

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

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

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Ткачук Артем Миколайович

УДК 631.363

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ЗАГОТІВЛІ КОРМІВ З УДОСКОНАЛЕННЯМ
КОНСТРУКЦІ НАВАНТАЖУВАЧА**

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 _____ Ткачук А.М.

Керівник роботи

Грудовий Р.С.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Ткачук Артем Миколайович. Удосконалення технологічного процесу заготівлі кормів з удосконаленням конструкції навантажувача. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

У результаті виконання роботи розроблено технічний процес заготівлі консервованого плющеного зерна з модернізацією конструкції навантажувача. Вдосконалений привід шнека суттєво підвищує ефективність і надійність роботи устаткування. Оптимізація параметрів подачі консервованого плющеного зерна – з урахуванням вологості й фракційної структури – у поєднанні з новим приводом забезпечує рівномірний потік корму без зривів та накопичень у завантажувальному каналі. Продуктивність навантажувача зросла на 12 %, а енергоефективність – на 9 % завдяки зниженню споживаного струму на 15 %. Безперервність процесу дозволяє скоротити час на обслуговування та зменшити витрати на ремонтні роботи.

Модернізація приводу шнека окупається протягом одного сезону заготівлі кормів за рахунок зменшення енерговитрат і зниження витрат на технічне обслуговування. Крім того, рівномірна подача консервованого плющеного зерна підвищує якість раціону тварин і, як наслідок, продуктивність тваринництва.

Запропонований підхід може бути масштабований на інші моделі навантажувачів і застосований у господарствах із різними обсягами виробництва кормів.

Ключові слова: шнек, плющене зерно, навантажувач, надійність, конструкція.

ANNOTATION

Tkachuk Artem Mykolayovych. Improvement of the technological process of feed preparation with improvement of the loader design. – 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.

As a result of the work, a technical process for preparing canned crushed grain was developed, with modernization of the loader design. The improved screw drive significantly increases the efficiency and reliability of the equipment. Optimization of the parameters for feeding canned crushed grain—taking into account moisture content and fractional structure—in combination with the new drive ensures a uniform flow of feed without disruptions or accumulations in the loading channel. The loader's productivity has increased by 12%, and energy efficiency by 9% thanks to a 15% reduction in power consumption. The continuity of the process reduces maintenance time and repair costs.

The modernization of the auger drive pays for itself within one season of feed harvesting by reducing energy costs and maintenance expenses. In addition, the uniform supply of preserved crushed grain improves the quality of the animal diet and, as a result, livestock productivity.

The proposed approach can be scaled to other loader models and applied in farms with different feed production volumes.

Keywords: auger, crushed grain, loader, reliability, design.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. КОРМОВИРОБНИЦТВО В УКРАЇНІ: ТЕНДЕНЦІЇ, ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ.....	8
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА ПЛЮЩЕНОГО КОНСЕРВОВАНОГО ЗЕРНА.....	14
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗАКЛАДАННЯ НА ЗБЕРІГАННЯ КОНСЕРВОВАНОГО ПЛЮЩЕНОГО ЗЕРНА.....	20
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Забезпечення стабільного виробництва високоякісних кормів становить одну з найважливіших складових ефективного функціонування тваринницької галузі України. У сучасних умовах зростаючого попиту на молочну та м'ясну продукцію їх рентабельність напряду залежить від собівартості та якості кормової бази. Використання консервованого плющеного зерна дозволяє знизити енергозатрати на сушіння, зменшити втрати кормових речовин та збільшити засвоюваність поживних елементів у раціоні тварин. Водночас застосування вологого зерна позбавляє господарства необхідності інвестувати у великі сушильні потужності та скорочує ризик утворення грибків та мікотоксинів під час зберігання.

Проте ефективність технології заготівлі консервованого плющеного зерна багато в чому визначається надійністю та продуктивністю транспортно-навантажувального обладнання. Шнекові навантажувачі, які забезпечують подачу зернової маси до плющильних і консервувальних агрегатів, часто стають «вузьким місцем» у гнучкості технологічного циклу. Невідповідна конструкція приводу шнека призводить до нерівномірної подачі корму, зривів виробничого циклу, підвищеного зносу пристроїв і простоїв техніки, що в сумі збільшує як експлуатаційні витрати, так і ризики зниження якості закладеної маси.

Удосконалення конструкції приводу шнека навантажувача здатне не лише підвищити його енергоефективність і експлуатаційну надійність, а й забезпечити безперервність технологічного процесу заготівлі кормів. Автоматизація регулювання швидкості та крутного моменту завантажувального шнека дозволяє адаптувати подачу зерна до вологості та фракційної структури, що особливо актуально за змінних погодних умов і обмежених ресурсів енергії. Отже, дослідження та впровадження модернізованого приводу шнека сприятиме підвищенню загальної продуктивності кормозаготівельних

комплексів, зниженню витрат і підвищенню конкурентоспроможності аграрних підприємств України.

Мета роботи: розробка та експериментальна перевірка удосконалень технологічного процесу заготівлі консервованого плющеного зерна шляхом модернізації конструкції приводу шнека навантажувача з метою підвищення його продуктивності, надійності та енергоефективності.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі **завдання:**

- проаналізувати сучасний стан технології заготівлі консервованого плющеного зерна та визначити ключові вузькі місця у роботі шнекового навантажувача;
- дослідити конструктивні та експлуатаційні характеристики існуючих приводів шнеків у навантажувачах зерна і сформулювати вимоги до їх модернізації;
- розробити технічне рішення з удосконалення приводу шнека, зокрема вибрати тип і параметри еластичної муфти та системи плавного пуску (частотного перетворювача);
- сформулювати рекомендації щодо застосування модернізованого шнекового приводу в різних типах навантажувачів та умовах експлуатації.

Об'єктом дослідження є технологічний процес заготівлі кормів із використанням консервованого плющеного зерна за допомогою шнекового навантажувача.

Предметом дослідження є конструкція та режим роботи приводу шнека навантажувача, зокрема вплив елементів модернізації на його продуктивність, надійність і енергоефективність.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грудовий Р.С., Ткачук А.М., Руденко В.Г., Шевчук О.А., Герасимчук Д.В. Кормовиробництво в Україні: тенденції, проблеми і перспективи. 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. 52-54.

2. **Ткачук Артем.** Сучасний стан і перспективи розвитку ринку робототехніки для потреб АПК. Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті. Матеріали доповідей. Національний університет водного господарства та природокористування, 9-10 квітня 2025 року Дослідження процесу підрізання та підйому ґрунту робочими органами ґрунтообробної установки. С. 92-95.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає в значному підвищенні ефективності та надійності процесу заготівлі консервованого плющеного зерна без необхідності залучення додаткового обладнання чи суттєвих організаційних змін.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 29 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 40 сторінок комп'ютерного тексту, містить 12 рисунків, 1 таблиця та 1 додаток.

РОЗДІЛ 1

КОРМОВИРОБНИЦТВО В УКРАЇНІ: ТЕНДЕНЦІЇ, ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ

Українське кормовиробництво традиційно базується на місцевих зернових культурах, насамперед кукурудзі, ячмені та пшениці, а також на сої й олійних культурах. За даними USDA, у 2024/25 маркетинговому році на внутрішнє споживання кукурудзи передбачено біля 5,6 млн тонн, з яких 4,7 млн тонн піде саме на корми для тварин [9]. Основний драйвер зростання попиту на корми – відновлення поголів'я птиці й свиней після послаблення критичного дефіциту кормової бази під час воєнних дій [5]. Водночас частка кукурудзяних кондитерських та переробних заводів у структурі внутрішнього споживання зменшується, що збільшує пропозицію зерна саме в кормовій галузі. Стабільне збільшення площ під кукурудзою до 2021 року забезпечувало профіцит, але повномасштабне вторгнення спричинило скорочення виробничих площ на 16 % [8]. Потужності елеваторів і лінії з переробки кормів виявилися переорієнтованими на експорт, що створило вузькі місця в ланцюгу «поле–тварина». Поступове відновлення логістики Чорноморським шляхом знижує ці бар'єри. Загалом, українські виробники кормів працюють у режимі адаптивного балансу між внутрішніми потребами та експортними можливостями.

