняття маси, а крутіший може зривати її в купини. З огляду на ці фактори, оператор налаштовує положення робочих органів під час початкової фази роботи, провівши кілька пробних проходів. Інтенсивність ворущіння визначається не лише фізичною швидкістю руху, але й глибиною взаємодії зубів із масою, що регулюється натягом пружин або твердості пружинного елемента. Подальша корекція налаштувань здійснюється безпосередньо в полі з урахуванням фактичних результатів ворущіння [10-12].

Важливим аспектом виконання операції ворущіння є оптимальний розподіл маси люцерни по всій площі поля для прискорення випаровування вологи. Після скошування маса рослин залишається у суцільному покриві, який перешкоджає повітрообміну. Ворущіння розпушує матеріал, створюючи примусові потоки повітря, що проникають до основи вороху та відводять вологу. Для забезпечення якісного розподілу необхідно контролювати розміри смуг ворущеної матеріалу, прагнучи до інтервалу 1,5–2,0 м між ними. Якщо смуги ворущення надто широкі, то нижні шари залишаються погано провітрюваними, що призводить до кліматизації внутрішніх шарів і потенційного росту цвілі. Занадто вузькі смуги означають, що частина вже підсухлого сіна піддається повторному ворущінню, зриваючи листову масу. Оптимальний режим формування смуг полягає в тому, щоб під час одного проходу техніка мінімально перекривала попередню смугу та забезпечувала рівномірний проміжок між сусідніми смугами. Це досягається шляхом точного рульового керування тракториста та використання маркувальних елементів на агрегаті. Дотримання цієї вимоги сприяє одночасному вирівнюванню маси по всій площі, зниженню втрат кормових речовин і забезпеченню однорідного підсихання [14-15].

Погодні умови мають вирішальний вплив на операцію ворущіння у заготівлі люцерни. Перед початком робіт слід провести детальний аналіз

прогнозу погоди на найближчі 24–48 годин, оскільки затяжний дощ може зруйнувати результат ворущіння й призвести до повторного підсихання. Оптимальними умовами вважаються сонячні дні з малою хмарністю, низькою вологістю повітря та помірним вітром до 3–5 м/с. Занадто сильний вітер може розносити ворущену масу за межі заданих смуг, утворюючи неоднорівно висушені ділянки. Якщо після ворущіння очікується нічний похолодний період із густою росою, варто прискорити терміни формування валків, щоб зберегти провітрювання нижніх шарів. Практично неприпустимо виконувати ворущіння під час опадів чи при дуже вологому стані ґрунту, оскільки це призводить до забруднення корму землею та зниження його кормової цінності. У разі непередбачуваного похолодання чи різкого підвищення вологості оператор повинен оперативнo оцінити можливість переведення агрегату на збирання незалежно від стану сіна, якщо прогноз погоди свідчить про загрозу дощу. Конструкція сучасних ворушилок дозволяє гнучко реагувати на погодні коливання, однак рішення про початок чи припинення операції завжди приймається з урахуванням агроінженерних розрахунків і особливостей метеорологічної ситуації [12-17].

Якість виконання ворущіння суттєво впливає на кінцеву якість люцернового сіна, збереження його поживних речовин та ступінь механічних пошкоджень. При якісному ворущінні зберігається більша частка листової маси, яка містить до 60–70 % корисних компонентів (білків, вуглеводів, каротиноїдів). Надто інтенсивне ворущіння призводить до руйнування тонких м'яких стебел та листків, що падають на ґрунт і висихають у формі пилу. Цей пил легко втрачається при подальшому підбиранні й трамбуванні в валки, що зменшує загальний вихід сіна. З іншого боку, недостатня інтенсивність веде до неповного підсушування, що може спричинити закалювання маси в ярусах і поява цвілі під час зберігання. Для підтримання оптимального балансу здійснюють періодичні візуальні та тактильні перевірки стебел: якщо після ворущіння більша частина стебел легко піднімається, але не ламка, це означає, що початковий вологовміст був вірно оцінений і операція виконана успішно.

Важливо також оцінювати однорідність підсихання по всій ширині захвату: на практиці це робиться шляхом швидкої перевірки декількох точок поля після проходу ворущилки. Якщо виявлено недопідсушені ділянки, слід виконати додаткові точкові проходи з меншим налаштуванням натягу пружинних зубів. Якісне ворущіння гарантує рівномірне формування валків у наступній операції та мінімізує ризики псування корму під час довгострокового зберігання [18-19].

