

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

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

до дипломного проекту  
ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Підвищення ефективності процесу заготівлі силосу шляхом  
модернізації кормозбирального комбайна**

**Виконав:** студент 3 скороченого курсу, групи АІС-2-23  
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Олександр АККУЗІН

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Наталія ПОНОМАРЕНКО

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ТСГМ \_\_\_\_\_.

(назва кафедри)

доцент \_\_\_\_\_.

(вчене звання)

Теслюк Г.В. \_\_\_\_\_

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Олександр Віталійович Аккузін

. (прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Підвищення ефективності процесу заготівлі силосу шляхом модернізації кормозбирального комбайна

керівник роботи Пономаренко Наталія Олександрівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«05» травня 2026 року № 912

**2. Строк подання студентом роботи** 30.05.2026 р.

**3. Вихідні дані до проєкту** Огляд стану питання в галузі рослинництва, існуючих засобів для заготівлі кормів та доподрібнення зерна. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Характеристика виробничої діяльності господарства. 2. Огляд конструкції кормозбиральних комбайнів та пристроїв для доподрібнення зерна.

3. Теоретична частина. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка розробки. Висновки та пропозиції. Бібліографічний список.

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)**

**1. Огляд конструкцій машин для внесення мінеральних добрив. 2. Кормозбиральний комбайн 3. Доподрібнювальний пристрій (Рекатер) 4. Креслення деталей (піддон, боковина, бич лівий, кутник). 5. Техніко-економічні показники.**

**6. Консультанти розділів проекту**

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| 1      | Пономаренко Н.О., доцент                  |                |                  |
| 2      | Пономаренко Н.О., доцент                  |                |                  |
| 3      | Пономаренко Н.О., доцент                  |                |                  |
| 4      | Пономаренко Н.О., доцент                  |                |                  |
| 5      | Пономаренко Н.О., доцент                  |                |                  |
|        |                                           |                |                  |

**7. Дата видачі завдання: 04.03.2024 р.**

### **КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту | Строк виконання етапів роботи | Примітка       |
|-------|---------------------------------|-------------------------------|----------------|
| 1     | Аналітичний (оглядовий)         | до 24.03.2026 р.              | <b>Виконав</b> |
| 2     | Технологічний                   | до 15.04.2026 р.              | <b>Виконав</b> |
| 3     | Конструкційний                  | до 04.05.2026 р.              | <b>Виконав</b> |
| 4     | Охорона праці                   | до 13.05.2026 р.              | <b>Виконав</b> |
| 5     | Економічний                     | до 22.05.2026 р.              | <b>Виконав</b> |
| 6     | Графічна частина                | до 30.05.2026 р.              | <b>Виконав</b> |

**Студент**

\_\_\_\_\_  
( підпис )

**Аккузін О.В.**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_  
( підпис )

**Пономаренко Н.О.**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)



## АНОТАЦІЯ

Аккузін О.В. Підвищення ефективності процесу заготівлі силосу шляхом модернізації кормозбирального комбайна / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро 2026.

У першій частині представлена виробничо-господарська характеристика ТОВ «Хлистун», розглянуто основні техніко-економічні показники підприємства та обґрунтовано тему проекту.

У другому розділі проаналізовано особливості конструкції кормозбиральних комбайнів і пристроїв для доподрібнення зерна.

В теоретичній частині визначено витрати енергії на заготівлю силосу та розраховано технологічні параметри доподрібнювального пристрою.

Четвертий розділ присвячений стану охорони праці на підприємстві та заходам з його покращення.

В останньому розділі оцінено економічну ефективність впровадження удосконаленої машини у порівнянні з базовою моделлю.

КОРМОЗБИРАЛЬНИЙ КОМБАЙН, СИЛОС, ПОДРІБНЕННЯ, ТОВ «ХЛИСТУН»

## ЗМІСТ

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                   | 7  |
| 1. ВИРОБНИЧО-ГОСПОДАРСЬКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТОВ «ХЛИСТУН»..                     | 7  |
| 1.1. Загальна характеристика господарства.....                               | 8  |
| 1.2. Ґрунтово-кліматичні показники для ведення господарської діяльності..... | 9  |
| 1.3. Матеріально-технічна база господарства .....                            | 9  |
| 1.4. Обґрунтування теми дипломного проекту .....                             | 14 |
| 2. КОРМОЗБИРАЛЬНІ КОМБАЙНИ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ ДОПОДРІБНЕННЯ<br>ЗЕРНА.....         | 16 |
| 2.1 Опис технологічного процесу заготівлі силосу .....                       | 16 |
| 2.2 Огляд існуючих конструкцій комбайнів.....                                | 18 |
| 2.3 Огляд технічних засобів для доподрібнення зерна .....                    | 30 |
| 3. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЯКІСНОГО ДОПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА .....                  | 37 |
| 3.1 Характеристика кормозбирального комбайна .....                           | 37 |
| 3.2 Затрати енергії на заготівлю силосу воскової стиглості.....              | 42 |
| 3.3 Розрахунок зірочок ланцюгових передач .....                              | 48 |
| 3.4 Розрахунок ланцюгової передачі привода подрібнювального барабана ...     | 53 |
| 3.5 Розрахунок на міцність основних деталей подрібнювального барабана...     | 56 |
| 3.6 Вибір параметрів рифового рекатера.....                                  | 60 |
| 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....                                                        | 64 |
| 4.1 Аналіз стану охорони праці .....                                         | 64 |
| 4.2 Охорона праці механізаторів при збиранні кукурудзи на силос.....         | 65 |
| 4.3 Рекомендації по покращенню умов охорони праці.....                       | 67 |
| 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА .....                                           | 68 |
| ВИСНОВКИ .....                                                               | 75 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....                                         | 77 |
| ДОДАТКИ .....                                                                | 80 |

## ВСТУП

В умовах сучасних трансформацій аграрного сектору — реструктуризації господарств, зміни форм власності та впровадження ринкових механізмів — особливої актуальності набуває підвищення ефективності організації виробничих процесів, їх комплексна механізація та автоматизація задля випуску конкурентоспроможної продукції за оптимальною ціною.

Протягом останнього періоду спостерігається уповільнення темпів розвитку аграрної галузі, особливо у тваринницькому секторі, який відрізняється високою трудомісткістю та складністю виробничих процесів. Нині ця галузь працює збитково через брак необхідних капіталовкладень. Досягнення рентабельності можливе за умови комплексного вирішення ключових завдань: селекційна робота з формування високопродуктивного стада; модернізація та спорудження тваринницьких об'єктів згідно із сучасними стандартами; створення повноцінної кормової бази; комплексна механізація всіх технологічних операцій.

Щорічна потреба вітчизняного тваринництва становить близько 120 млн тонн кормових одиниць (або 250 млн тонн кормів), що дорівнює приблизно половині загальних витрат ресурсів у сільському господарстві. Фактично заготовляється лише 60–70% від необхідного обсягу, причому значна частина кормів має незадовільні якісні показники. Це призводить до того, що продуктивність худоби в Україні у 2–3 рази поступається показникам розвинених країн. Забезпеченість галузі технікою для заготівлі кормів не перевищує 50%, а обладнанням, здатним гарантувати належну якість продукції, — ще менше.

У цій дипломній роботі запропоновано удосконалення технології заготівлі силосу з кукурудзи пізніх стадій дозрівання шляхом модернізації різального механізму кормозбирального комбайна.

# 1. ВИРОБНИЧО-ГОСПОДАРСЬКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТОВ «ХЛИСТУН»

## 1.1. Загальна характеристика господарства

ТОВ «Хлистун» — сільськогосподарське підприємство, засноване у 2017 році. Господарство розташоване у селі Новоолександрівка Синельниківського району Дніпропетровської області. Керівником товариства є Хлистун Юрій Олексійович — досвідчений фахівець, який працює в аграрній галузі понад 25 років. Виробнича діяльність підприємства охоплює території трьох населених пунктів: Новоолександрівки, Дніпровського та Березнуватки. (рис. 1.1).

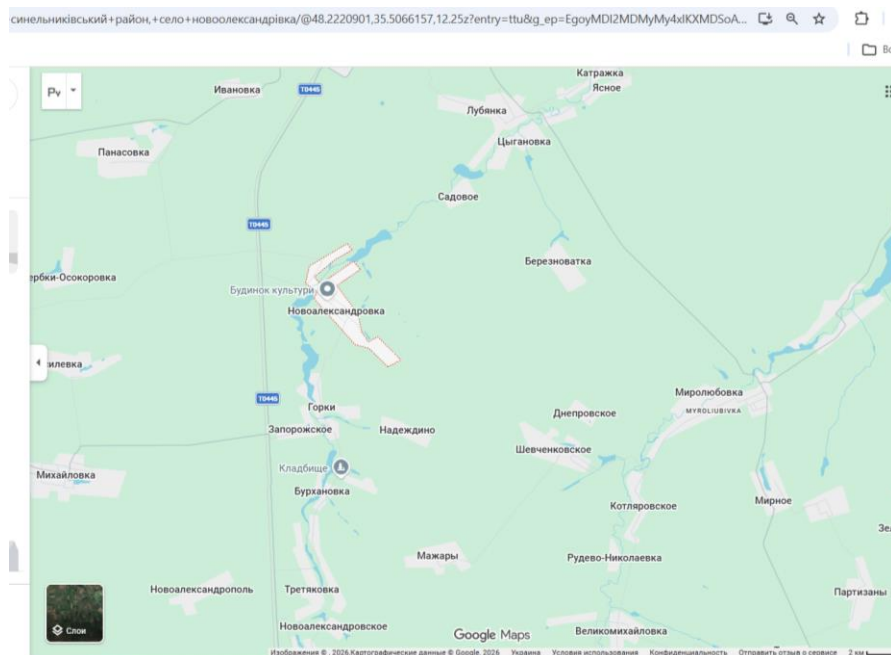


**Рис. 1.1. Місце знаходження господарства на карті**

На сьогодні ТОВ «Хлистун» належить до числа успішних аграрних підприємств Дніпропетровської області та обробляє 1000 гектарів сільськогосподарських угідь.

Господарство спеціалізується на таких напрямках діяльності:

- рослинництво: вирощування зернових, технічних культур та інших сільськогосподарських рослин;
- надання послуг стороннім аграрним підприємствам і приватним особам — обробіток ґрунту, вирощування, збирання врожаю та первинна переробка продукції;
- інша виробничо-господарська діяльність відповідно до профілю підприємства.

Транспортна інфраструктура господарства представлена мережею доріг із твердим покриттям, що забезпечує надійне сполучення між адміністративними центрами, пунктами матеріально-технічного постачання та точками реалізації продукції.

## **1.2. Ґрунтово-кліматичні показники для ведення господарської діяльності**

Територія, на якій функціонує ТОВ «Хлистун», належить до лісостепового агрокліматичного району України. Цей регіон вирізняється м'яким кліматом із збалансованим розподілом тепла та вологи протягом року.

Атмосферні опади в середньому за рік досягають 530–550 мм. Їх розподіл нерівномірний: пік припадає на початок літа — червень та липень, коли випадає 70–76 мм, тоді як у зимові місяці (січень-лютий) цей показник знижується до 26–28 мм. Щодо вітрового режиму: весняний період характеризується домінуванням східних повітряних мас, а літній — західних і північно-західних.