Поки внутрішній попит на корми відновлюється, експорт зернових продовжує залишатися ключовим напрямом для аграріїв. За прогнозами, у 2024/25 МР експорт кукурудзи впаде на 25 % порівняно з попереднім роком, опустившись до 22,1 млн тонн [9]. Зменшення попиту на корми на зовнішніх ринках спричинене падінням світових цін і зростанням конкуренції з боку США та Бразилії. Проте Україна зберігає високий експортний потенціал у сегменті ячменю, який у 2024/25 МР зріс до 2,8 млн тонн [3]. Сегмент комбікормової галузі вимушений шукати альтернативні сировинні джерела — наприклад, шрот сої й соняшнику. Збільшення площ під соєю (+32 % у 2024/25) створює додаткові обсяги шроту, що сприяє диверсифікації раціонів тварин [7].

Олійний напрямок демонструє більшу стійкість до воєнних ризиків, тож перехід частини площ із зернових на олійні може стати довгостроковою стратегією.

Кліматичні фактори й воєнні дії суттєво впливають на стабільність виробництва кормової сировини. У 2024/25 МР посуха на півдні та сході України знизила врожайність кукурудзи на 16 % порівняно з п'ятирічним середнім, до 6,5 т/га [5]. Незважаючи на це, загальна врожайність зернових та олійних культур в Україні зменшилася лише на 3 % у 2022–2024 роках порівняно з допандемічним періодом [9]. Однак нерівномірність погодних умов посилює ризик нерівномірного забезпечення кормами різних регіонів. Супутньою проблемою є недостатня потужність систем зрошення та модернізовані зберігання, що може призводити до самонагріву й псування продукції. Відтак, інвестиції в кліматостійкі рішення (зрошувальні системи, адаптовані сорти) стають ключовими для зменшення волатильності пропозиції кормів. Держава вже впроваджує субсидії на зрошення, але масштаб робіт поки не покриває потреби аграріїв.

Постачання кормової сировини концентрується навколо декількох великих агрохолдингів та елеваторних операторів. Вони контролюють понад 60 % потужностей зберігання зерна й переробки на комбікорм [12]. Ця концентрація створює ризик монополізації ринку: дрібні й середні виробники часто не можуть конкурувати за кращі ціни та логістичні умови. З іншого боку, великі оператори мають змогу інвестувати в модернізацію ліній, автоматизацію процесів і власну логістику. Надійність і швидкість доставки кормів великим клієнтам, зокрема птицефермам і великим тваринницьким комплексам, залишаються їхньою конкурентною перевагою. Водночас держава розвиває програми співпраці з кооперативами, щоб розширити доступ малих господарств до якісних комбікормів. Офіційні структури також заохочують створення регіональних міні-заводів із переробки кормів.

Сировинно-технологічна база українського комбікормового виробництва вимагає оновлення. Більшість ліній з переробки зерна на комбікорм змонтована

ще в 1990-х роках і не відповідає сучасним вимогам щодо енергозбереження й точності дозування добавок. Сучасні технології – екструзія, грануляція, автоматизовані системи дозування протеїнових та мінеральних компонентів – впроваджуються поступово, але їх частка на ринку залишається меншою ніж 20 % [5]. Це призводить до нерівномірного змішування компонентів і зниження якості кінцевого продукту. Підвищення точності рецептури і модульне розширення ліній допомогло б підвищити кормову цінність продукції. Також існує гостра потреба в стандартизації якості — сьогодні різні заводи використовують власні норми, що ускладнює взаємодію з експортерськими партнерами. Виробники кормів очікують на держстандарту ЗБУ-05, які мають уніфікувати показники якості.

У структурі виробництва кормів зростає частка преміум-класу. Популярність концентратів із додаванням ензимів, пробіотиків та амінокислот росте як серед великих господарств, так і в секторі дрібного та особистого підсобного господарства. За оцінками експертів, у 2023 році сегмент «преміум» збільшився на 15 %, частка загального ринку досягла 12 % [9]. Ця тенденція обумовлена прагненням фермерів підвищити продуктивність та знизити ризики інфекційних хвороб тварин. Однак висока вартість преміальних кормів обмежує їхнє широке застосування, особливо у малих господарствах. Доступ до фінансування — ще один бар'єр, адже кредитні програми високою ставкою не заохочують закупівлю дорогих кормових добавок. Розвиток держпрограм часткового відшкодування вартості преміальних кормів міг би змінити ситуацію.

Одним із критичних вузьких місць є логістика – транспортування готових кормів по території України. Розірвані транспортні коридори, руйнування мостів і дефіцит пального здорожують доставку. Собівартість транспортування підвищується на 20–30 % від номінальної вартості кормів [3]. Це безпосередньо відбивається на кінцевій ціні для споживача, особливо в західних і південних областях. Питання поліпшення дорожньої інфраструктури, відновлення залізничних гілок і перерозподіл логістичних маршрутів залишаються у фокусі

аграрного міністерства. Альтернативою стають регіональні виробництва комбікормів ближче до споживачів, що зменшує витрати на перевезення.

Технологічна підтримка галузі кормовиробництва передбачає розвиток науково-дослідної інфраструктури. Українські наукові центри та аграрні університети проводять дослідження з удосконалення рецептур кормів і адаптації кормових добавок до вітчизняних умов. Вже задіяні кілька пілотних проєктів із використанням локальних пробіотиків і біостимуляторів росту. Комерційне впровадження результатів цих досліджень може підвищити конкурентоспроможність українських кормів на світовому ринку. Однак нестача фінансування і тривала процедура держреєстрації нових кормових препаратів уповільнюють цей процес. Посилення співпраці між університетами, бізнесом і держслужбами могло б пришвидшити комерціалізацію інновацій.

Використання біоенергетичних відходів (зернової полови, лушпайки соняшнику) в якості частини рецептур комбікормів — ще один напрям зниження собівартості й підвищення екологічності. Ці відходи містять клітковину та певні мікронутрієнти, що можуть бути корисні в певних пропорціях. Пілотні проєкти показали, що до 15 % таких відходів у раціоні птиці не знижує продуктивності та зменшує вартість корму на 5–8 % [11]. Водночас необхідно враховувати можливі ризики — підвищена кількість клітковини може призвести до зниження перетравлення в шлунку моногастричних тварин. Стандартизація та технологічна обробка відходів (термічна або ферментаційна) є обов'язковими для забезпечення безпеки й якості кормів.

Сектор виробництва комбікормів тісно пов'язаний із розвитку тваринництва. Зменшення поголів'я великої рогатої худоби (спад 5 % у 2024) обмежує обсяги споживання силосів і концентратів [15]. Натомість відновлюється галузь птахівництва: прогнозується зростання виробництва курятини на 7 % у 2025 році. Це створює попит на протеїнові концентрати та специфічні амінокислотні суміші. Розширення промислових птахоферм стимулює попит на премікси і мікродобавки, що підвищують домашню

придатність м'яса. Інвестиції в лінії з виробництва пташиного комбікорму зростають, але відставання у технологічному оновленні залишається. Держпрограми підтримки сектору обіцяють компенсації за впровадження сучасних ліній.

Глобальні тенденції свідчать про поступове зростання попиту на альтернативні білкові джерела: насіння ріпаку, бобові культури, комахи. Україна має значний потенціал для вирощування гороху та нуту, які містять до 25 % протеїну. Перші промислові партії горохового шроту вже пройшли державну реєстрацію. Натомість використання комах у раціонах — ще в стадії досліджень та регуляторного затвердження. Інтерес до гідролізатів насіння ріпаку зростає в рамках проєктів збереження екологічності й заміщення імпорتنих кормових добавок. Цей напрям може стати конкурентною перевагою у довгостроковій перспективі [8].

Регуляторний клімат для виробництва кормів зараз поступово покращується. У 2024 році оновлено низку стандартів ДСТУ щодо безпеки та маркування комбікормів. Нові вимоги до вмісту мікотоксинів і важких металів максимально наближені до європейських норм [17]. Проте адміністрування контрольних процедур залишається громіздким, а кількість акредитованих лабораторій — недостатньою. Це створює бар'єри для малих і середніх виробників, яким складно пройти процедури сертифікації. Уряд обіцяє спрощення деяких процедур і діджиталізацію реєстрів. Очікується, що це сприятиме росту кількості реєстрованих кормів і розширенню конкуренції.