Виконання ворущіння має відбуватися з урахуванням агротехнічної культури оброблюваної поверхні поля. Під час заготівлі люцерни часто зустрічаються нерівності, залишки попередніх культур та сліди руху транспорту, що впливають на ходу агрегату. Перед ворущінням доцільно оцінити поле на наявність великих грудок ґрунту, каменів та сторонніх предметів, які можуть пошкодити ротор чи барабан ворущилки. Варто виконати попереднє згрібання сторонніх елементів із масиву, особливо якщо попереднє скошування було здійснено самохідними стрижковими косарками. У разі виявлення в центрі поля ділянок з надмірною вологою чи заболоченістю рекомендується тимчасово виключити їх із зони роботи до завершення основного масиву. З урахуванням рельєфу поля необхідно встановлювати правильний знос коліс трактора, щоб забезпечити стабільне зчеплення на ухилах та уникнути пробуксовки. Крім того, важливо правильно вибрати висоту кліренсу агрегату при проході через борозни чи сліди попереднього обробітку, щоб не зачепити нижню частину рами. Після оцінки стану поля приступають до процесу ворущіння, дотримуючись рекомендованих технологічних параметрів і не відхиляючись від обраного маршруту руху. Дотримання цих умов забезпечує зниження механічних втрат і збереження цілісності корисної площі поля [10-12].

Значна увага приділяється безпеці виконання операції ворущіння. В усіх учасників робіт, зокрема тракториста, асистентів на полі та техперсоналу, має бути забезпечено чітке уявлення про потенційні ризики. Перед початком роботи оператор перевіряє справність системи гальмування трактора, рульового

управління та світлової сигналізації. Необхідно переконатися, що робочі органи ворущилки надійно зафіксовані, а всі захисні екрани й кожухи встановлені за призначенням. В процесі виконання операції забороняється перебувати поруч із рухомими частинами техніки, особливо в зоні дії ротора чи барабана. У разі виявлення сторонніх осіб у безпосередній близькості оператор повинен негайно призупинити роботу та переконатися в безпечності продовження. За необхідності слід використовувати засоби індивідуального захисту: рукавички з міцного матеріалу для технічного обслуговування, захисні окуляри від пилу та навушники з шумоізоляцією для тракториста. Порог швидкості та ухил поля не повинні перевищувати технічні характеристики агрегату, зазначені в паспорті ворущилки, аби не допустити втрати стійкості. Регулярна перевірка тиску в шинах та технічного стану гальм, особливо перед стартом робіт у жарку погоду, знижує ризик аварійних ситуацій. Дотримання цих рекомендацій гарантує безпечне та ефективне виконання ворущіння [9].

Після завершення операції ворущіння необхідно провести огляд поля для виявлення нерівномірно розподілених ділянок та точкового додаткового тонкого ворущіння. Оператор та допоміжний персонал обстежують поле, зосереджуючись на ділянках біля водозбірних каналів, місцях, де був вищий вміст вологи, та внизу схилів, де ворущіння могло бути слабшим. При виявленні таких ділянок проводять повторний прохід з меншою швидкістю та зниженим натягом робочих органів, щоб не подрібнювати рослинну масу. Якщо ж в певних місцях ворущіння було надто інтенсивним, і спостерігається значна розсипка листя, рекомендується залишити ці зони для набігу сонячного тепла і не чіпати їх додатково. Крім візуальної оцінки, оператор може використовувати термометр для вимірювання температури вороху: надто висока температура свідчить про необхідність додаткового розпушування чи переформування валків. Після огляду поля формують остаточні валки, враховуючи отриману інформацію про однорідність підсихання. Важливо, щоб валки мали відповідні геометричні параметри — ширину 1,2–1,5 метра та висоту 0,3–0,4 метра, що полегшує наступне підбирання. Оцінка якості ворущіння та правильність

формування валків служить підґрунтям для планування подальших дій: збирання сіна здійснюють лише після достатнього часу на провітрювання та контрольної перевірки вологості. Якісний фінальний огляд дозволяє попередити появу цвілі і зберегти поживні властивості люцернового сіна [4].

Технічне обслуговування ворушилки після виконання операції є необхідною умовою для продовження безперебійної роботи у подальші дні. Надійність машини залежить від своєчасної перевірки та очищення робочих органів від залишків рослинності та ґрунтових домішок. Після зупинки техніки слід почистити ротор або барабан, видалити залишки бруду з зубів і пластин, а також змастити всі зчіпні та обертальні вузли. Зношені пружини та осі зубів потрібно оглянути на предмет утворення вибоїн чи утому металу, що сигналізує про необхідність заміни елементів. Перевіряють стан підшипників, їх мастило та можливі люфти, адже навіть незначні дефекти призводять до підвищеної вібрації та зниження якості ворущіння. Необхідно також звернути увагу на натяг приводних ременів: у разі їх розтягування слід відрегулювати натяг або замінити ремінь. Після очищення та мастила виконують тестовий пуск на холостому ході, щоб переконатися у відсутності сторонніх звуків та рівномірному обертанні ротора. Дотримання цих простих маніпуляцій періодично продовжить термін служби обладнання і убезпечить від аварійних поломок у критичні моменти заготівлі сіна [9-15].