Термічні ресурси регіону достатні для вирощування більшості сільськогосподарських культур. Зокрема, кількість днів із середньодобовою температурою вище +8°C перевищує 200, а період зі стабільною температурою +15°C і більше триває понад 130 діб. Температурний мінімум фіксується в січні-лютому, максимум — у липні. Згідно з багаторічними метеорологічними

даними, активна вегетація триває 200–210 діб, а сума ефективних температур коливається в межах 2800–3000°C.

Флора регіону типова для лісостепу: широколистяні ліси з розвиненим трав'янистим ярусом чергуються з ділянками лучно-степової рослинності.

Ґрунтовий покрив господарства досить різноманітний. Домінують сірі лісові ґрунти з ознаками опідзолення, що є типовими для даної природної зони. Крім того, зустрічаються масиви дерново-підзолистих ґрунтів, а також опідзолених і вилугуваних чорноземів.

Генезис сірих опідзолених ґрунтів пов'язаний із впливом широколистяної деревної рослинності та поєднанням двох ґрунтоутворюючих процесів — підзолистого й дернового. Специфіка місцевих умов полягає у відносно слабкому прояві підзолоутворення та більш активному накопиченні гумусу. Порівняно з дерново-підзолистими відмінами, ці ґрунти мають потужніший гумусовий профіль (15–35 см), близьку до нейтральної кислотність (рН 5–7,5), виражену грудкувату структуру та підвищений вміст органіки (2–4,5%).

Класифікація сірих лісових ґрунтів базується на інтенсивності підзолоутворення, глибині гумусованого шару та концентрації органічної речовини. Виділяють три різновиди:

Світло-сірий підтип відзначається найвираженішим опідзоленням. Гумусовий горизонт неглибокий — лише 15–20 см, органіки міститься 2–2,5%. Ці ґрунти мають підвищену кислотність, бідні на елементи живлення, характеризуються нестійкою структурою та схильністю до переущільнення.

Власне сірі лісові ґрунти, які становлять основу земельного фонду господарства, сформувались за умов інтенсивнішого гумусонакопичення. Глибина темнозабарвленого шару сягає 20–30 см, концентрація гумусу — 3–3,5%. З агрономічного погляду вони значно цінніші за світло-сірі відміни.

Темно-сірий підтип за морфологією та властивостями максимально наближений до чорноземів. Потужність гумусового профілю становить 30–35 см, вміст органіки досягає 4–4,5%.

Комплекс агротехнічних заходів для покращення продуктивності сірих лісових ґрунтів передбачає: збільшення глибини обробітку, регулярне застосування органічних та мінеральних добрив, хімічну меліорацію шляхом вапнування, введення багаторічних трав у сівозміну та реалізацію протиерозійних заходів.

Підсумовуючи, агрокліматичний потенціал господарства можна оцінити як високий. Наявні природні умови створюють передумови для успішного культивування широкого спектру рослин, включаючи цукрові буряки. Водночас слід враховувати ризик ускладнення збиральних робіт у роки з аномально високою кількістю опадів.

### **1.3. Матеріально-технічна база господарства**

Площа землі, що знаходиться у власності господарства складає 1000 га. Структура земельних угідь господарства наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

**Структура земельних угідь**

| <b>Назва угідь</b>              | <b>Площа, га</b> | <b>Структура, %</b> |
|---------------------------------|------------------|---------------------|
| Загальна площа                  | 1000             | 100                 |
| Всього с/г угідь, в тому числі: | 1000             | 100                 |
| - ріллі                         | 720              | 72                  |
| - сінокоси і пасовища           | 280              | 28                  |

З усієї сільськогосподарської продукції, що вирощує господарство, основна увага приділяється вирощуванню озимих культур – жита і пшениці. В господарстві не вирощують кожного року всі культури, а включають певні культури в структуру вирощування тоді, коли знаходять покупця на ще не

вирощений врожай. Структура посівних площ ТОВ «Хлистун» приведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2.

**Структура посівних площ ТОВ «Хлистун»**  
(середнє по рокам)

| Культура      | Площа, га | Врожайність, ц/га | Валовий збір, ц |
|---------------|-----------|-------------------|-----------------|
| Озиме жито    | 30        | 43,4              | 1299            |
| Озима пшениця | 270       | 28,5              | 7695            |
| Ячмінь        | 50        | 41,2              | 2060            |
| Яра пшениця   | 50        | 39,8              | 1990            |
| Гречка        | 250       | 8,1               | 2025            |
| Соняшник      | 200       | 23,4              | 4680            |
| Льон          | 150       | 19,1              | 2865            |

Порівняно з іншими аграрними підприємствами регіону, ТОВ «Хлистун» має достатній рівень технічного оснащення. Наявний машинно-тракторний парк за умови раціональної організації робочих процесів та дотримання правил експлуатації дозволяє виконувати весь комплекс польових робіт у визначені агротехнічні строки та на належному якісному рівні. Склад технічного парку господарства наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3.

**Часткова наявність МТП і сільськогосподарських машин**  
**ТОВ «Хлистун»**

| Марка               | Кількість |
|---------------------|-----------|
| <b>Комбайни</b>     |           |
| Claas Jaguar 840    | 2         |
| <b>Трактори</b>     |           |
| JOHN DEERE 8530     | 2         |
| MTЗ-1021            | 5         |
| ХТЗ – 150-05-09     | 5         |
| <b>Культиватори</b> |           |
| Lemken Gigant 800   | 2         |
| УСМК-5,4            | 3         |
| КПС-4               | 4         |
| <b>Луцильник</b>    |           |
| ЛДГ-15              | 2         |
| <b>Плуги</b>        |           |
| ПЛН-4-35            | 4         |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| ПЛН-5-35                           | 1   |
| <b>Сівалки</b>                     |     |
| Horsch                             | 2   |
| ССТ-12Б                            | 2   |
| СЗ-3.6                             | 4   |
| <b>Борони</b>                      |     |
| Sunflower                          | 1   |
| БДТ – 7                            | 3   |
| БЗСС-1,0                           | 115 |
| <b>Зчіпки</b>                      |     |
| С – 11                             | 2   |
| <b>Косарки</b>                     |     |
| KUHN FC302 RG                      | 2   |
| КПС – 5Г                           | 1   |
| <b>Оприскувачі</b>                 |     |
| ОПШ-2000-18                        | 2   |
| <b>Граблі</b>                      |     |
| ГВК-6А                             | 7   |
| <b>Розкидач мінеральних добрив</b> |     |
| SBS                                | 1   |

У порівнянні з іншими сільськогосподарськими підприємствами ТОВ «Хлистун» демонструє стабільний фінансовий стан і не має боргових зобов'язань перед державним бюджетом. У господарстві налагоджено ефективну систему збуту вирощеної продукції та забезпечено безперебійне постачання паливно-мастильних матеріалів і запасних частин. З метою підвищення виробничо-економічної ефективності підприємство інвестує в придбання сучасної імпоротної техніки, яка відзначається вищою продуктивністю та надійністю. У періоди пікових навантажень — під час обробки ґрунту, збиральної кампанії тощо — господарство за потреби залучає орендовані машини для своєчасного та якісного виконання робіт.

Наразі ТОВ «Хлистун» функціонує стабільно та демонструє позитивну динаміку виробничих і економічних показників, попри загальні кризові явища в аграрному секторі країни.

Підприємство володіє власною паливною базою, що збереглася ще з попередніх періодів. Заправлення техніки здійснюється централізовано — спеціальний працівник подає пальне зі складу через роздавальний шланг. Водночас останнім часом дедалі частіше практикується заправлення машин на сторонніх АЗС — як державних, так і приватних — через періодичний дефіцит палива на власному складі. Така ситуація негативно позначається на оперативності та злагодженості виробничих процесів господарства.

#### **1.4. Обґрунтування теми дипломного проекту**

Аграрний сектор відіграє ключову роль в економічній системі більшості держав світу, гарантуючи продовольчу незалежність та сталий розвиток сільських територій. Одним із визначальних чинників успішного функціонування тваринницьких ферм є забезпечення поголів'я повноцінними кормами. Серед заготовлюваних кормів особливе місце посідає силос — консервований корм, здатний тривалий час зберігати високу поживну цінність.

Оптимізація процесів силосування залишається пріоритетним напрямом для зростання рентабельності тваринницької галузі. Удосконалення виробничих операцій разом із технічним переоснащенням машин дає змогу скоротити собівартість, покращити характеристики готового корму та гарантувати ритмічність заготівельних робіт. Оновлення конструкції кормозбиральної техніки позитивно впливає на якість подрібнення маси, мінімізує кормові втрати й підвищує експлуатаційну продуктивність агрегатів.

Мета цього дипломного проекту полягає у створенні та практичному застосуванні вдосконаленої методики силосування із залученням модернізованої кормозбиральної машини.

Очікувані результати роботи передбачають формування оновленого технологічного підходу до заготівлі силосу, що забезпечить збереження максимальної кількості поживних компонентів, інтенсифікацію робочого циклу та стабільно високі якісні параметри корму. Конструктивні зміни в кормозбиральному комбайні сприятимуть зростанню його робочих показників, економії коштів на технічне обслуговування й експлуатацію, а також створенню комфортніших умов для механізаторів.

Вдосконалення методики консервування зеленої маси разом із технічною модернізацією збиральних агрегатів є вагомим внеском у підвищення результативності тваринницьких підприємств. Запровадження інноваційних рішень та оновлення машинного парку уможлиблює досягнення високих виробничих результатів у сфері кормозаготівлі, що позитивно впливає на продуктивність худоби та загальну стійкість аграрної економіки.

Представлений дипломний проект має прикладну цінність для агропідприємств і може слугувати базою для наступних наукових розвідок та впровадження передових технологій у галузі виробництва кормів.

## **2. КОРМОЗБИРАЛЬНІ КОМБАЙНИ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ ДОПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА**

### **2.1 Опис технологічного процесу заготівлі силосу**

Силос належить до універсальних видів кормів і являє собою продукт консервування свіжоскошеної або підв'яленої рослинної маси. Процес силосування відбувається за відсутності доступу кисню із застосуванням хімічних консервантів або без них.

Цей вид корму слугує для тварин цінним джерелом вітамінів, вуглеводів, білкових сполук та інших есенціальних нутрієнтів. Ознакою якісно приготованого силосу є переважання молочної кислоти над оцтовою у співвідношенні 2:1 — 3:1.

Технологічний процес силосування передбачає такі операції: скошування зеленої маси, її подрібнення кормозбиральним комбайном та завантаження у транспортні засоби для перевезення до місця закладання.

На якісні характеристики готового силосу впливає комплекс чинників: вологість вихідної сировини, конструктивні особливості та габарити силососховищ, метеорологічні умови під час збиральних робіт, фракційний склад подрібненої маси, інтенсивність заповнення сховища та темпи вибирання корму.