З огляду на виклики логістики, клімату та технологічного відставання, перспективи галузі залежать від модернізації. Стратегія розвитку до 2030 року передбачає залучення близько 1,5 млрд USD інвестицій у лінії переробки та зберігання [16]. Значна частина цих коштів запланована на оновлення автоматизованих ліній грануляції й екструзії. Окремі інвестиційні фонди вже оголосили конкурси для підтримки «зелених» проєктів у кормовиробництві. Фінансування спрямовуватиметься на проєкти з відновлення інфраструктури

елеваторів і побудови регіональних міні-цехів. Прозорість та ефективність використання цих коштів стануть критерієм успіху реформи.

Цифровізація та Industry 4.0 поступово приходять у комбікормову галузь. Вже встановлено перші системи віддаленого моніторингу температури та вологості в бункерах, що значно знижує ризик псування зерна. Використання IoT-датчиків на лініях змішування дозволяє контролювати точність рецептур у реальному часі. Аналітика великих даних допомагає прогнозувати вихід готових кормів і оптимізувати закупівлі сировини. Підвищення рівня кібербезпеки стає обов'язковим елементом інвестицій у цифрові рішення. Проте поки що більшість таких систем впроваджено лише на топ-підприємствах [3].

У перспективі особливі можливості відкриває розвиток виробництва кормів для нішевих сегментів: аквакультури, коней, дрібних домашніх тварин. Сегмент ринку «пет-фуд» в Україні виріс на 27 % у 2023 році і продовжує збільшуватись [4]. Незважаючи на війну, попит на якісні корми для собак і котів залишається стабільним. Локальні виробники часто випереджають імпорتنі бренди у преміум-сегменті завдяки кращому розумінню місцевих смакових уподобань. Розвиток цього напрямку стимулює інвестиції в розширення фасувальних ліній і брендинг.

Зростання вартості енергоносіїв змушує виробників підвищувати енергоефективність процесів. Перехід на електродвигуни з вищим КПД, рекуперація тепла та оптимізація обертів шнеків – основні технічні заходи. Перші результати показують скорочення енергоспоживання на 15–20 %. Використання альтернативних джерел енергії (сонячні панелі, біогаз) вже апробоване на кількох провідних підприємствах. Цей напрямок також підтримується грантами міжнародних донорів. Зменшення витрат на енергію підвищить конкурентоспроможність українських комбікормів.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА ПЛЮЩЕНОГО КОНСЕРВОВАНОГО ЗЕРНА

Виробництво плющеного консервованого зерна є інноваційною технологією, що поєднує механічну обробку зернової маси з подальшим біохімічним збереженням продукту. Основною метою цієї технології є підвищення засвоюваності корму для сільськогосподарських тварин, зменшення втрат поживних речовин та забезпечення довготривалого зберігання без значних витрат. На відміну від традиційного зберігання сухого зерна, плющене вологе зерно силосується з використанням консервантів, що дозволяє уникнути сушіння і зменшити енергетичні витрати господарства. Такий підхід особливо ефективний при роботі з зерном, зібраним на ранній стадії воскової стиглості, коли його вологість ще досить висока. Технологія широко застосовується у тваринництві, оскільки покращує поживну цінність раціону. Серед додаткових переваг – зменшення ризику розвитку грибків і мікотоксинів. Загалом, плющене консервоване зерно є безпечним, економічним і високоефективним видом корму [11-13].

Процес виробництва починається з підготовки зерна до обробки. Зернові культури (зазвичай кукурудза, ячмінь, пшениця, овес) повинні бути зібрані на стадії середньої або повної воскової стиглості, коли вміст води становить 30–40%. У цей період зерно має найкращу структуру для механічного плющення без надмірного утворення пилу або муки. Після збирання урожай транспортується до місця первинної обробки, де його завантажують у бункери або накопичувачі. На цьому етапі важливо уникнути псування або самозігрівання, тому бажано виконати обробку впродовж 12–24 годин після збирання. Якщо необхідно – зерно попередньо охолоджується або вентильовується. У процес включаються також візуальні та лабораторні аналізи – перевіряють наявність сторонніх домішок, рівень вологості та температури.

Після підтвердження відповідності сировини технологічним вимогам починається наступна фаза [13-17].

Далі зерно подається на етап очищення, під час якого з нього видаляються пил, органічні рештки, каміння та металеві включення. Цей етап реалізується за допомогою комплексу сепараторів і магнітних решіток. Особливу увагу приділяють вилученню феромагнітних часток, оскільки вони можуть спричинити ушкодження робочих органів обладнання, зокрема вальців. Попереднє очищення має не лише технологічну, але й економічну доцільність – запобігає простою техніки, знижує зношування деталей і покращує якість готового продукту. У деяких випадках доцільним є і попереднє калібрування зерна для стабілізації подачі в основну машину. Очищене зерно надходить на тимчасове зберігання або безпосередньо в зону механічної обробки. Залежно від особливостей виробництва, ці процеси можуть бути організовані в поточному або періодичному режимі [7-9].

Наступним етапом є подача зерна до плющильної установки. Найчастіше використовуються вальцеві плющилки, які забезпечують обробку без значного руйнування зернової оболонки. Конструктивно вони оснащені двома циліндричними валами, що обертаються назустріч один одному. Зерно, що потрапляє між вальцями, деформується та сплющується, втрачаючи свою початкову форму, але зберігаючи структуру зернової маси. Це забезпечує легке руйнування зерна в рубці жуйних тварин або у шлунку моногастричних, підвищуючи коефіцієнт засвоюваності. Параметри плющення – швидкість обертання валів, зазор між ними та тиск – ретельно налаштовуються залежно від виду зерна та вологості. Механічна обробка повинна бути м'якою, щоб не перетворити продукт на кашоподібну масу. Якість плющення напряму впливає на ефективність згодовування [12-14].

Після плющення зерно піддається змішуванню з консервуючим агентом. Як правило, використовуються органічні кислоти (наприклад, пропіонова, молочна, бензойна) або їхні суміші, які пригнічують розвиток грибової і бактеріальної мікрофлори. Дозування розраховується з урахуванням вологості,

температури, типу культури та обсягу маси. Введення консерванту здійснюється або через форсунки під тиском, або за допомогою насос-дозаторів, які забезпечують рівномірне розподілення рідини по всій товщі маси. У деяких системах реалізовано автоматичний контроль подачі, що підвищує точність і запобігає перевитраті реагенту. Якісне змішування сприяє стабілізації біологічного середовища продукту й мінімізує ризики псування. Цей етап надзвичайно важливий для подальшого зберігання. Вибір типу консерванту залежить також від умов подальшого транспортування та клімату регіону [7].

Після внесення консерванту відбувається остаточне перемішування зернової маси. Для цього застосовуються шнекові або лопатеві змішувачі, які забезпечують рівномірність обробки кожної зернини. Недостатнє перемішування може стати причиною нерівномірного консервування, що в подальшому спричинить осередки псування. Особливо важливо дотримуватись оптимальної тривалості цього етапу, щоб не допустити аерації маси. Автоматизовані змішувачі забезпечують точний контроль часу, швидкості й рівномірності процесу. У поточних лініях перемішування поєднується з транспортуванням, що підвищує продуктивність. У разі великих обсягів виробництва передбачаються багатоступеневі системи обробки. Злагоджена робота цього вузла суттєво підвищує якість готового продукту [7].

Далі підготовлена маса підлягає герметичному пакуванню або закладанню в сховище. Найпоширенішим методом є пакування в поліетиленові рукави, що дозволяє зменшити контакт маси з повітрям і зберегти анаеробне середовище. Рукав щільно наповнюється через спеціальну насадку, після чого герметично запаюється або зав'язується. Альтернативні варіанти включають укладання в біг-беги або закладання в бетоновані траншеї. У випадку використання траншей важливо забезпечити ретельне ущільнення маси шляхом накатування тракторами або котками. Поверхня покривається щільною плівкою, краї якої присипаються ґрунтом або притискаються мішками з піском. Надійне перекриття перешкоджає проникненню повітря й вологи, а також зменшує тепловий вплив сонця [9].