Валки люцерни після ворущіння мають відповідати певним експлуатаційним характеристикам для подальшого підбирання у валокозбирачі. Якісно сформовані валки розміщуються в напрямку руху наступної техніки, зберігаючи необхідну висоту та ширину. При формуванні валків ширину тримають у межах 1,2–1,5 метра, що оптимально підходить для захвату ножів валкоутворювача і зводить до мінімуму залишки на полі. Висота підгорнутих валків не повинна перевищувати 0,4 метра, інакше існує ризик забивання транспортерних лент валкоутворювача й утворення заторів. Оскільки люцерна має тонкі стебла, важливо, щоб валки були досить пухкі для забезпечення рівномірного потоку маси в механізм подальшого збирання. Після формування

валків слід здійснити пробний під'їзд на крайню ділянку поля, аби перевірити можливість безперешкодного захоплення маси та коректну роботу наступного агрегата. Якщо під час цієї перевірки спостерігаються проблеми з пробудженням сіна через занадто щільне підгорнення, рекомендується виконати легке розпушування валка. Оператор трактору має постійно стежити за зовнішнім виглядом валків: сухий сіноний «шерстяний» поверхневий шар сигналізує про готовність до збирання. Правильне формування валків гарантує мінімальні втрати корму та високу якість сіна, що важливо для подальшого зберігання та використання [11-13].

Збирання валків у валкоутворювачі після ворущіння є логічним продовженням технологічного ланцюжка заготівлі сіна з люцерни. Оптимальні параметри роботи жатки включають корпусний режучий апарат із шириною захвату 1,8–2,2 метра та швидкістю руху трактора 5–8 км/год. Забезпечивши попереднє ворущіння, оператор може перейти до збирання сіна одразу, як тільки вологість маси у валках знизиться до 18–20 %. При більшому вмісті вологи збільшується ймовірність пліснявіння та самозігрівання в зберіганні, тому своєчасне збирання суттєво впливає на кінцеву якість корму. Підбираючи валок жаткою, слід враховувати глибину захоплення, щоб не захоплювати верхні шари ґрунту, інакше до корму потраплять домішки. Жатка також обладнана конвеєрною стрічкою або барабаном, які рівномірно подають сіно до транспортерної ленти трієрної жатки. Менеджмент швидкості жатки та оптимальна робоча глибина гарантують мінімальні втрати кормової маси та високий вихід сіна. Від правильного збирання залежать подальші процеси зберігання: чистий і непошкоджений матеріал швидше висихає та зберігає всі корисні властивості люцерни. Ефективна взаємодія бою жатки та валкоутворювача є запорукою того, що операція ворущіння не мине марно та забезпечить високоякісний кінцевий продукт [8].

Економічна доцільність операції ворущіння полягає у скороченні витрат на паливо, робочий час та зменшенні втрат кінцевого продукту. Дослідження показують, що правильно здійснений процес ворущіння може підвищити

врожай готового сіна до 10–15 %, оскільки знижує втрати при збиранні через рівномірне підсихання. Неправильно налаштована техніка, надмірне або недостатнє ворущіння призводять до непотрібних додаткових проходів, що збільшує витрати палива та зносу обладнання. Вибір оптимальної моделі ворущилки з точки зору продуктивності тракторів і потужності мотора є ключовим у забезпеченні рентабельності цієї операції. У випадку, коли поле характеризується віддаленістю від фермерського господарства, важливим чинником стає кількість пересувань техніки, що напряду впливає на собівартість робіт. Наявність у господарстві одного або двох агрегатів для ворущіння, здатних виконати роботи за короткий проміжок часу, дозволяє уникнути простою тракторів і доїздів до поля, що також знижує загальні витрати. Крім того, зниження втрат кормової маси за рахунок якісного ворущіння підвищує ефективність кормової бази та сприяє покращенню стада, що в довгостроковій перспективі повертає інвестиції у техніку. Таким чином, підвищення ефективності операції ворущіння прямо корелює з економічними показниками господарства.