У країнах із розвиненим тваринництвом спостерігається стрімке зростання обсягів виробництва кукурудзяного силосу, переважно завдяки підвищенню врожайності цієї культури. Силосована маса з кукурудзи, зібраної у фазі воскової стиглості зерна, характеризується підвищеною енергетичною цінністю та кращою засвоюваністю організмом тварин.

Ступінь подрібнення кукурудзяної маси при виготовленні різних видів кормів є одним із ключових параметрів, що визначає споживчі властивості кінцевого продукту.

Вимоги до якості подрібнення кукурудзи формуються під впливом низки факторів, серед яких основними є: фізико-механічні характеристики та біологічний стан рослинної сировини; параметри подрібнення зернової та вегетативної частин рослин з урахуванням фізіологічних особливостей травлення у тварин; режими зберігання заготовленого корму; технічні можливості збиральних машин щодо забезпечення заданих технологічних параметрів.

Науково обґрунтовані рекомендації та зоотехнічні нормативи щодо якості подрібнення кукурудзи воскової стиглості за різних технологій заготівлі, а також оптимальні діапазони довжини різання, визначені на основі теоретичних розрахунків для конструювання подрібнювальних вузлів кормозбиральної техніки, систематизовано у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

**Вимоги і рекомендації по якості подрібнених кормів із кукурудзи**

| Вид корму                     | Рекомендації літературних джерел                            |                                                   | Зоовимоги                                                             |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                               | вітчизняних                                                 | закордонних                                       |                                                                       |
| Листостеблова маса з качанами | 80% часток до 15мм                                          | Довжина різки 4- 16мм. Менша при нижній вологості | 75-80% часток до 30мм не більше 5% цілого зерна                       |
| Качани з обгортками           | 1-2мм, 80% часток до 3-4мм. Цілого зерна до 5%              | -                                                 | 65-70% часток до 4мм. Цілого зерна не допускається                    |
| Зернострєжнева суміш          | Не менше 60-65% часток до 2мм. Цілого зерна не допускається | Не менше 80% часток до 2мм                        | 70% часток до 3 мм, з них 50-55% до 2мм. Цілого зерна не допускається |

Досягнення високого рівня засвоюваності корму та забезпечення оптимальних умов його зберігання потребує ретельного подрібнення рослинної маси, насамперед зернової фракції. Дотримання цієї вимоги мінімізує непродуктивні втрати зерна під час годівлі худоби. У великої рогатої худоби коефіцієнт засвоєння зернової частини становить 44% та 55% при вмісті сухої речовини відповідно 33,4% та 55,8%. При загальній вологості рослини з початками на рівні 65% засвоюється лише близько 30% від загальної кількості неподрібненого зерна.

Нижня межа фракційного складу вегетативної маси для годівлі великої рогатої худоби визначається фізіологічними особливостями функціонування травної системи тварин — надмірно дрібне подрібнення може спричинити порушення роботи шлунково-кишкового тракту та, як наслідок, зниження продуктивності поголів'я. Незважаючи на певну неоднозначність наукових даних щодо оптимального ступеня подрібнення зерна силосної кукурудзи, параметри фракціонування різних частин рослини залежно від фази їх розвитку мають максимально відповідати вимогам повного засвоєння корму організмом тварин та забезпечувати мінімальні втрати під час зберігання.

Для забезпечення якісного подрібнення рослинної маси з мінімальними енерговитратами слід щоденно перед початком польових робіт виконувати загострення різальних елементів подрібнювального барабана за допомогою штатного заточувального механізму комбайна.

## **2.2 Огляд існуючих конструкцій комбайнів**

Кормозбиральний комбайн Big X (рис. 2.1.) призначений для збирання кукурудзи, соняшнику та інших культур. Він складається із жатки з ріжучим апаратом, подавальних вальців, подрібнювального барабану, силосопроводу, механізмів приводу робочих органів, гідросистеми.



**Рис. 2.1. Кормозбиральний комбайн Big X (Krone)**

Кормозбиральні комбайни серії BiG X завдяки застосуванню передових інженерних рішень відповідають постійно зростаючим вимогам до продуктивності та якості заготовлюваного корму. Конструкція машини включає живильні вальці та подрібнювальні барабани з варіативною кількістю різальних елементів і можливістю регулювання частоти обертання, що дозволяє точно налаштовувати параметри довжини різання. Висока пропускна спроможність агрегата забезпечується підпружиненою нижньою панеллю барабанного відсіку та оптимізованим зазором задньої стінки викидного пристрою, що гарантує безперервний рух подрібненої маси.

Габаритні параметри барабанів, спроектованих спеціально для даного типу комбайнів, у поєднанні з раціонально підбраною кількістю ножів дають змогу не лише підвищити експлуатаційну продуктивність машини, але й розширити діапазон її технологічного застосування.

Різальні елементи розміщені V-подібно та здійснюють подрібнення під кутом  $11^\circ$  відносно протирізальної пластини.

Самохідний кормозбиральний комбайн John Deere (рис. 2.2) призначений для збирання кукурудзи та інших високостеблових культур, скошування зеленої трав'яної маси, а також підбирання підв'ялених валків із сіяних і природних трав'яних угідь із одночасним подрібненням та навантаженням у транспорт.



**Рис. 2.2. Кормозбиральний комбайн John Deere**

Конструкція самохідної частини комбайна включає такі основні вузли: живильний механізм, подрібнювальний апарат, пристрій доподрібнення, прискорювач для викидання маси, силосопровідний канал, автоматизований механізм загострення ножів барабана та система автоматичного встановлення зазору між протирізальною пластиною та робочим барабаном.

Кормозбиральна техніка John Deere комплектується підбирачами із шириною захвату 3, 4 та 4,5 метра. При роботі з трав'янистими культурами, зокрема люцерною, саме пропускна спроможність підбирального механізму часто стає лімітуючим фактором. Для вирішення цієї проблеми інженерами було розроблено спеціальну конфігурацію шнекового витка (технологія Vortex),

яка забезпечує рівномірніше надходження маси, краще завантаження бічних зон живильних вальців і, відповідно, різального барабана. Підбирач випускається у двох модифікаціях за рівнем зносостійкості — стандартній та посиленій Heavy Duty (HD), призначений для роботи з щільними валками.

Для збирання кукурудзи застосовуються дві лінійки жаток суцільного зрізування: Kemper 300+ та Kemper 400+, які відрізняються габаритами ротаційних барабанів. Модельний ряд 300+ придатний також для збирання тонкостеблових культур — жита, вики, вівса тощо. Для таких культур додатково пропонується спеціалізована жатка Zurn ProfiCut (із захватом 5,3 та 7 м), що забезпечує вищу якість зрізування.

Скошена маса надходить із жатки до системи подавання, що складається з двох пар вальців. У передньому нижньому вальці інтегровано металодетектор та один із сенсорів системи виявлення каміння. Загалом система захисту від каміння базується на двох датчиках: Nock-Sensor у передньому нижньому вальці, що реагує на характерний звук удару каменів об металеву поверхню, та сенсор на важелі верхньої рухомої пари вальців, який фіксує занадто швидке їх підняття як ознаку можливої присутності каменя. При спрацюванні будь-якого з детекторів живильні вальці зупиняються протягом 80 мілісекунд. Різальний барабан через значно більші габарити та масу потребує довшого часу для зупинки.

Система подрібнення базується на різальному барабані з чотирма рядами ножів. Кількість різальних елементів може становити 40, 48, 56 або 64 одиниці. Залежно від комплектації діапазон довжини різання при повному наборі ножів становить від 3 до 26 мм. Передбачена можливість встановлення половинного комплекту ножів, що дозволяє одній машині задовольняти потреби господарств із різними вимогами до фракційного складу подрібненої маси.

На барабані використовуються два типи різальних елементів — для трави та для кукурудзи. Загострення здійснюється за допомогою точильного бруска при зворотному обертанні барабана, що забезпечує рівномірне заточування по всій довжині різальної кромки. Після кожного загострення необхідно регулювати положення протирізальної пластини — це гарантує високу якість зрізу та зменшує втрати потужності на процес різання.

Зерноподрібнювач представлений у двох варіантах зносостійкості. Стандартна версія забезпечує різницю швидкостей обертання вальців до 32%, посилена — до 40%. Для досягнення оптимальної якості подрібнення передбачено регулювання частоти обертання через заміну шківів та налаштування міжвальцевого зазору. Для зручності монтажу та демонтажу зерноподрібнювача комбайн оснащено поворотною системою з електроприводом лебідки, що дає змогу оператору виконувати ці операції самостійно.

Прискорювач викидання маси у комбайнах John Deere оснащено п'ятьма парами лопаток із частотою обертання 1800 об/хв. Вивантажувальний силосопровід стандартної довжини розрахований на роботу із 6-метровою жаткою; для жаток 7,5 та 9 м передбачено встановлення подовжувача. Опціонально пропонується система автоматичного заповнення кузова AFC (Active Fill Control). При під'їзді транспортного засобу стереокамера визначає контури кузова та розпочинає заповнення за обраним алгоритмом: від задньої частини до передньої, навпаки або за іншою схемою. Система безперервно контролює рівень завантаження, а оператор може обирати ступінь заповнення для оптимальних умов транспортування.

На рамі самохідної частини змонтовано силову установку з дизельним двигуном John Deere, паливний резервуар об'ємом 700 або 1100 літрів та кабінку оператора. Комбайн може оснащуватися механізмом автоматичного контролю

висоти зрізування та системою захисту подрібнювального барабана від сторонніх предметів.

Машина оснащена комплексом високотехнологічних систем: HarvestLab, AutoLOC, HarvestDOC, AutoTrac та ProDrive.

Система HarvestDOC забезпечує безперервну фіксацію ключових параметрів збирання (урожайність, витрати пального, тривалість роботи тощо), що дає змогу формувати карти врожайності, визначати координати та площі полів.

Система автоматичного водіння AutoTrac гарантує точне виконання прямолінійних проходів незалежно від умов видимості.

Система HarvestLab у режимі реального часу відображає показники вмісту сухої речовини в подрібненій масі та передає дані до системи AutoLOC, яка автоматично коригує довжину різання відповідно до вологості рослин.

Трансмсія ProDrive забезпечує впевнену прохідність машини на схилах та перезволожених ділянках. Комбайн обладнано пультом керування, що надає оператору повну інформацію про функціонування всіх робочих вузлів.

Кормозбиральний комбайн КЗК-4,2 (рис. 2.3) призначений для скошування зеленої трави, підбирання валків підв'яленої маси, збирання кукурудзи та інших високостеблових культур із одночасним подрібненням та завантаженням у транспортні засоби.

Функцію адаптера виконує жатка, призначена для скошування трав'янистих культур та кукурудзи. Конструкцією машини передбачено встановлення системи виявлення сторонніх предметів. Начіпний механізм забезпечує копіювання рельєфу поля, що мінімізує втрати врожаю внаслідок надмірної висоти зрізу.

Кабіна оператора оснащена багатофункціональним важелем керування робочими органами та системою кондиціонування повітря. На замовлення споживача комбайн може додатково комплектуватися засобами радіозв'язку, пристроями унікререр або рекатер, а також жаткою для укладання скошеної маси у валки. Усе це забезпечує зручність управління машиною, простоту налаштування робочих параметрів та комфортні умови роботи для оператора.