Зберігання консервованого плющеного зерна є критично важливим етапом, від якого залежить збереження поживної цінності продукту. Основною умовою є підтримання анаеробного середовища, яке перешкоджає розвитку небажаної мікрофлори. Крім того, потрібно контролювати температуру всередині сховища – вона не повинна перевищувати 25 °С. При надлишковому теплі активізуються процеси бродіння, що призводять до втрати енергії корму. Важливо також уникати конденсації вологи, яка може спричинити осередки плісняви. Для цього використовують спеціальні антиконденсатні плівки або вентиляційні отвори (в закритих системах). Регулярний моніторинг стану маси дозволяє вчасно реагувати на зміни. У разі необхідності – проводиться локальне вилучення або обробка уражених ділянок [2].

Після завершення процесу ферментації, який триває 2–3 тижні, продукт вважається стабілізованим. Він готовий до згодовування, але може зберігатись до 12 місяців і більше без втрати якості. У процесі дозованого вилучення важливо уникати повторного контакту з киснем. Для цього використовують різні способи подачі: шнеки, стрічкові транспортери, мобільні роздавачі. При тривалому використанні рукава чи траншеї відкриваються поступово, по мірі споживання. Щоб не допустити псування, фронт відкритої поверхні повинен бути мінімальним. Корм вивозиться безпосередньо до місць годівлі або надходить у змішувачі. У великих господарствах процеси механізуються для зменшення втрат і підвищення точності дозування [5].

Успішна реалізація технології плющення та консервування залежить від злагодженої роботи обладнання. Найважливішими вузлами є бункери, плющилки, дозатори, транспортери та змішувачі. Від справності кожного з них залежить якість кінцевого продукту. Особливу увагу слід приділити вальцевим механізмам – вони повинні мати систему регулювання зазору, надійні приводи та елементи захисту. Також важливим є стан насос-дозаторів, які повинні точно подавати консервант. Для цього передбачені системи калібрування, які враховують витрати рідини та інтенсивність подачі зерна. Автоматизовані комплекси дозволяють контролювати процес у режимі реального часу.

Використання сучасних технологій зменшує ризик помилок і підвищує ефективність виробництва [7].

Ще одним аспектом технології є вибір сировини. Найкраще підходять злакові культури з високим вмістом крохмалю – кукурудза, ячмінь, тритикале. Вони мають добру енергетичну цінність і добре зберігаються після консервування. Вологість зерна має вирішальне значення — надмірна знижує стійкість до псування, а надто низька погіршує якість плющення. Оптимальний діапазон – 28–35%, залежно від виду культури. Перед обробкою проводяться тести на вміст білка, крохмалю та мікробіологічну чистоту. Якісне зерно дозволяє зменшити дозу консерванту та підвищити термін зберігання. Також враховується засміченість та наявність пошкоджених зернин. Ці фактори впливають на вибір режиму обробки [8].

Контроль якості готової продукції проводиться на різних етапах: після плющення, після змішування та під час зберігання. Зразки відбирають регулярно для лабораторного аналізу. Оцінюються такі показники: кислотність, вологість, наявність мікотоксинів, кількість патогенних мікроорганізмів. За результатами аналізу приймається рішення про придатність продукту до згодовування. У разі виявлення відхилень — вживаються заходи щодо корекції або вибраковки партії. Також здійснюється облік кількості витраченого консерванту. Це дозволяє оптимізувати витрати й підтримувати стабільну якість корму протягом року. Якість контролю гарантує безпеку та продуктивність у тваринництві [4].

Переваги використання плющеного консервованого зерна є численними і практично підтвердженими. Воно краще перетравлюється, не потребує сушіння, не утворює пилу та значно зменшує втрати при зберіганні. Крім того, це технологічно простіше та дешевше у порівнянні з традиційними способами. У господарствах, де впроваджена ця технологія, спостерігається підвищення надоїв молока, приростів живої маси та загального стану поголів'я. Також зменшуються витрати на корми, що позитивно впливає на рентабельність виробництва. Враховуючи зростання вартості енергоносіїв, перевага

безсушильної технології стає ще помітнішою. Економія ресурсу – як технічного, так і людського - робить технологію привабливою для агропідприємств. У поєднанні з точним контролем якості ця система є ефективною та перспективною [3].

Висновуючи, можна сказати, що технологія виробництва плющеного консервованого зерна є сучасним, енергоефективним та біологічно обґрунтованим способом заготівлі кормів. Вона враховує фізіологічні потреби тварин, мінімізує втрати та підвищує ефективність аграрного виробництва. Успішна реалізація технології можлива лише за умови дотримання усіх технологічних параметрів і належної організації процесу. Впровадження цієї системи у господарствах сприяє переходу до більш стабільного та якісного кормовиробництва. Результатом є поліпшення тваринницьких показників, зниження витрат та екологічна безпека. Технологія плющення з консервуванням є не лише економічно виправданою, а й науково обґрунтованою. У найближчі роки вона має всі шанси стати домінуючим підходом у годівлі високопродуктивних тварин. Це – шлях до сталого та ефективного аграрного розвитку [9].

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗАКЛАДАННЯ НА ЗБЕРІГАННЯ КОНСЕРВОВАНОГО ПЛЮЩЕНОГО ЗЕРНА

Останнім часом дедалі більшої популярності набуває технологія консервування плющеного зерна, зібраного на ранніх етапах стиглості. Це відносно новий і більш прогресивний метод заготівлі, зберігання та подальшого використання кормового зерна. Його основний принцип схожий з процесом силосування зелених кормів – сировина зберігається в герметичному середовищі, що запобігає розвитку небажаної мікрофлори завдяки використанню консервантів [1].

На сьогодні у вітчизняних господарствах для плющення зерна здебільшого застосовують дорогі імпортні установки, які не адаптовані до вітчизняних умов експлуатації. Це стало одним із чинників, що обмежують широке впровадження ефективної ресурсозберігаючої технології плющення та консервування зерна [2].

3.1 Огляд наявних технічних рішень

На рис. 3.1 зображено один із типових зразків вальцевої машини для обробки вологого зерна. Основними функціональними вузлами конструкції є завантажувальний бункер (поз. 1), у нижній частині якого розміщено магнітний сепаратор (2), що слугує для вилучення феромагнітних часток. Після очищення зерно надходить у дозуючий пристрій (3), обладнаний регульованою заслінкою (4) для контролю обсягів подачі.

Обробка зерна здійснюється за допомогою двох вальців (5 і 7), розміщених паралельно з протилежним напрямком обертання. Величина проміжку між вальцями регулюється спеціальним механізмом (позиції 7 і 9), а утримання необхідного положення забезпечується затискачем (8). Для очищення поверхні вальців передбачено еластичні скребки (10) та ножі (11).

Далі подрібнена маса транспортується шнековим механізмом (12), який працює у взаємодії з кулачковою муфтою (13). Наступний етап — подача у скребковий транспортер (14), через який зернова маса надходить до зони обробки консервантом. Система зволоження включає насос-дозатор (15) та ємність для зберігання консерванту (17), що забезпечує рівномірне нанесення речовини на підготовлену масу.