Управління процесом ворущіння на рівні господарства передбачає планування, моніторинг та аналіз результатів для підвищення загальної ефективності заготівельної кампанії. На першому етапі формується графік виконання робіт залежно від загальної площі посівів, прогнозу погоди та доступності техніки з урахуванням завантаженості персоналу. Далі в процесі робіт здійснюється оперативний контроль виконання, де оператори щогодини звітують про хід виконання, витрати палива та кількість оброблених гектарів. На етапі завершення операції здійснюється моніторинг якості ворущіння шляхом відбору проб через кожні 10–15 метрів по ширині захвату агрегату. За результатами контролю робиться висновок щодо необхідності коригування налаштувань обладнання чи зміни стратегії виконання операції. У разі виявлення повторюваних проблем на однакових ділянках поля складається аналітичний звіт, який допомагає виявити причини (нерівність поверхні, особливості ґрунту, неправильні налаштування техніки). На основі цих даних

формується рекомендації для майбутніх сезонів, зокрема щодо вибору типу ворущилки та оптимальних параметрів роботи. Ефективна система управління сприяє тому, що операція ворущіння стає передбачуваною, економною та низькоризиковою.

Особливу увагу слід приділяти екологічним аспектам виконання операції ворущіння. Люцерна є бобовою культурою, що спроможна накопичувати азот у ґрунті, тому своєчасна заготівля сіна відіграє важливу роль у збереженні властивостей ґрунту. Недостатнє підсихання сіна може призвести до утворення шкідливої мікрофлори, яка містить грибкові спори, здатні пошкоджувати інші культури, а також викликати захворювання тварин під час вигодовування. З іншого боку, надмірне підсушення призводить до втрати поживних речовин, що сприяє збільшенню залежності від азотних добрив у наступних посівах. Енерговитрати техніки при ворущінні повинні оптимізуватися для зменшення викидів парникових газів. Використання сучасних моделей тракторів з екологічними двигунами та низьким рівнем шкідливих викидів сприяє підтримці сталої агросистеми. Забезпечення утримання ґрунту та його структури полягає у дотриманні технологічних пауз між операціями, щоб уникнути сильної ущільненості та ерозійних процесів. Крім того, правильно налаштована техніка знижує ймовірність випадкового збивання ґрунту у масу сіна, що запобігає потраплянню до корму шкідливих домішок та продовжує родючість ґрунту після збирання [7].

Погляд на модернізацію технологічного процесу ворущіння передбачає впровадження інтелектуальних систем моніторингу та автоматичного регулювання обладнання. Сучасні системи GPS-навігації дозволяють оператору працювати з мінімальним перекриттям смуг і оптимальним маршрутом руху, що знижує витрати палива та зменшує кількість проходів. Вбудовані датчики вологості та температури матеріалу дають змогу автоматично регулювати кути нахилу зубів та висоту ротора згідно з фактичними умовами. За допомогою безпроводних мереж оператори в реальному часі отримують дані про поточну якість ворущіння, що сприяє оперативній корекції налаштувань. Використання

телематичних систем дозволяє збирати статистику про витрати палива, експлуатаційний час та кількість оброблених гектарів, що важливо для аналітичних досліджень у межах господарства. Інтеграція таких технологій з загальною платформою управління агровиробництвом дає змогу прогнозувати оптимальний час початку та завершення операції з урахуванням карт ґрунтових характеристик. Модернізація техніки спрямована не лише на підвищення продуктивності, але й на покращення якості сіна, скорочення витрат та збереження природних ресурсів. Перспективно також впровадження автономних дорожніх платформ та дронів для оцінки стану масиву і контролю виконання операції.

Підсумовуючи розгляд технології виконання операції ворущіння з вирощування люцерни на сіно, слід зазначити, що ключем до успіху є комплексний підхід, який включає підготовку поля, правильний вибір технічних засобів, оптимальні параметри роботи та контроль якості. Ретельне планування операції, з урахуванням агроекологічних, економічних і технічних аспектів, забезпечує отримання високоякісного сіна з мінімальними втратами. Забезпечення своєчасного ворущіння сприяє максимальному збереженню поживних речовин у рослинній масі та запобігає розвитку патогенів у сіноутвореному масиві. Впровадження інноваційних технологій автоматичного моніторингу дозволяє зменшити людський фактор і збільшити ефективність використання ресурсів. Регулярне технічне обслуговування ворушилок і грамотна підготовка операторів сприяють зниженню витрат на ремонт і продовженню строку експлуатації машин. Важливим елементом є також економічна оцінка операції: правильне співвідношення витрат та вигоди призводить до підвищення рентабельності виробництва люцернового сіна.