**Рис. 2.3 – Загальний вигляд комбайна КЗК-4,2 «Борекс»**

Адаптером слугує жатка, призначена для зрізування трав'яних культур та кукурудзи. Конструктивно машина оснащена детектором для виявлення сторонніх предметів. Навісна система здійснює копіювання мікрорельєфу поля, що дозволяє зменшити втрати врожаю через надмірно високий зріз.

Робоче місце оператора обладнане універсальним важелем управління виконавчими механізмами та кліматичною установкою. За бажанням замовника комбайн може бути доукомплектований радіозв'язком, пристроями унікререр чи рекатер, а також жаткою для формування валків зі скошеної маси. Такий набір опцій забезпечує ергономічність керування, легкість проведення налаштувань та створює комфортні робочі умови для механізатора.

Робоча ширина захвату агрегата становить 4,2 м, пропускна здатність при роботі з травою — 45 т/год, з кукурудзою — 90 т/год, загальна продуктивність — від 30 до 90 т/год.

Кормозбиральний комбайн Е-281 «Maral-125» (рис. 2.4) використовується для скошування зернових, підбирання підв'яленої трав'яної маси, збирання кукурудзи та інших культур, вирощених як широкорядним способом, так і суцільним посівом.



**Рис. 2.4 – Загальний вигляд комбайна «Maral-125»**

Технологічний процес роботи комбайна відображено на схемі (рис. 2.5). Живильний механізм забезпечує рівномірне надходження збираної культури завдяки системі з восьми подавальних та підпресувальних вальців. Нижній живильний валець 2 оснащений металодетектором, а верхній підпресувальний 3 — датчиком виявлення інших сторонніх включень, що захищає робочі органи машини від пошкоджень.

Подрібнювальний барабан 4, на якому по всій робочій довжині розміщено дванадцять ножів, у поєднанні з пасивною системою повторного подрібнення гарантує високу якість переробки рослинної маси, що надходить. Для додаткового подрібнення передбачена можливість встановлення комбінованого піддона підбарабання зі змінним днищем-теркою або компактного піддона з функцією плющення зерен кукурудзи.

Завдяки дозувальному пристрою 5 для внесення рідких консервантів досягається висока якість заготовлюваних кормів.

При збиранні кукурудзи, вирощеної широкорядним способом, комбайн використовує автоматизовану систему керування, сенсор якої розташований у фронтальній частині кукурудзяної жатки.

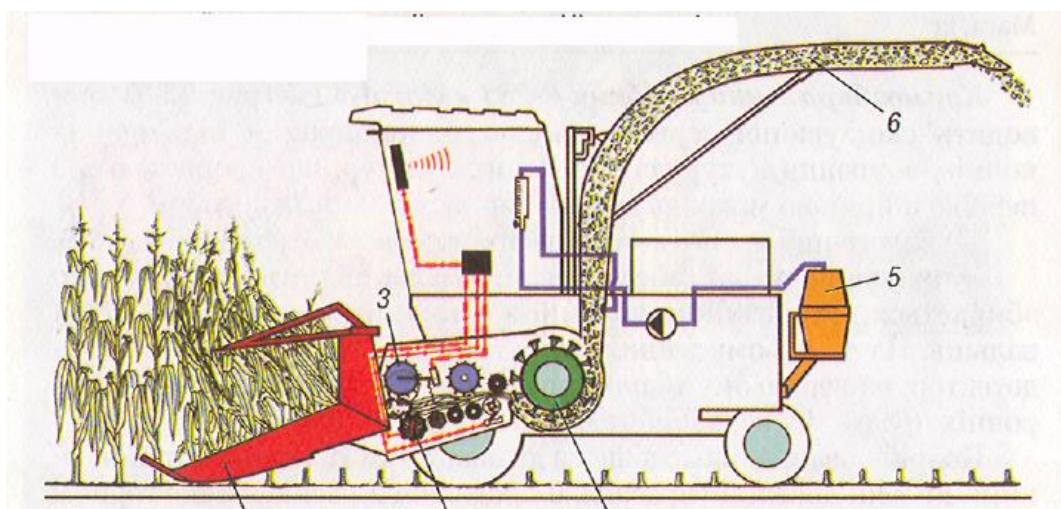


**Рис. 2.5 - Технологічна схема комбайна «Magab»**

- 1 – жатка; 2 – нижній живильний валець,  
3 – верхній підпресовуючий валець; 4 – подрібнювальний барабан;  
5 – дозувальний пристрій, 6 – силосопровід.*

Параметри ширини захвату робочих органів комбайна: жатка для зрізування зелених культур — 4,2 м, підбирач валків — 2,2 або 4,2 м, жатка для кукурудзи — 3 м, кукурудзяна приставка — 2,8 м.

Для роботи з високостебловими культурами — кукурудзою, соняшником, просом тощо — спеціально розроблено жатку ЖВН-2,8, що агрегатується з комбайнами серії «Maral». Ширина захвату цього адаптера становить 2,8 м, експлуатаційна продуктивність — 1,5 га/год.

Причіпний кормозбиральний комбайн КПФ-2,4 (рис. 2.6) використовується для заготівлі кормових культур на зелений корм, подрібнене сіно, сінаж та силос. Машина комплектується трьома змінними адаптерами: жаткою для скошування трави, підбирачем та жаткою суцільного зрізування для збирання силосних культур.



**Рис. 2.6. Кормозбиральний причіпний комбайн КПФ-2,4**

Комбайн оснащено механізмом загострення різальних елементів подрібнювального барабана. Привод робочих органів здійснюється від вала відбору потужності трактора через карданну передачу, конічний редуктор та

розподільчу коробку. Машина агрегатується з тракторами МТЗ-80, МТЗ-82 та МТЗ-100.

Комбайн «Jaguar» призначено для заготівлі кормових культур (рис. 2.7). Машина комплектується підбирачем, кукурудзяними приставками виробництва Claas на чотири, шість та вісім рядків, а також пристроєм для заточування ножів.

Доподрібнювач кукурудзяного зерна CornCracker від компанії Claas є незамінним для отримання корму необхідної фракційної структури. Робочим органом пристрою слугують рифлені вальці, що обертаються у протилежних напрямках.



**Рис. 2.8 – Самохідний подрібнювач Jaguar (Claas)**

Комбайн має V - подібне розміщення ножів на барабані та гідрофікований пристрій загострювання ножів. Зазор між протирізальною пластиною та ножами регулюється дистанційно. Подрібнювальний барабан швидко знімається. Комбайн обладнаний автоматом для водіння машини по рядках кукурудзи. В кабіні встановлений багатофункціональний важіль керування: регулювання швидкості руху комбайна, напрямку руху комбайна вперед – назад; піднімання – опускання приставки; вмикання режимів системи

копіювання поверхні поля; вмикання і вимикання робочих органів приставки і живильника; реверсування робочих органів приставки і живильника; керування положенням силосопроводу.

Кормозбиральний комбайн New Holland FR (рис. 2.9) призначений для збирання кормових культур з поля, таких як кукурудза, трава, люцерна, і їх подрібнення для подальшого використання в якості корму для худоби. Основні функції та призначення цього комбайна включають:

- збирання урожаю. Комбайн оснащений жнивваркою, яка зрізає рослини з поля;
- подрібнення корму. Після збирання рослини проходять через подрібнювач, який перетворює їх на дрібні частинки, зручні для зберігання і годування тварин;
- транспортування матеріалу. Подрібнений матеріал транспортується у причіп або іншу ємність для подальшого транспортування до місця зберігання чи безпосереднього використання;
- регулювання розміру часток. Комбайн дозволяє регулювати розмір часток подрібненого матеріалу відповідно до потреб господарства.



**Рис. 2.9. Кормозбиральний комбайн New Holland FR**

### 2.3 Огляд технічних засобів для доподрібнення зерна

Для переробки рослинної маси застосовують два основні типи подрібнювального обладнання: стаціонарне та мобільне. У процесі силосозаготівлі переважно використовують мобільні подрібнювальні агрегати (польові подрібнювачі), які за принципом дії поділяються на барабанні та дискові. Головним робочим елементом обох типів є ножі, змонтовані відповідно на барабані або диску.

На підставі аналізу науково-технічної літератури та патентних матеріалів можна систематизувати доподрібнювальні пристрої у п'ять основних категорій: підножові пластини, перфоровані рекатери, рифлені рекатери, плющильні корзини та плющильні вальці.

Назва підножових пластин вказує на місце їх розташування у конструкції. Під час зрізування рослин ножем подрібнювального апарата спочатку відбувається захоплення відрізаної маси, що супроводжується ударною дією. За наявності пластин частинки рослин, особливо зернівки, вдаряються об їхню рифлену поверхню, що посилює ефект руйнування.

Перфоровані змінні рекатери являють собою металеві решета з отворами різноманітної форми та розмірів. Додаткове руйнування зерна у цій конструкції досягається внаслідок удару об перемички між отворами. Такі рекатери для комбайна КСК-100А були розроблені Українським центром випробування техніки, однак випробування виявили низьку технологічну надійність через засмічення отворів. Через цю причину вони не знайшли практичного застосування. Водночас закордонні виробники «Hesston» та «John Deere» оснащують окремі моделі кормозбиральних комбайнів аналогічними рекатерами, які демонструють високу ефективність подрібнення зернової фракції.

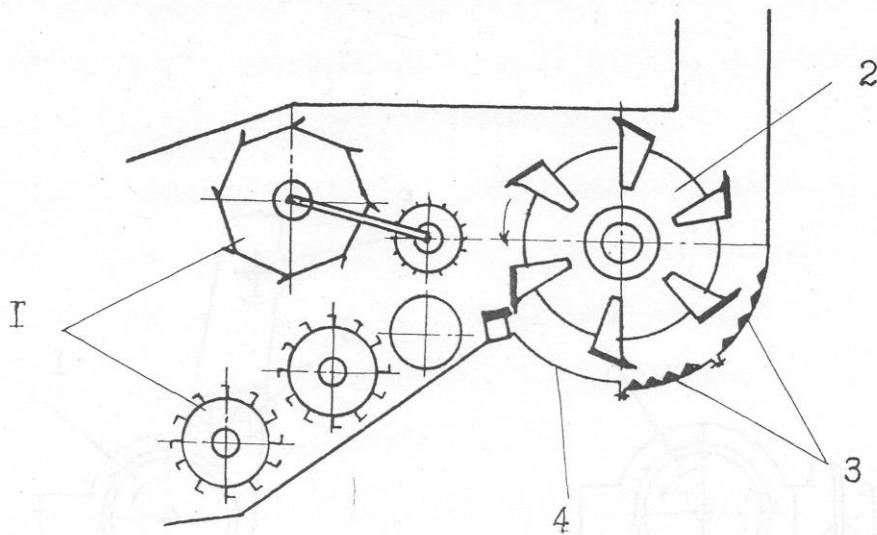


**Рис. 2.10. Схема подрібнювального апарата комбайна КСС-2,6  
обладнаного рекатером:**

*1 - живильний апарат; 2- подрібнювальний барабан; 3- рифові секції рекатера;  
4- гладка секція рекатера.*

Для посилення ефекту руйнування зерна під час проходження подрібненої маси по піддону до силосопроводу застосовують рифлені рекатери. Конструктивно вони становлять одну або кілька секцій піддона барабанного чи дискового подрібнювача, внутрішня поверхня яких (звернена до ножів) має спеціальні виступи. Залежно від конструктивного виконання рекатера ці виступи можуть мати прямокутний, трикутний або напівовальний профіль і розташовуються під певним кутом до робочої поверхні. Рифлені рекатери є взаємозамінними зі стандартними піддонами подрібнювачів та широко використовуються на кормозбиральній техніці іноземного виробництва.