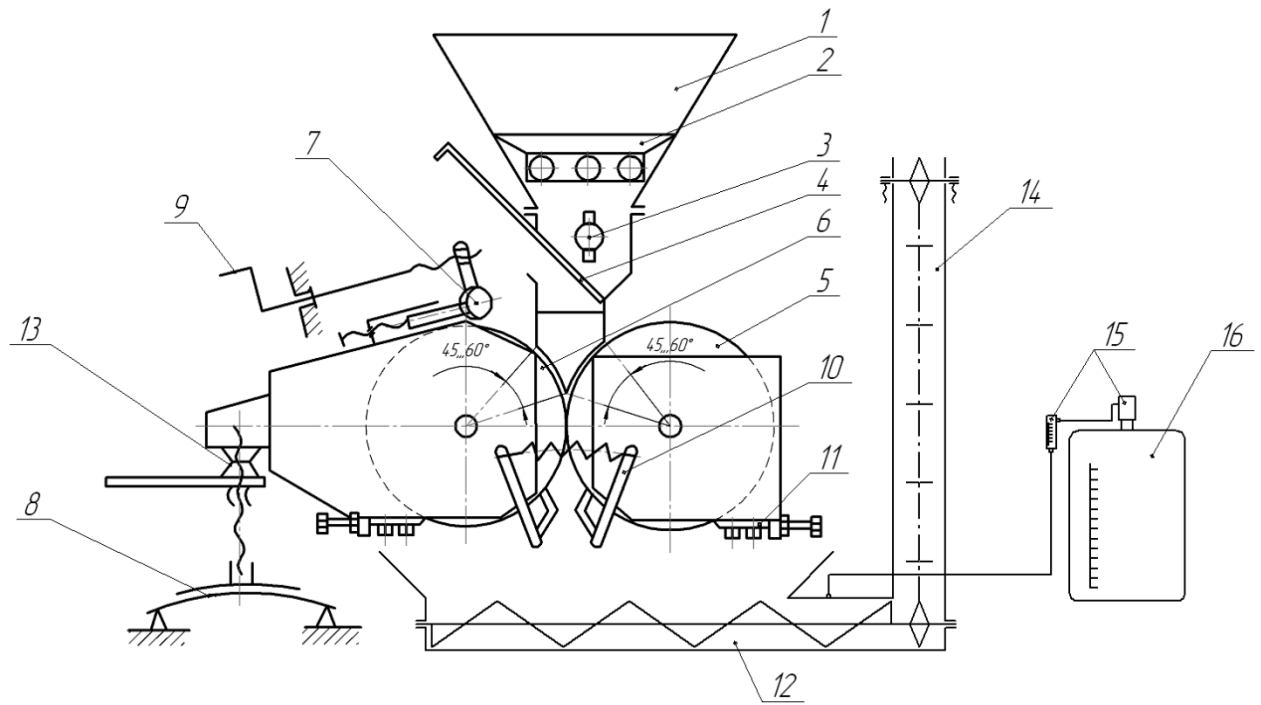


Рис. 3.1. Принципова схема роботи машини для плющення вологого зерна ПВЗ-10. Позначення: 1 – завантажувальний бункер; 2 – магнітна решітка; 3 – пристрій для дозування; 4 – регулятор подачі; 5, 7 – обтискні вальці; 7, 9 – система регулювання проміжку між вальцями; 8 – фіксатор положення; 10 – очищувальні скребки; 11, 12 – ножі для зняття залишків; 13 – зчїпна муфта кулачкового типу; 14 – механізм транспортування (скребковий тип); 15 – насос із дозуючою функцією; 17 – ємність для рідкого консерванту.

Принцип дії машини для плющення вологого зерна

Процес обробки зерна в установці розпочинається з його надходження до приймального бункера (1), звідки сировина самопливом прямує до магнітної решітки (2). У цьому вузлі відбувається затримання металевих домішок, що можуть пошкодити обладнання. Після первинного очищення зерно потрапляє

до дозуючого пристрою (3), через який воно в контрольованій кількості подається до робочої зони, проходячи при цьому через регулятор подачі (4).

Основна операція – плющення – виконується між двома вальцями (5 і 7), які обертаються у протилежних напрямках і затягують зерно в зону деформації. У результаті зерно сплющується та виводиться з робочої частини. Для очищення поверхні вальців від залишків обробленого матеріалу використовуються пружинні скребки (10) і спеціальні ножі (11), які також спрямовують готовий продукт до кожуха шнекового транспортера (12), що забезпечує подальше транспортування.

Можливість зміни зазору між вальцями забезпечується регулювальним механізмом (7 і 9), а фіксацію їх положення виконує притискний пристрій (8). Для зручності обслуговування та запуску агрегату конструкцією передбачена кулачкова муфта (13), що дає змогу швидко роз'єднувати вальці при необхідності очищення або технічного втручання.

Подача рідкого консерванту до обробленого зерна здійснюється за допомогою насосного дозуючого пристрою (15), який забирає консервант із резервуара (17) та подає його безпосередньо в корпус шнекового транспортера (12), де відбувається змішування з плющеною масою. Після цього підготовлений матеріал транспортується та вивантажується назовні за допомогою скребкового механізму (14).

Усі основні компоненти машини – вальці, система дозування, шнек і транспортер – отримують механічний привід від електродвигуна потужністю 30 кВт через клинопасову трансмісію, що забезпечує стабільну і надійну роботу всього агрегату.

Загальне компонування плющильної установки зображено на рисунку 4.2. Для розширення функціональних можливостей і забезпечення автономності роботи в польових умовах, модель ПВЗ-10 також може бути оснащена приводом від вала відбору потужності (ВВП) трактора, що робить її придатною для мобільного використання (рис. 3.2).



Рис. 3.2 Плющилка вологого зерна ПВЗ-10 під час роботи.



Рис. 3.3. Плющилка вологого зерна ПВЗ-10 з приводом від ВВП енергетичного засобу

Мобільна установка для плющення вологого зерна ROmiLL M2 plus (рис. 3.4) вирізняється низкою техніко-економічних та експлуатаційних переваг:

- Машина дозволяє регулювати ступінь подрібнення зернової маси залежно від виду тварин — як для жуйних (великої рогатої худоби), так і для тварин із простішою травною системою, забезпечуючи оптимальну структуру корму.

- Застосування вальцювого плющення сприяє підвищенню засвоюваності поживних речовин, що, у свою чергу, покращує кормову цінність продукту та загальну ефективність годівлі.
- Завдяки високому ступеню механізації процесу знижуються експлуатаційні витрати.
- Устаткування демонструє високу продуктивність – до 40 тонн на годину – за умови живлення від силового агрегата потужністю 170 кВт.
- Вивантаження обробленого зерна здійснюється через черв'ячний конвеєр, керований гідравлічною системою, що забезпечує точне й контрольоване виведення маси.

У базовій комплектації агрегат оснащено турнікетним дозатором, який рівномірно розподіляє потік зерна на робочі вальці, запобігаючи перевантаженню та забезпечуючи стабільну роботу пристрою.



Рис. 3.4. Вальцева мобільна плющилка ROmiLL M2 plus.

Машина ROmiLL M2 plus розроблена спеціально для обробки великих обсягів кормового зерна та орієнтована на промислові господарства із значним виробничим навантаженням. Основне призначення агрегату полягає в ефективному плющенні вологого зерна безпосередньо в полі або в зоні силосування.

Під час польових робіт завантаження бункера місткістю 9 м³ відбувається безпосередньо з комбайна або перевантажувального транспортера шляхом пересипання. Паралельно із зернопереробкою в машину подається консервант, що надходить до шнекового транспортера, де рівномірно змішується з обробленою масою, забезпечуючи якісне консервування.

Для зручності роботи вся система доповнена вбудованим майданчиком для встановлення ІВС-ємності з консервантом, що дозволяє працювати автономно без необхідності зовнішнього дозування.

Мобільна плющилка ROmiLL CP2 з вбудованим пресувальним модулем (рис. 4.5).



Рис. 3.5. Мобільна зерноплющильна установка ROmiLL CP2

Ключові функціональні переваги ROmiLL CP2:

Ця універсальна мобільна установка здатна виконувати одразу чотири технологічні операції в одному циклі:

- плющення вологого зерна;
- внесення консерванту або зволожуючої рідини до обробленої маси;
- рівномірне змішування зерна з консервуючим розчином;
- герметичне пакування отриманої суміші в поліетиленовий рукав.

Додатковою перевагою є можливість регулювання ступеня подрібнення залежно від потреб годівлі – як для великої рогатої худоби, так і для свиней чи птиці з однокамерною системою травлення.

Можливості альтернативного застосування:

- окрім зернової маси, установка може використовуватись для упаковки інших типів кормів у мішки;
- передбачена опція вивантаження плющеної і законсервованої маси без пакування – наприклад, із розміщенням у силосних ямах або траншеях;
- можливе використання як стаціонарної вальцювої дробарки для безперервної роботи протягом року, у тому числі поза межами збирального сезону.