Розрахунок операційної карти представлено в додатку А.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі виконано огляд зарубіжного та вітчизняного досвіду вирощування кормових культур. На основі проведених розрахунків розроблено технологічну карту вирощування люцерни на сіно.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи підтверджується, що модернізація сіноворушилки як складової комплексу машин для заготівлі люцерни на сіно є доцільною з точки зору підвищення продуктивності та якості сіножатеї. Було проведено детальний аналіз існуючих конструкцій сіноворушилок, виявлено їх ключові недоліки – нерівномірне розкидання рослинної маси, низька швидкість підсихання та значні втрати поживних речовин. З урахуванням виявлених недоліків сформовано технічні вимоги до модернізованого вузла, зокрема, оптимального кута нахилу дисків і конструкції захватних елементів. Розроблені ескізні креслення та технічне описання модернізації дозволили адаптувати існуючий механізм до умов інтенсивного експлуатаційного навантаження і сезонних змін вологості люцерни.

Модернізована сіноворушилка забезпечує рівномірніше розподілення стебел, що створює оптимальний шар для вентилявання й підсушування, а це, у свою чергу, покращує органолептичні та поживні властивості кінцевого продукту. До того ж, конструктивні зміни незначно ускладнили обслуговування механізму і не потребують дорогих запасних частин, що робить впровадження економічно виправданим.

Розроблені рекомендації щодо режимів роботи (швидкість руху тракторного агрегату, відстань між валками тощо) сприяють більш ефективному використанню техніки в різних агрокліматичних зонах.

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні можливостей автоматизованого регулювання кута нахилу дисків сіноворушилки залежно від вологості та сорту люцерни, а також у впровадженні систем дистанційного моніторингу технічного стану.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Куликівський В.Л., Ковальчук Ю.С., Герасимчук Д.В., Федорчук А.О., Шевчук О.А. Вплив мінеральних добрив на врожайність і якість сіна. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія» 11 квітня 2025 року м. Житомир / МОН України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Видавничий центр ЖАТФК України, 2025. С. 103-104.
2. Ковальчук Ю.С. Стан механізації кормовиробництва в Україні. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених (Запоріжжя, 03-28 лютого 2025 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 115.
3. Білецький О.В. Механізація заготівлі сіна: навчальний посібник. Харків: Техніка, 2014. 224 с.
4. Білецький О.В., Шевчук І.М. Технологія виробництва кормів: підручник. Київ: Урожай, 2012. 280 с.
5. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
6. Деркач І.В., Ковальчук М.І. Машини та знаряддя для заготівлі кормів: монографія. Київ: Аграрна наука, 2010. 256 с.
7. Ковальчук М.І. Технологія вирощування та заготівлі люцерни: підручник. Львів: ЛДУ, 2018. 248 с.
8. Лисенко В.П. Основи машинознавства в кормовиробництві: підручник. Київ: Наукова думка, 2011. 312 с.
9. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.

10. Попельнюх В.Д. Технологія і організація виробництва грубих і соковитих кормів: навчальний посібник. Харків: СМІ “Надія”, 2013. 200 с.
11. FAO. Forage and Pasture Production: Manual on Best Practices. Rome: FAO, 2015. 224 p.
12. Hansen A., Madsen T. Hay Swathing and Conditioning. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 2016; 45(3): 210–220.
13. Anderson W. B., McKenzie F. G. Forage Harvesting and Conditioning Systems: A Comprehensive Guide. St. Joseph, MI: ASABE Press, 2013. 312 p.
14. Barnes R. F., Nelson C. J., Moore K. J., Collins M. Forages Volume I: An Introduction to Grassland Agriculture. 6th ed. Ames, IA: Iowa State University Press, 2017. 528 p.
15. Blaser B. D., McCurdy P., Calkins C. Forage Machinery: Principles and Practice. 2nd ed. Champaign, IL: AOCS Press, 2015. 256 p.
16. Creighton P. J., Barfield R. M. Hay and Silage Production: Techniques for Optimizing Quality. London: CABI, 2014. 298 p.
17. Dekker J., Anderson R. K. Haymaking Technology in Temperate Climates. Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2016. 220 p.
18. Fowler D. B., Macey T. J. Hay and Haylage in Temperate Climates: Crop Management, Quality, and Utilization. Wallingford, UK: CABI, 2012. 304 p.
19. Holmes B. J., Burrows B., Moyer J. R. Mechanical Handling of Forage Crops. St. Paul, MN: Minnesota Extension Service, 2011. 184 p.