В Україні створено кілька варіантів конструкцій рекатерів для комбайнів КСС-2,6 та КПКУ-75. Найбільшого поширення набула конструкція, рифлена поверхня якої сформована з бичів молотильного апарата зернозбирального комбайна (рис. 2.10).

Плющильні корзини конструктивно являють собою один або два вальці, встановлені паралельно осі подрібнювального барабана комбайна або прискорювача викидання маси (рис. 2.11).

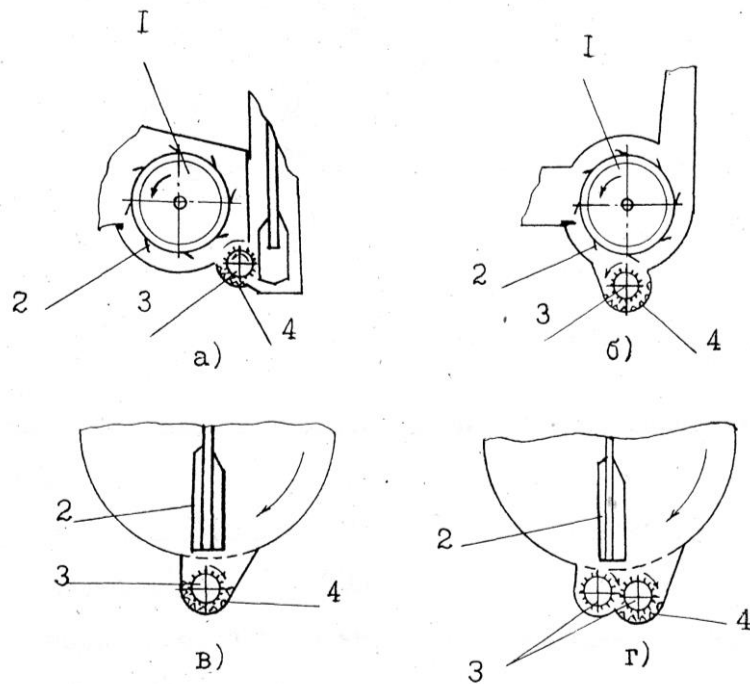


**Рис. 2.11.Схеми встановлення плющильних вальців на барабанних (а, б) та дискових (в, г) подрібнювальних апаратах комбайнів:**

*1- барабан; 2- ніж; 3-плющильні вальці; 4- рифлений піддон.*

Принцип функціонування цих пристроїв базується на неоднорідності об'ємного розподілу маси після її зрізування ножами барабана або диска. Легші фракції — переважно подрібнені листки, суцвіття, обгортки та верхівки стебел — переносяться повітряним потоком над плющильною корзиною. Натомість важчі компоненти, головним чином зернівки, під дією відцентрової сили притискаються до піддона і, рухаючись по ньому, потрапляють у корзину. Руйнування зерна відбувається при протягуванні маси між валиками та рифленою поверхнею піддона. Після такої обробки ця частина маси повертається до загального потоку.

Іншим різновидом плющильного обладнання є вальцьовий механізм, що встановлюється послідовно між подрібнювальним апаратом та пристроєм викидання маси (рис. 2.12).

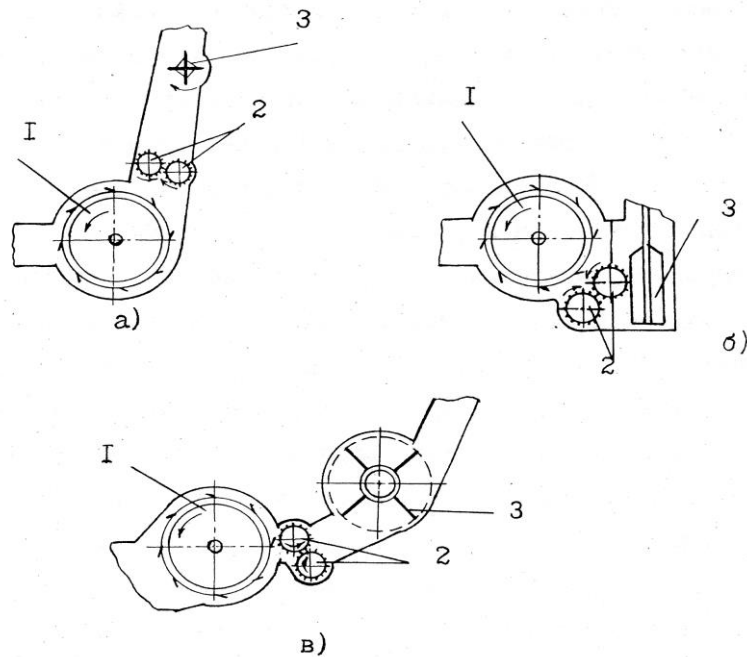


**Рис. 2.12. Схеми встановлення плющильних вальців  
на кормозбиральних комбайнах:**

*а- CLAAS JAGUAR - 690; б- MENGELE SF - 500; в- MENGELE SF - 600;  
1- подрібнювальний барабан; 2- плющильні вальці; 3- вентилятор-кидалка*

Рисунок 2.13 ілюструє робочий цикл комбайна CLAAS Jaguar-880 у процесі заготівлі та переробки рослинної сировини.

За для забезпечення необхідної пропускної здатності плющильного апарата вальці обертаються з частотою від 2000 до 4200 об/хв, а в деяких моделях компанії «Mengele» цей показник досягає 6000 об/хв. Характерною особливістю конструкції є робота парних вальців із неоднаковою швидкістю обертання. Ефективна плющильно-руйнівна дія на оброблювану масу досягається завдяки спеціальному профілю робочих поверхонь вальців, різниці у швидкостях їх обертання та малій величині міжвальцевого проміжку (1–2 мм). Апробація такого плющильного механізму на комбайні ДОН-680 була здійснена в Українському центрі випробувань техніки.

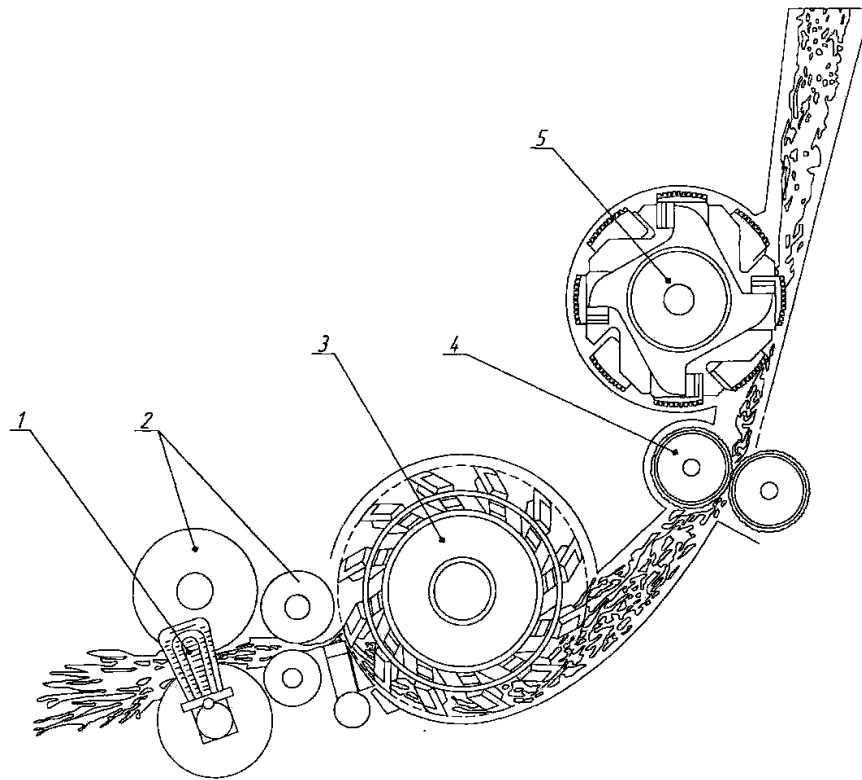


**Рис. 2.13. Схема подрібнювального апарату комбайна CLAAS Jaguar-880:**

*1 – металодетектор; 2 – живильний апарат; 3 – подрібнюючий барабан;  
4 – плющильні вальці; 5 – прискорювач руху маси*

Німецькі рекомендації щодо силосозаготівлі наголошують на тому, що точність подрібнення маси є ключовим чинником отримання високоякісного корму. Зокрема, при встановленій теоретичній довжині різання 4–6 мм фактичні показники зазвичай перевищують це значення. Фахівці рекомендують здійснювати загострення ножів та коригувати положення протирізальної пластини після кожних 3–5 гектарів зібраної кукурудзи. Такий підхід сприяє зниженню витрат пального та підвищенню продуктивності техніки. Окрім того, обов'язковою умовою є подрібнення зернової фракції для покращення її засвоюваності тваринами. Залежність ступеня руйнування зерна від параметрів довжини різання наведено у таблиці 2.2.

Найбільш раціональним способом додаткової обробки маси є використання плющильних вальців. Енергоспоживання при їх застосуванні на

0,4 кВт·год/т нижче порівняно з барабанними подрібнювачами, оснащеними рифленими рекатерами. Чеські науковці провели порівняльні дослідження різних типів доподрібнювальних пристроїв — перфорованих і рифлених рекатерів, підножових пластин та зубчастих бітерів — на комбайні SPS-35. За результатами експериментів встановлено, що оптимальним рішенням є застосування рифлених вкладишів: забезпечуючи рівень подрібнення зерна, аналогічний іншим типам пристроїв, вони не зменшують пропускну спроможність подрібнювального апарата.

Таблиця 2.2

**Залежність подрібнення зерна і його втрат від вологості, маси і довжини різки**

| Вміст сухої речовини, % | Вміст зерна в силосі (%) при теоретичній довжині різки, мм |    |    |
|-------------------------|------------------------------------------------------------|----|----|
|                         | 4                                                          | 7  | 14 |
| 20                      | 1                                                          | 2  | -  |
| 27                      | 6                                                          | 9  | 14 |
| 32                      | 12                                                         | 16 | 20 |
| 36                      | 16                                                         | 20 | 25 |

Згідно з методичними матеріалами німецьких фахівців у галузі кормозаготівлі, визначальну роль у формуванні якісних характеристик силосу відіграє дотримання заданих параметрів подрібнення. Практика свідчить, що реальна довжина частинок перевищує номінальне значення 4–6 мм. Спеціалісти вказують на необхідність проведення технічного обслуговування різального апарата — заточування лез та налаштування зазору протирізальної пластини — через кожні 3–5 гектарів роботи на кукурудзі. Дотримання цієї вимоги дозволяє економити паливо та збільшувати виробіток агрегата. Не менш важливим є ретельне руйнування зернової частини для підвищення її перетравності.