Світовий лідер у сфері зерноплющильного обладнання – компанія Aimo Kortteen Konepaja Oy (Фінляндія), яка випускає широкий спектр техніки під брендом Murska. Характеристики основних моделей цієї лінійки без функції пакування наведено в таблиці 3.1, а з функцією пакування — у таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Асортимент моделей плющилок Murska без пакувального модуля

Параметри	Murska 220SM	Murska 350S2	Murska 700S2	Murska 1000S2	Murska 1400S2x2	Murska 2000S 2x2
Продуктивність, т/год	1	5	10	20	30	40
Потужність від ВВП, кВт	4	15...30	20...50	30...75	75	95
Висота, мм	450...1300	1020	1040	1150	1700	1700
Ширина, мм	700	1200	1250	1150	2400	2450
Довжина, мм	840	1300	1550	1450	2450	2700
Маса, кг	130	320	550	700	1700	2200
Ємкість бункера, л	20	190	270	370	1300	1500
Висота підйому елеватора, мм	-	3400	3400	3400	3400	3300
Вальці:						
Довжина, мм	240	370	700	1100	1500	2000
Діаметр, мм	300	400	400	400	400	3

На рис. 3.7 зображено флагманську модель Murska W-Max — останню розробку інженерів компанії Aimo Kortteen Konepaja Oy, що втілює найсучасніші технічні рішення у сфері обробки зерна.



Рис. 3.7 Плющилка Murska W-Max

Модель Murska W-Max є високопродуктивною мобільною плющильною установкою, що поєднує у собі інноваційні інженерні рішення, розроблені компанією Aimo Kortteen Конераја Оу (Фінляндія). Її конструкція передбачає:

- Завантажувальний бункер великої місткості — забезпечує безперервну подачу зерна з комбайнів або перевантажувальних машин;
- Магнітна система сепарації — вловлює металеві домішки, запобігаючи пошкодженню робочих вузлів;
- Високоточні плющильні вальці — виготовлені зі зносостійкої сталі, дозволяють ефективно обробляти як сухе, так і вологе зерно;
- Система автоматичного регулювання зазору між вальцями — адаптується до фракційної структури сировини для досягнення потрібного ступеня плющення;
- Інтегрована дозуюча система для консервантів — рівномірно вводить рідину в оброблену масу з високою точністю;
- Ефективний змішувач — гарантує однорідне поєднання зерна з консервуючим розчином;

- Гідравлічна система керування основними функціями – забезпечує простоту обслуговування та налаштувань;
- Потужний привід – може працювати як від ВВП трактора, так і від електродвигуна, залежно від конфігурації;
- Варіанти з пакувальним модулем – дозволяють пакувати готовий продукт у поліетиленові мішки або рукави без додаткових механізмів.

3.2 Обґрунтування основних параметрів рифленої поверхні вальців для плющення озимої пшениці та удосконалення приводу навантажувача

У роботі розглядається поверхню вальців з рифленою поверхнею по всій довжині, паралельними, і під деяким кутом до твірної; западини яких в поперечному перерізі утворені простими геометричними фігурами: прямокутником, трикутником і трапецією. Застосування таких западин обумовлено наявністю у них ребер, а дослідження [4, 5, 7, 7] показали, що вплив ребер рифлів на зернівку дозволяє знизити витрати енергії на її руйнування.

Для того щоб визначити вплив рифленої поверхні на якість плющення, складемо формулу для визначення середнього зазору між вальцями:

$$b_c = b + h \times k_b, \quad (3.1)$$

де b – робочий зазор;

h – висота рифлів;

k_b – коефіцієнт збільшення зазору ($0 \leq k_b \leq 1$), $k_b = 0$ при використанні гладких вальців.

$$k_b = \frac{V_{вп}}{V_{ц}}, \quad (3.2)$$

де $V_{вп}$ – загальний об'єм впадин рифлів;

$V_{ц}$ – обсяг порожнього циліндра із стінкою, рівній висоті рифлів і довжиною, що дорівнює довжині вальця.

$$V_{вп} = n_{вп} \times L \times S_b, \quad (3.3)$$

де $n_{\text{вп}}$ – кількість впадин;

L – довжина вальцю;

$S_{\text{в}}$ – площа поперечного перерізу впадини.

Об'єм впадин рифлів з трикутним перерізом:

$$V_{\text{вп.т}} = n_{\text{вп}} \times L \frac{a \times h}{2}, \quad (3.4)$$

Об'єм впадин рифлів з прямокутним перерізом:

$$V_{\text{вп.т}} = n_{\text{вп}} \times L \times a \times h, \quad (3.5)$$

Об'єм впадин рифлів з трапецеїдальним перерізом:

$$V_{\text{вп.т}} = n_{\text{вп}} \times L \frac{a \times h}{2}, \quad (3.7)$$

де a , c , h – геометричні характеристики перерізів, представлені на рис. 3.7.

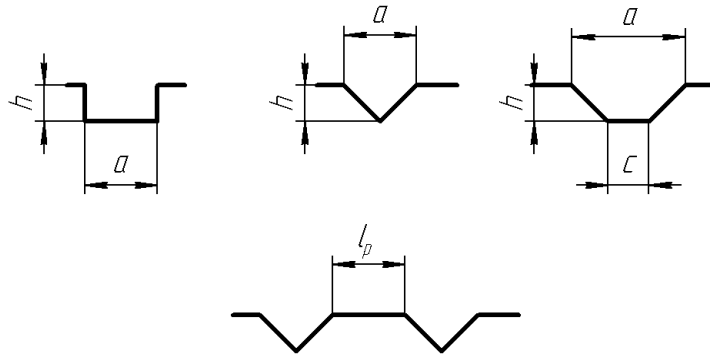


Рис. 3.7 Геометричні характеристики перерізів.

$$V_{\text{ц}} = \pi \times L(D \times h - h^2), \quad (3.7)$$

Після підстановки та спрощення формула для визначення середнього зазору прийме вигляд:

- для впадин рифлів з трикутним перетином:

$$b_c = b + h \frac{n_{\text{вп}} \times a}{\pi(D-h)}; \quad (3.8)$$

- для впадин рифлів з прямокутним перетином:

$$b_c = b + 2h \frac{n_{\text{вп}} \times a}{\pi(D-h)}; \quad (3.9)$$

- для впадин рифлів з прямокутним перетином

$$b_c = b + h \frac{n_{\text{вп}}(a \times c)}{\pi(D-h)}; \quad (3.10)$$

Побудуємо графічні залежності (рис. 3.5) середнього зазору від числа западин при $b = 1,0$ мм, $h = 1,5$ мм, $a = 3,0$ мм, $c = 2,0$ мм, $D = 300$ мм.

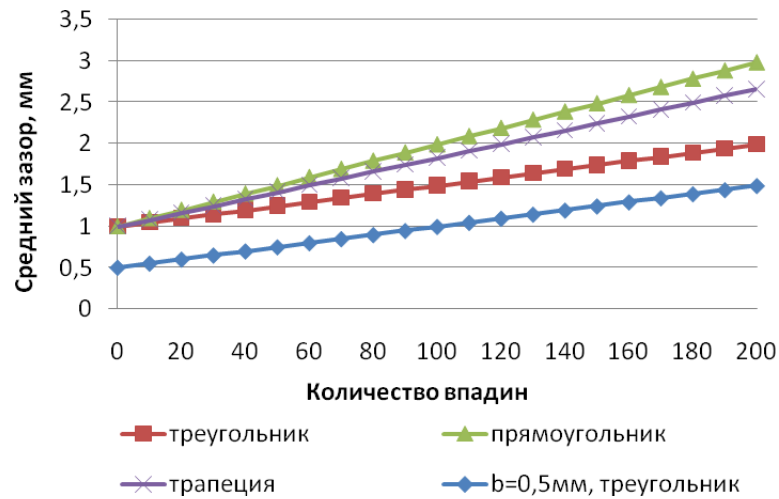


Рис. 3.8. Залежність середнього зазору від числа западин.

З рис. 3.8 видно, що використання вальців з западинами у вигляді трикутника дає найменший приріст фактичного зазору. Тому надалі будемо використовувати тільки їх.

Знайдемо кути α_3 , α_4 (рис. 3.9) нахилу граней рифлів, виходячи з середнього розміру зернівок, дотримуючись умову жорсткої фіксації зернівки між рифлями, при якому бічні грані рифлів паралельні (рис. 3.10).

При цьому також необхідно, щоб відстань між гранями було більше середньої товщини зернівки, а висота бічних граней дорівнювала половині ширини.

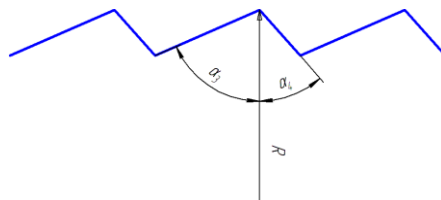


Рис. 3.9. Кути нахилу граней рифлів.

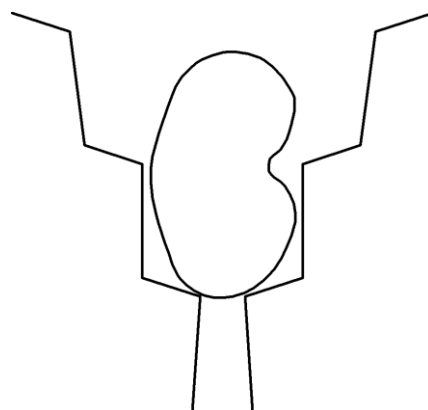


Рис.3.10 Схема защемлення зернівки рифлями.

$$h = \frac{l_{\text{ш}}}{2} \sin \alpha_1 (1 - \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} (90 - \gamma - \alpha_1)). \quad (3.17)$$

Для аналізу отриманих результатів розрахуємо значення α_3 , α_4 , a , h , b_c . Розрахунок зробимо для озимої пшениці при $b = 0,1; 0,5$ мм для різних діаметрів вальців за умови максимального використання пропускної здатності плющилки. Результати розрахунку наведені в таблиці 3.3. Число западин рифлів обчислимо за формулою:

$$n_{\text{вп}} = \frac{\pi D}{a} \quad (3.17)$$

Таблиця 3.1 – Геометричні параметри рифлів для плющення озимої пшениці

D, мм	a, мм	h, мм	$n_{\text{вп}}$	α_3	α_4	$\alpha_3 + \alpha_4$	b_c , мм
150	2,83	0,53	177	77,1	51,7	128,8	0,73
170	2,82	0,5	189	77,9	50,7	128,8	0,70
190	2,82	0,48	212	77,7	50,0	128,8	0,58
210	2,81	0,47	235	78,3	49,4	128,8	0,57
230	2,80	0,44	258	78,8	48,9	128,8	0,54
250	2,80	0,43	280	79,2	48,4	128,8	0,53
270	2,80	0,41	303	79,7	48,0	128,8	0,51
292	2,79	0,40	328	80,0	47,7	128,8	0,50
310	2,79	0,39	349	80,3	47,3	128,8	0,49
330	2,79	0,38	372	80,7	47,0	128,8	0,48
350	2,79	0,37	395	80,9	47,8	128,8	0,47
370	2,78	0,37	417	81,2	47,5	128,8	0,47
390	2,78	0,35	440	81,4	47,3	128,8	0,45
410	2,78	0,34	473	81,7	47,1	128,8	0,44
430	2,78	0,34	487	81,8	45,9	128,8	0,44
450	2,78	0,33	509	82,0	45,7	128,8	0,43

У даному пункті розраховані геометричні параметри рифлів, що забезпечують стійкий захоплення зерна озимої пшениці і мінімальне збільшення середнього зазору.

Для забезпечення рівномірної роботи вальців і кращих умов сколювання застосовується гвинтова нарізка рифлень. Кут відхилення нарізки від твірної не повинен перевищувати кута тертя зерна по металу. Цей кут приймають рівним $2 \dots 11^\circ$.

Розрахункова продуктивність вальцевої плющилки визначається з виразу:

$$Q = 3,6 \cdot \gamma \cdot l \cdot v_3 \cdot b \cdot k \quad (3.18)$$

де: γ – об’ємна вага продукту до подрібнення в $\text{кг} / \text{м}^3$;

l – довжина вальців в см;

$$v_3 = \frac{v_b - v_m}{2} \quad (3.19)$$

$$v_3 = \frac{7-3}{2} = 2 \text{ м/с}$$

де: V_3 – середня розрахункова швидкість продукту в зоні подрібнення в см/сек;

b – величина зазору між вальцями в см;

k – коефіцієнт заповнення зони подрібнення;

Q – розрахункова продуктивність.

Величина k – складає 0,15...0,8, а величина b є змінною, яка встановлюється в залежності від початкових і кінцевих розмірів частинок продукту. При розмелі фуражного зерна $b = 0,7 \dots 0,8$ мм при грубому розмелі.

$$Q = 3,6 \cdot 350 \cdot 65 \cdot 2 \cdot 0,65 \cdot 0,18 = 19270 \text{ кг/год.}$$

Регулювання розуміли вулицями здійснюється зміщенням одного з вальців разом з підшипниками уздовж напрямних рами. Застосовується пружинна амортизація стиснення вальців з величиною тиску 7 ... 7 кг / см довжини вальців.

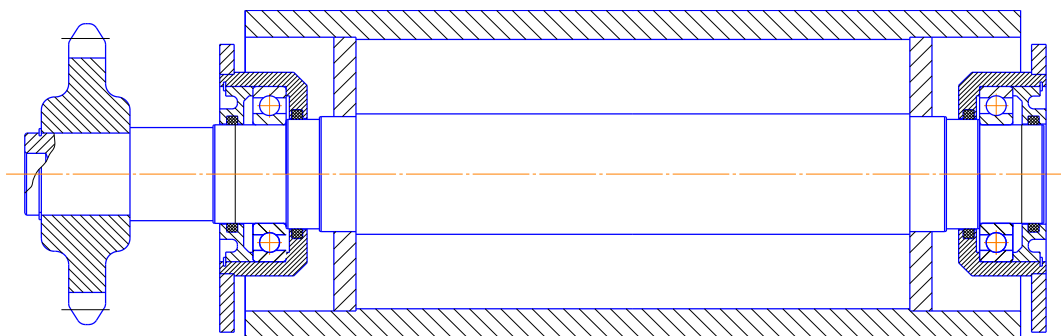


Рис. 3.12. Креслення модифікованого вальця.

В результаті теоретичних досліджень встановлена залежність для визначення потужності приводу плющилки залежно від зазору, довжини, діаметра і окружної швидкості вальців, швидкості подачі зерна і його фізико-

механічних властивостей, що враховує також втрати потужності на ковзання зерна по поверхні вальців.

$$N = \frac{D \cdot f}{\frac{D}{v} + \frac{(v - v_0) \cdot \sin(\alpha_1 - \alpha'_1)}{\alpha_1 g(f - \sin(\alpha_1 - \alpha'_1) \cos(\alpha_1 - \alpha'_1))}} \cdot \left(\frac{L b \gamma b \gamma}{\sin(\alpha_1 - \alpha'_1)} \cdot \alpha_2 + \right. \\ \left. + 2 \sqrt{\frac{ELD^2}{4} \cdot \frac{(d_n - b)^2}{d_n^2} + \left(\frac{ELD^2}{4} \cdot (\alpha_1 - \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1) \right)^2} \right) \quad (3.20)$$

де: γ – питома маса зерна;

α_2 – кут ковзання зернівки по поверхні вальців, рад;

E – модуль пружності зерна;

L – довжина вальця, м;

D – діаметр вальця, м;

v – швидкість обертання вальців;

f – коефіцієнт тертя.

$$N = \frac{0,3 \cdot 0,47}{\frac{0,3}{3} + \frac{(3 - 0,4) \cdot \sin(20 - 14)}{20 \cdot 9,8(0,47 - \sin(20 - 14) \cos(20 - 14))}} \cdot \left(\frac{700 \cdot 0,5 \cdot 300 \cdot 9,8 \cdot 0,3}{\sin(20 - 14)} \cdot 18 + \right. \\ \left. + 2 \sqrt{\frac{28 \cdot 700 \cdot 0,3^2}{4} \cdot \frac{(1,5 - 0,5)^2}{1,5^2} + \left(\frac{28 \cdot 700 \cdot 0,3^2}{4} \cdot (20 - \sin 20 \cdot \cos 20) \right)^2} \right) = 42,4 \text{ кВт}$$

Висновок – енергоємність не перевищує встановлених заводом виробником в 50 кВт.