Взаємозв'язок між фракційним складом січки та ступенем пошкодження зерна відображено у таблиці 2.2.

Серед методів вторинної обробки маси найефективнішим визнано застосування вальцевих плющильних механізмів. Питомі енерговитрати при їх використанні становлять на 0,4 кВт·год/т менше, ніж у разі застосування барабанних агрегатів із рифленими вкладишами. Дослідники з Чехословаччини виконали порівняльний аналіз ефективності кількох типів доподрібнювачів на базі комбайна SPS-35: решітчастих та рифлених рекатерів, пластин під ножами й зубчастих бітерів. Експериментальні дані підтвердили перевагу рифлених елементів — вони забезпечують якість руйнування зерна на рівні інших конструкцій, водночас не створюючи додаткового опору проходженню маси через подрібнювач.

### 3. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЯКІСНОГО ДОПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА

#### 3.1 Характеристика кормозбирального комбайна

Кормозбиральна машина КСК-100А використовується для заготівлі трав'яних кормів (сіна, сінажу) та консервування кукурудзи методом силосування. Конструктивно агрегат (рис. 3.1) являє собою самохідну базу з подрібнювальним модулем, до якої приєднуються змінні адаптери — косарка для трав, валкопідбирач та інші.

Додатково до базової комплектації машини постачається альтернативний варіант подрібнювального вузла з механізмом прискореного викидання маси. Вибір адаптера — підбирача чи однієї з жаток — визначається характером запланованих робіт.

**Самохідна база.** Основними компонентами самохідної частини є живильно-подрібнювальний модуль із приводним редуктором, вивантажувальна труба 9, кабіна оператора з органами керування та силовий агрегат — усе це змонтовано на несучій рамі. У центральній зоні рами розташовано гідростатичну трансмісію ведучих коліс та насос гідропідсилювача кермового управління. Живильно-подрібнювальний модуль включає систему вальців 4, 5, 6 із редуктором приводу. По обидва боки механізму встановлено пружні елементи, що забезпечують притискання верхнього рифленого вальця до рослинної маси — попереднє ущільнення перед надходженням у зону різання є обов'язковою умовою якісного подрібнення.

Вузол подрібнення складається з ножового барабана 8 та протирізального бруса 7 (рис. 3.1). На барабані змонтовано дванадцять різальних елементів, закріплених на металевих пластинах-тримачах, що приварені до дисків трубчастого вала. На цих самих тримачах встановлено лопатки, які транспортують подрібнену масу до вивантажувального каналу.

Подрібнювальний модуль разом із рамою є знімним — за потреби його можна замінити на альтернативний варіант із шістьма ножами та додатковим прискорювачем викидання.

Для відновлення гостроти різальних кромок передбачено спеціальний заточувальний механізм, розміщений над барабаном. Вивантажувальний канал виконано у вигляді трубчастої конструкції зі складною секцією, яка за допомогою гідроциліндра опускається під час транспортування та піднімається в робоче положення. Цим самим гідроприводом здійснюється регулювання кута нахилу дефлектора на верхньому кінці труби для спрямування потоку маси в кузов транспорту. Увесь вивантажувальний канал має можливість повороту навколо вертикальної осі за допомогою гідроциліндра та рейкової передачі, що дозволяє вивантажувати подрібнену масу назад або вбік.

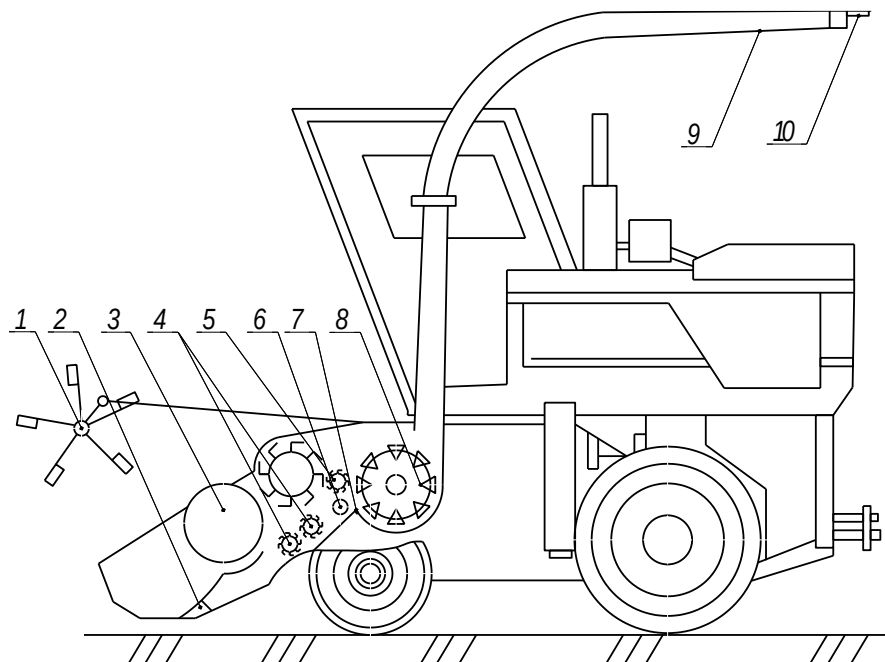


**Рис. 3.1. Комбайн КСК-100А**

*1 – різальний апарат; 2 – двигун; 3 – гвинтовий конвеєр;*

*4 – передні живильні вальці; 5 – притискний валець;*

*6 – гладенький валець; 7 – протиризальний брус; 8 – подрібнювальний барабан; 9 – силосопровід; 10 – козирок*

Фронтальна частина самохідної бази оснащена навісним механізмом для приєднання косарки або подрібнювального адаптера. Передача крутного моменту до виконавчих органів здійснюється від дизеля СМД-72 через систему пасових передач, проміжний вал, карданне з'єднання та редукторний вузол.

Гідравлічний насос отримує привід від силового агрегата через клинопасову трансмісію. Під час обертання кермового колеса змінюється співвідношення об'ємів робочої рідини, що подається до двох виконавчих гідроциліндрів керованих коліс, завдяки чому здійснюється зміна напрямку руху.

Ведучий міст об'єднує такі елементи: коробку перемикання швидкостей, центральну передачу з міжколісним диференціалом, приводні півосі, бортові редуктори з гальмівними механізмами, ходові колеса та корпусну конструкцію моста.

Суттєвою конструктивною перевагою машини КСК-100А є гідрооб'ємна трансмісія ведучих коліс, що забезпечує безступінчасте регулювання швидкості переміщення.

Гідростатична трансмісія містить: насосний агрегат, інтегрований із коробкою передач, гідравлічний мотор, резервуар для робочої рідини, фільтрувальні елементи та теплообмінник. Насос отримує обертання від двигуна через карданний вал. Циркуляція масла між насосом і мотором відбувається по напірних магістралях. Тиск у гідросистемі приводить в обертання вал гідромотора, звідки потужність передається на шестеренчасту коробку передач, далі через центральну зубчасту передачу та диференціальний механізм розподіляється на ліву й праву півосі, а через колісні редуктори — безпосередньо на рушії.

Електрична частина самохідної бази охоплює: пускову систему двигуна, зовнішні та внутрішні світлові прилади, звуковий сигнал, електрокерування

гідророзподільником і світлову сигналізацію. Електроживлення забезпечується генератором та акумулятором.

Адаптер для заготівлі кукурудзи включає несучу раму, пару активних стеблеподільників із сегментно-пальцевим різальним механізмом, мотовильний пристрій, косильний апарат, скребковий транспортер ланцюгового типу, шнековий механізм та приводні вузли. Активні подільники за потреби трансформуються у пасивні шляхом відключення приводу ножів та встановлення захисних кожухів — такий режим застосовують при роботі на змішаних посівах кукурудзи із соєю чи іншими культурами, де стеблостій густий і сплутаний. На чистих кукурудзяних полях активні подільники переводять у пасивний режим, закриваючи кожухами. Робоча ширина адаптера — 3,4 м.

Під час переміщення агрегата стебла кукурудзи або інших високорослих культур зрізуються косильним апаратом, мотовило вкладає їх на скребковий транспортер, який доставляє масу до живильно-подрібнювального модуля. Гвинтові транспортери, розташовані по краях платформи над конвеєром, звужують потік стебел. Живильні вальці захоплюють рослинну масу та направляють до ножового барабана. Подрібнений матеріал вивантажувальним каналом спрямовується у кузов транспортного засобу, що рухається паралельно комбайну.

Косильний апарат за конструкцією подібний до аналогічних вузлів причіпних машин. Над ним змонтовано п'ятилопатеve мотовило. Регулювання висоти та горизонтального винесення мотовила відносно різального бруса здійснюється гідроциліндрами через поворот несучої рами.

Скребковий транспортер жатки складається з двох секцій, кожна з яких містить три роликові ланцюги з поперечними металевими планками, оснащеними дерев'яними накладками. Рух транспортера забезпечується

приводним валом, встановленим перед гладким вальцем 3. Шнек має пружне підвішування.

Нині в аграрному секторі України продовжує експлуатуватися значна кількість комбайнів КСК-100А. Попередні спроби модернізувати цю техніку на етапі дослідно-конструкторських розробок виявилися невдалими через суттєве падіння продуктивності та не знайшли практичного впровадження.

Проведений аналіз засвідчує, що ключовим технологічним завданням є досягнення оптимальних параметрів подрібнення вегетативної маси та зернової фракції задля максимального споживання корму тваринами, а також мінімізації втрат під час бродильних процесів і при згодовуванні.

Перехід сільськогосподарських підприємств до ринкової моделі господарювання докорінно змінив ставлення виробників до всіх етапів технологічного циклу. Прагнення отримати максимальний прибуток за мінімальних витрат стало базовим принципом. Економія кожної гривні актуальна і при виробництві молочної та м'ясної продукції.

Водночас навіть фінансово стабільні господарства не завжди спроможні придбати сучасну кормозбиральну техніку. Відтак постає питання раціонального використання наявного машинного парку.

Станом на сьогодні в українських господарствах працює понад 5 тисяч комбайнів КСК-100А. Ця машина відзначається простотою конструкції, невибагливістю в технічному обслуговуванні та доступною вартістю. Головним її недоліком залишається невідповідність якості подрібнення зоотехнічним нормативам. Саме розв'язанню цієї проблеми і присвячено представлений дипломний проект.

### 3.2 Затрати енергії на заготівлю силосу воскової стиглості

Аналіз науково-технічних публікацій дозволяє стверджувати, що дрібнофракційне подрібнення рослинної сировини та інтенсивне руйнування зернівок при консервуванні кукурудзи воскової стиглості є необхідними передусім для підвищення ефективності засвоєння корму худобою, особливо його зернового компонента. Силосована маса дрібної фракції характеризується кращими якісними показниками та меншою схильністю до псування під час використання порівняно з крупноподрібненим матеріалом. Однак скорочення розмірів частинок закономірно призводить до зростання енергетичних витрат на процес подрібнення, що є одним із ключових критеріїв оцінювання результативності запропонованого технологічного рішення.