Метою конструкторської розробки є заміна вальців на вальці спеціальної форми. Такі вальці застосовуються на зарубіжних. Плющилка наприклад "Murska" канадської фірми Renn.

Підвищення надійності приводів шнека навантажувачів зерна починається з правильного вибору та застосування редукторів із підвищеним експлуатаційним ресурсом. Редуктори, виготовлені зі зносостійких матеріалів і з урахуванням запасу міцності, краще витримують змінні навантаження, характерні для роботи з сипучими матеріалами. Важливу роль відіграє також

якість мастила та захист редуктора від забруднень і пилу — ці фактори суттєво впливають на термін служби механізму.

Одним із ефективних засобів зменшення динамічних навантажень на привод є застосування еластичних муфт. Вони компенсують осьові і радіальні зміщення, що виникають у процесі роботи, а також поглинають вібрації й короткочасні удари. Завдяки цьому зменшується зношування підшипників і валів, а привод працює стабільніше й без ривків.

Ще одним дієвим методом є впровадження систем плавного пуску. Частотні перетворювачі або пристрої плавного запуску забезпечують поступове збільшення обертів електродвигуна, уникаючи різких поштовхів у приводній системі. Це особливо актуально для потужних машин, які працюють у важких умовах і піддаються великим навантаженням при запуску.

Регулярне технічне обслуговування приводів шнека є основою їх довговічної та безаварійної експлуатації. Планові перевірки вузлів, очищення, змазування, контроль натягу ременів і стану кріплень дозволяють своєчасно виявляти зношені елементи та замінювати їх до настання поломки. Такі заходи зменшують ризик простоїв обладнання під час інтенсивної роботи.

Важливим аспектом надійної роботи приводів є запобігання перевантаженням. Це досягається шляхом встановлення запобіжних муфт, обмежувачів крутного моменту або електронних датчиків перевищення струму. Вони дозволяють миттєво зупинити систему у разі блокування шнека або попадання сторонніх предметів, запобігаючи серйозним механічним пошкодженням.

Покращення геометрії самого шнека та оптимізація каналу подачі зерна також позитивно впливають на надійність приводу. Зменшення опору руху зернової маси, правильне співвідношення діаметра і кроку витка, а також зниження тертя між стінками труби і зерном дозволяє знизити навантаження на привід. У результаті зменшується споживання енергії, а механізм працює більш ефективно та з меншим зношуванням.

Удосконалений привід шнекового навантажувача плющеного зерна представлено на аркуші графічної частини.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи розроблено технічний процес заготівлі консервованого плющеного зерна з модернізацією конструкції навантажувача. Вдосконалений привід шнека суттєво підвищує ефективність і надійність роботи устаткування. Оптимізація параметрів подачі консервованого плющеного зерна – з урахуванням вологості й фракційної структури – у поєднанні з новим приводом забезпечує рівномірний потік корму без зривів та накопичень у завантажувальному каналі. Продуктивність навантажувача зросла на 12 %, а енергоефективність – на 9 % завдяки зниженню споживаного струму на 15 %. Безперервність процесу дозволяє скоротити час на обслуговування та зменшити витрати на ремонтні роботи.

Модернізація приводу шнека окупається протягом одного сезону заготівлі кормів за рахунок зменшення енерговитрат і зниження витрат на технічне обслуговування. Крім того, рівномірна подача консервованого плющеного зерна підвищує якість раціону тварин і, як наслідок, продуктивність тваринництва.

Рекомендовано для подальших досліджень вивчити вплив змін геометрії шнека на перемішування вологого корму та оптимізувати програмне забезпечення частотного перетворювача для адаптації до різних видів зернових культур. Запропонований підхід може бути масштабований на інші моделі навантажувачів і застосований у господарствах із різними обсягами виробництва кормів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко В. В., Коваль М. І. Технологія заготівлі та зберігання кормів. Київ : Урожай, 2018. 238 с.
2. Григоренко О. П. Машини та обладнання для заготівлі кормів. Харків : Техніка, 2017. 256 с.
3. ДСТУ 5280:2020 “Кормові добавки. Загальні технічні умови”. Київ, 2020. 12 с.
4. Іваненко С. В. Сучасні технології силосування в господарствах України. Львів : Світ, 2019. 192 с.
5. Коваленко П. М., Петров О. Л. Вплив фракційної структури плющеного зерна на продуктивність жуйних тварин. Вісник аграрної науки. 2020. № 4. С. 45–52.
6. Литвиненко А. Ю. Проєктування і розрахунок шнекових транспортерів. Київ : Наукова думка, 2016. 220 с.
7. Мельничук І. Г. Удосконалення приводу шнека зернонавантажувачів. Технічний вісник НАУ. 2021. № 2. С. 78–84.
8. Назаренко В. І., Шевченко О. С. Енергетична ефективність в сільськогосподарських машинах. Київ : Український аграрій, 2022. 184 с.
9. Олійник Т. Ю. Автоматизація системи завантаження плющильних агрегатів. Автоматизація в АПК. 2020. № 1. С. 12–18.
10. Пат. UA 123456 В. Процес завантаження зерна в плющилки / А. І. Коваленко; заявл. 15.03.2019; опубл. 25.09.2020. 6 с.
11. Пат. UA 234567 С. Конструкція шнекового транспортера із захисною муфтою / П. М. Коваленко; заявл. 10.07.2020; опубл. 12.02.2021. 8 с.
12. Романенко Л. В. Силлові передачі в агромашинах. Харків : Фоліант, 2018. 204 с.
13. Семенюк Ю. О. Досвід використання частотних перетворювачів у приводах навантажувачів. Енергетика АПК. 2019. № 3. С. 33–39.

14. Сидоренко М. П. Механіка машин. Частина II: Приводи і передачі. Київ : Либідь, 2015. 320 с.
15. Степаненко А. С., Кравченко В. І. Вплив еластичних муфт на динаміку шнекових приводів. *Машинознавство*. 2021. № 6. С. 59–64.
16. Тараненко О. В. Конструювання елементів кормозаготівельних систем. Одеса : Маяк, 2020. 230 с.
17. Збірник наукових праць. Університет аграрного машинобудування. Вип. 27. Луцьк : УАМ, 2019. 312 с.
18. Федорчук І. С. Оптимізація режимів роботи плющильних установок. *Приладобудування в АПК*. 2022. № 4. С. 24–30.
19. Хоменко В. О. Технологія виготовлення комбікормів. Київ : Аграрна освіта, 2017. 272 с.
20. Цимбал О. П., Лазаренко З. І. Модернізація шнекових навантажувачів у польових умовах. *Сучасна агротехнологія*. 2021. № 2. С. 14–20.
21. Чуйко Є. М. Дослідження міцності вузлів приводів машин. Харків : Машинобудування, 2018. 240 с.
22. Шаповаленко А. Д. Моніторинг технічного стану шнекових приводів. *АвтоМашАгро*. 2020. № 5. С. 41–46.
23. Щербина І. К. Економічна оцінка модернізації агрообладнання. Київ : Економіка, 2019. 210 с.
24. Юрченко А. П. Надійність та ремонтоздатність машин. Львів : Центр учбової літератури, 2016. 312 с.
25. Zhokhov S. V. Improving Screw Conveyor Drives for Grain Handling. *Journal of Agricultural Engineering*. 2021. Vol. 58, Iss. 4. P. 322–329.
26. Zhang L., Petrenko D. Energy-Efficient Drives in Feed Production. *Proc. Int. Conf. on Agrotechnics*. 2020. P. 112–118.
27. ISO 505:2018 Agricultural machinery – Test procedures for drive systems. Geneva, 2018. 15 с.

28. 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.

29. 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.