Як зазначалося раніше, у вітчизняних наукових джерелах інформації з цієї проблематики виявлено вкрай мало, тоді як закордонні дані часто суперечать одне одному — ймовірно, через відмінності у методологічних підходах до проведення вимірювань. Окрім того, більшість дослідників аналізують лише енергоспоживання безпосередньо на етапі подрібнення, не беручи до уваги зміни витрат при виконанні супутніх технологічних операцій — транспортування та трембування, — які здатні істотно вплинути на загальну оцінку ефективності технології. Саме тому нами проведено комплексне дослідження сукупних енерговитрат на весь цикл силосозаготівлі.

Для переробки кукурудзи на силос застосовували базовий комбайн КСК-100А та його модифікацію, оснащену рекатером. Подрібнювальні апарати налаштовували на теоретичну довжину січки 20 мм та 10 мм відповідно. Збирання проводили у фазі воскової стиглості зерна за середньої вологості рослинної маси 59–62%. Результати оцінювання якості подрібнення систематизовано у таблиці 3.1.

Експериментально підтверджено, що оснащення комбайна КСК-100А рекатерами суттєво підвищує якість переробки маси та помітно знижує ступінь механічного пошкодження зернівок.

Пропускна спроможність агрегата значною мірою визначається заданим рівнем подрібнення. За теоретичної довжини різання 10 мм цей показник становив 9,6 кг/с, тоді як при 20 мм зростав до 11,33 кг/с, що відповідає збільшенню продуктивності на 18%.

Таблиця 3.1

**Показники якості роботи комбайнів на подрібненні силосної маси  
кукурудзи**

| Показники                          | Марка комбайна       |              |           |
|------------------------------------|----------------------|--------------|-----------|
|                                    | КСК-100А з рекатером |              | КСК-100А  |
|                                    | Мілка різка          | Крупна різка |           |
| Теоретична довжина різки, мм       | 10                   | 20           | 20        |
| Середньозважений розмір часток, мм | 12,6±4,3             | 27,3±6,12    | 25,6±6,39 |
| Вміст часток, %                    |                      |              |           |
| до 10 мм                           | 63,17                | 17,03        | 10,83     |
| до 20 мм                           | 86,14                | 43,95        | 40,04     |
| Вміст травмованого зерна, %        | 92,33                | 89,50        | 47,86     |

Водночас збільшення пропускної спроможності кормозбиральної техніки не завжди є доцільним. Як було зазначено вище, заготівля кукурудзи у фазі воскової стиглості за теоретичної довжини січки 20 мм не дозволяла досягти належного рівня руйнування зернової фракції навіть за умови використання рекатерів.

Табличні дані підтверджують цю тезу щодо питомого енергоспоживання на процес подрібнення. Зокрема, споживання пального агрегатом, оснащеним рекатером, при крупнофракційному різанні зростало у 1,61 рази, тоді як при дрібному подрібненні кукурудзяної маси цей коефіцієнт становив лише 1,44. Отримані результати корелюють із висновками американських дослідників,

зробленими за підсумками експериментів на комбайні «Hesston-4000». При зіставленні енерговитрат на дрібнофракційне подрібнення із застосуванням рекатера та крупне різання без нього спостерігається зростання на 44% — показник, що виявився значно нижчим за попередні прогнози.

Таблиця 3.2

Техніко-енергетичні показники роботи комбайнів при збиранні кукурудзи в фазі воскової стиглості зерна

| Показники                              | Марка комбайна       |              |            |
|----------------------------------------|----------------------|--------------|------------|
|                                        | КСК-100А з рекатером |              | КСК-100А   |
|                                        | Мілка різка          | Крупна різка |            |
| Пропускна здатність, кг/с              | 9,60                 | 11,33        | 8,80       |
| Продуктивність, т/год:<br>чистого часу | 34,6                 | 40,8         | 31,7       |
|                                        | змінного часу        | 15,4         | 17,8       |
| Витрати палива, л/т                    | 0,95                 | 1,06         | 0,66       |
| Енергоємність збирання, МДж/т          | 33,30±1,20           | 37,2±1,05    | 23,13±1,73 |

Отже, вторинна обробка крупнофракційної кукурудзяної сировини рифленим рекатером є більш енергозатратною порівняно з переробкою дрібно нарізаної маси. З огляду на це, при подальшому аналізі ефективності силосозаготівельної технології застосування комбайна КСК-100А з рекатером у режимі крупного різання визнано недоцільним.

Визначення енергоспоживання на доставку подрібненої маси різного фракційного складу та її трамбування здійснювали одночасно з фіксацією витрат на подрібнення в межах єдиного технологічного циклу. Для перевезення сировини від обох комбайнів залучали однотипні вантажівки ГАЗ-53Б із місткістю кузова 10 м³. Спостереження тривали впродовж двох повних робочих змін. Для спрощення обчислень виконано три серії вимірювань по п'ять рейсів кожна. Фіксували масу перевезеного вантажу, відстань транспортування, витрачений час та обсяг спожитого пального. Холості пробіги транспортних

засобів у розрахунках не враховувалися. Результати визначення енерговитрат на доставку маси різної фракції систематизовано у таблиці 3.3.

З'ясовано, що при транспортуванні дрібноподрібненої силосної сировини від комбайна КСС-2,6 витрати енергії скорочуються на 10,9 МДж, або на 14%, порівняно з перевезенням крупнофракційного матеріалу. Це пояснюється тим, що завдяки вищій насипній густині дрібної січки (на 13,5%) зростає корисне завантаження транспорту. Зокрема, кузов автомобіля вміщував 4,13 т дрібної маси проти 3,61 т крупноподрібненої. Збільшення вантажопідйомності у першому випадку зумовлене не лише вищою об'ємною масою корму, а й інтенсивнішим його ущільненням повітряним струменем під час завантаження. Цей чинник також суттєво впливає на якість трамбування силосу в траншейному сховищі.

Таблиця 3.3

**Затрати енергії на перевезення різноподрібненої силосної маси кукурудзи**

| Показники                      | Вид різки                    |                   |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------|
|                                | Мілка (КСК-100А з рекатером) | Крупна (КСК-100А) |
| Марка машин                    | ГАЗ-53Б                      | ГАЗ-53Б           |
| Об'єм кузова                   | 10                           | 10                |
| Середня вантажопід'ємність, т  | 4,13 0,11                    | 3,61 0,08         |
| Віддаль перевезення, км        | 18                           | 18                |
| Кількість ходок, шт.           | 5                            | 5                 |
| Середня швидкість руху, км/год | 53                           | 53                |
| Питома витрата палива, л/т/км  | 0,113                        | 0,130             |
| Питомі затрати енергії:        |                              |                   |
| МДж/т/км                       | 3,73                         | 4,34              |
| МДж/т                          | 67,2±1,59                    | 78,1±0,68         |

Доставлену з поля сировину одночасно закладали у три ідентичні траншейні сховища ємністю по 250 т, розподіляючи шарами товщиною 0,8–1,0 м. Розрівнювання та трамбування маси виконували гусеничним трактором, обладнаним бульдозерним відвалом. Об'ємна маса корму, визначена за описаною вище методикою безпосередньо після вивантаження у траншею, була порівняно низькою — у межах 212–251 кг/м<sup>3</sup>. Це пояснюється невисокою вологістю вихідної сировини — близько 60%. Залежність щільності силосованої маси від інтенсивності трамбування та відповідні показники енергоспоживання на цю операцію наведено у таблиці. При трамбуванні дрібнофракційної маси щільність поверхневого шару припиняла зростати після десяти проходів трактора, досягаючи позначки 515 кг/м<sup>3</sup> при використанні комбайна КСК-100А з рекатером.

Для досягнення максимальної щільності крупноподрібненої маси рекомендуємо виконувати двадцять послідовних проходів трактора. За таких умов щільність становитиме 478 кг/м<sup>3</sup>, що статистично достовірно нижче ( $P < 0,1$ ). Це засвідчує ефективніше використання об'єму сховища при силосуванні дрібнофракційної сировини.

Проведені експерименти дозволили встановити ступінь ущільнення силосної маси у верхньому горизонті. Однак при пошаровому закладанні ущільнюється не лише поверхневий шар — нижні горизонти також набувають вищої щільності внаслідок постійного статичного навантаження згори. Через два місяці після закладання щільність готового дрібноподрібненого силосу становила 812 кг/м<sup>3</sup>, тоді як для силосу, заготовленого комбайном КСК-100А у режимі крупного різання, цей показник дорівнював 665 кг/м<sup>3</sup>. Відтак, у першому випадку корисний об'єм силососховища використовувався на 22,1% раціональніше порівняно з другим варіантом.

**Енергозатрати на ущільнення різноподрібненої силосної маси кукурудзи в  
фазі воскової стиглості зерна**

| Показники                                      | Вид різки               |                   |
|------------------------------------------------|-------------------------|-------------------|
|                                                | КСК-100А з<br>рекатером | крупна (КСК-100А) |
| Об'ємна маса, кг/м <sup>3</sup> :<br>насипна   | 251                     | 212               |
| Після проходів трактора:                       |                         |                   |
| одного                                         | 362                     | 295               |
| п'яти                                          | 487                     | 381               |
| десяти                                         | 515±6,51                | 442               |
| п'ятнадцяти                                    | 518                     | 466               |
| двадцяти                                       | 517                     | 478±9,29          |
| Розміри траншей, м:                            |                         |                   |
| ширина                                         | 6                       | 6                 |
| довжина                                        | 12                      | 12                |
| Шлях пройдений трактором за<br>n- проходів, км | 10/1,12                 | 20/2,24           |
| Витрата палива, л                              | 3,27                    | 6,83              |
| Питома витрата палива, л/т                     | 0,16                    | 0,33              |
| Питомі затрати енергії, МДж/т                  | 5,61±0,29               | 11,57±0,40        |

Результати досліджень процесу трамбування дозволяють констатувати, що дрібнофракційна маса завдяки нижчій пружності ущільнюється вдвічі швидше за крупноподрібнену. Цей факт у поєднанні з такими чинниками, як зменшення опору самопереміщенню трактора та полегшення переміщення сировини бульдозерним відвалом, забезпечив економію енергоресурсів на трамбування тонни дрібної січки на рівні 51,5%. Отримані дані характеризуються високим рівнем статистичної достовірності ( $P < 0,01$ ).

Таким чином, сукупні енерговитрати на повний технологічний цикл силосозаготівлі з дрібноподрібненої сировини при роботі комбайна КСК-100А, оснащеного рекатером, становили 106,1 МДж/т. При цьому найбільша частка енергоспоживання (63–69%) припадає на транспортні операції. Питома вага енерговитрат безпосередньо на подрібнення у загальному балансі силосозаготівлі складає лише 20–30% — значно менше, ніж прогнозувалося.

Співвідношення енергоспоживання за окремими операціями, як і їхні абсолютні величини, змінюватимуться переважно залежно від дальності доставки маси. При скороченні транспортного плеча витрати на перевезення, а відповідно й загальні енерговитрати, зменшуватимуться; при збільшенні відстані — зростатимуть.

### 3.3 Розрахунок зірочок ланцюгових передач

Розміри віденця зірочок роликів ланцюгів визначаються за наступними залежностями:

модуль: 
$$m = \frac{P}{\pi}, \quad (3.1)$$

ділильний діаметр: 
$$d = P / (\sin 180 / z), \quad (3.2)$$

де  $P$  - крок ланцюга;

$z$  - число зубів зірочки;

діаметр кола виступів:

$$D_e = P(0,5 + \operatorname{ctg} 180 / z); \quad (3.3)$$

діаметр кола впадин:

$$D_i = d - 2 \cdot r; \quad (3.4)$$

де  $r$  - радіус впадин;

$$r = 0,5025 \cdot d_1 + 0,05; \quad (3.5)$$

де  $d_1$  - діаметр ролика ланцюга;

діаметр проточки:

$$D_c = P \cdot \operatorname{ctg} (180 / r) - 1,3 \cdot h; \quad (3.6)$$

де  $h$  - ширина пластини ланцюга;

ширина зуба двохрядного ланцюга

$$b = 0,9 \cdot B_n - 0,15 \text{ мм}; \quad (3.7)$$

де  $B_n$  - відстань між внутрішніми площинами пластин ланцюга;

ширина віденця:

$$B = (n - 1) \cdot A + b; \quad (3.8)$$

де  $n$  - кількість рядів;

$A$  - відстань між осями симетрії багаторядних ланцюгів;

радіус заокруглення зуба:  $R = 1,7 - d_1$ ;

товщина обода:  $s = 1,5(De - d)$  ;

товщина диска:  $C = (1,2 \dots 1,3)s$  .

Таблиця 3.5

### Числові значення при розрахунку зірочок

| $p$    | $B_n$ | $A$   | $d_1$ | $h$  |
|--------|-------|-------|-------|------|
| 12,7   | 5,4   | 13,92 | 8,51  | 11,8 |
| 15,875 | 9,65  | 16,59 | 10,16 | 14,8 |
| 19,05  | 12,7  | 25,51 | 11,91 | 18,2 |
| 25,4   | 15,88 | 29,29 | 15,88 | 24,2 |
| 31,75  | 19,05 | 35,76 | 19,05 | 30,2 |

### Розрахунок зірочки гладкого вала живильного апарата

При  $z = 22$  розрахунок буде мати наступний вигляд для гладкого вала живильного апарата.

модуль: 
$$m = \frac{P}{\pi} = \frac{25,4}{3,14} = 8,0 \text{ мм};$$

- ділильний діаметр:

$$d = P / (\sin 180 / z) = 25,4 / 0,14 = 180 \text{ мм};$$

- діаметр кола виступів:

$$D_e = P(0,5 + \operatorname{ctg} 180 / r) = 25,4 \cdot (0,5 + 6,9) = 188 \text{ мм};$$

- радіус впадин:

$$r = 0,5025 \cdot d_i + 0,05 = 0,5025 \cdot 15,88 + 0,05 = 8 \text{ мм};$$

- діаметр кола впадин:

$$D_i = a - 2 \cdot r = 180 - 2 \cdot 8 = 164 \text{ мм};$$

- ширина зуба:

$$b = 0,9 - B_n - 0,15 = 0,9 - 15,88 - 0,15 = 14 \text{ мм};$$

- ширина віденця:

$$B = (n - 1)A + b = (2 - 1) \cdot 29,29 + 14 = 43 \text{ мм};$$

- радіус заокруглення зуба:

$$R = 1,7 - d_1 = 1,7 - 15,88 = 27 \text{ мм};$$

- фаска:

$$F = 0,2 \cdot b = 2,8 \text{ мм};$$

Конструкція зірочок ланцюгових передач відрізняється від конструкції циліндричних зубчастих коліс лише зубчастим віденцем.

Довжину посадочного отвору зірочки приймаємо рівній ширині зубчастого віденця ( $L = B$ ). Діаметр ступиці  $D_{cm}$  приймаємо:

$$D_{cm} = 1,55 \cdot d_0 = 1,55 \cdot 35 = 54,25 \text{ мм}.$$

де,  $d_0$  - діаметр посадочного отвору,  $d_0 = 35 \text{ мм}$ .

### **Розрахунок зірочки веденого вала головного редуктора**

При  $z = 10$  розрахунок буде мати наступний вигляд для веденого вала головного редуктора.

- модуль:

$$m = \frac{P}{\pi} = \frac{25,4}{3,14} = 8,0 \text{ мм};$$

- ділительний діаметр:

$$d = P / (\sin 180 / z) = 25,4 / 0,31 = 82 \text{ мм};$$

- діаметр кола виступів:

$$D_e = P(0,5 + \operatorname{ctg} 180 / z) = 25,4 \cdot (0,5 + 3,07) = 90 \text{ мм};$$

- радіус впадин:

$$r = 0,5025 \cdot d_1 + 0,05 = 0,5025 \cdot 15,88 + 0,05 = 8 \text{ мм};$$

- діаметр кола впадин:

$$D_i = d - 2 \cdot r = 82 - 2 \cdot 8 = 66 \text{ мм};$$

- діаметр проточки:

$$D_c = P \cdot \operatorname{ctg}(180 / z) \cdot 1,3 \cdot h = 25,4 \cdot 3,0 - 1,3 - 24,2 = 44 \text{ мм};$$

- ширина зуба двохрядного ланцюга:

$$b = 0,9 \cdot B_n - 0,15 = 0,9 \cdot 15,88 - 0,15 = 14 \text{ мм};$$

- ширина віденця:

$$B = (n - 1) \cdot A + b = (2 - 1)29,29 + 14 = 43 \text{ мм};$$

- радіус заокруглення зуба:

$$R = 1,7 \cdot d_1 = 1,7 \cdot 15,88 = 27 \text{ мм};$$

- товщина обода:

$$s = 1,5(D_e - d) = 1,5(90 - 82) = 12 \text{ мм};$$

- товщина диска:

$$C = (1,2 \dots 1,3)s = 1,3 \cdot 12 = 15,6 \text{ мм};$$

- фаска:

$$f = 0,2 \cdot b = 2,8 \text{ мм}.$$

Конструкція зірочок ланцюгових передач відрізняється від конструкції циліндричних зубчастих коліс лише зубчастим віденцем. Тому діаметр і довжину ступиці визначаємо по співвідношенню для зубчастих коліс.

Довжину посадочного отвору зірочки приймаємо рівній ширині зубчастого віденця ( $L = B$ ).

Діаметр ступиці  $D_{cm}$  і товщину торців зубчастого віденця  $S$  приймаємо:

$$D_{cm} = 1,55 - d_o = 1,55 - 35 = 54,25 \text{ мм};$$

де,  $d_o$  - діаметр посадочного отвору,  $d_o = 35 \text{ мм}$ .

$$S = 2,2 \cdot m + 0,05 \cdot B = 2,28 + 0,05 \cdot 43 = 17,6 + 2,15 = 19,75 \text{ мм};$$

де  $m$  - модуль зачеплення,  $m = 8 \text{ мм}$ .

### **Розрахунок зірочки головного вала живильного апарата**

При  $z = 50$  розрахунок буде мати наступний вигляд для ведучого вала живильного апарата.

- модуль:

$$m = \frac{P}{\pi} = \frac{25,4}{3,14} = 8,0 \text{ мм};$$

- ділильний діаметр:

$$d = P / (\sin 180/z) = 25,4 / 0,062 = 411 \text{ мм};$$

- діаметр кола виступів:

$$D_e = P (0,5 + \operatorname{ctg} 180/r) = 25,4/0,5 + 16 = 419 \text{ мм};$$

- радіус впадин:

$$r = 0,5025 \cdot d_1 + 0,05 = 0,5025 \cdot 15,88 + 0,05 = 8 \text{ мм};$$

- діаметр кола впадин:

$$D_c = d - 2r = 411 - 2 \cdot 8 = 395 \text{ мм};$$

- діаметр проточки:

$$D_c = P \cdot \operatorname{ctg} (180/z) - 1,3h = 25,4 \cdot 16 - 1,3 \cdot 24,2 = 375 \text{ мм};$$

- ширина зуба двохрядного ланцюга:

$$b = 0,9 \cdot B_n - 0,15 = 0,9 \cdot 15,88 - 0,15 = 14 \text{ мм};$$

- ширина віденця:

$$B = (n - 1) A + b = (2 - 1) \cdot 29,29 + 14 = 43 \text{ мм};$$

- радіус заокруглення зуба:

$$R = 1,7 \cdot d_1 = 1,7 \cdot 15,88 = 27 \text{ мм};$$

- товщина обода:

$$s = 1,5 (D_e - d) = 1,5 (188 - 180) = 12 \text{ мм};$$

- товщина диска:

$$C = (1,2 \dots 1,3) s = 1,3 \cdot 12 = 15,6 \text{ мм};$$

- фаска:

$$f = 0,2 \cdot b = 2,8 \text{ мм};$$

#### 4.6.4 Розрахунок зірочки ведучого вала редуктора подрібнювального апарата

При  $z = 12$  розрахунок буде мати наступний вигляд для ведучого вала редуктора вивантажувального апарата.

- модуль:

$$m = \frac{P}{\pi} = \frac{25,4}{3,14} = 8,0 \text{ мм};$$

- ділительний діаметр:

$$d = P / (\sin 180 / z) = 25,4 / 0,26 = 98 \text{ мм};$$

- діаметр кола виступів:

$$D_e = P (0,5 + \operatorname{ctg} 180 / z) = 25,4 (0,5 + 3,7) = 106 \text{ мм};$$

- радіус впадин:

$$r = 0,5025 \cdot d_1 + 0,05 = 0,5025 \cdot 15,88 + 0,05 = 8 \text{ мм};$$

- діаметр кола впадин:

$$D_i = d - 2r = 98 - 2 \cdot 8 = 82 \text{ мм};$$

- ширина зуба двохрядного ланцюга:

$$b = 0,9 \cdot B_n - 0,15 = 0,9 \cdot 15,88 - 0,15 = 14 \text{ мм};$$

- ширина віденця:

$$B = (n - 1) \cdot A + b = (2 - 1) \cdot 29,29 + 14 = 43 \text{ мм};$$

- радіус заокруглення зуба:

$$R = 1,7 \cdot d_1 = 1,7 \cdot 15,88 = 27 \text{ мм};$$

- фаска:

$$f = 0,2 \cdot b = 2,8 \text{ мм};$$

### 3.4 Розрахунок ланцюгової передачі привода подрібнювального барабана

Головний параметр передачі - крок ланцюга, визначаємо за формулою:

$$t \geq 2,8 \sqrt{\frac{T_1 K_e}{Z_1 [p] m}}, \quad (3.9)$$

де  $T_1$  – крутний момент на валу меншої зірочки, Н·мм;

$Z_1$  - кількість зубів меншої зірочки, шт.;

$[p] = 46$  МПа - допустимий тиск;

$m = 1$  - кількість рядів ланцюгів;

$K_e$  - коефіцієнт, який враховує умови монтажу і експлуатації ланцюгової передачі.

Крутний момент на валу меншої зірочки визначаємо за формулою:

$$T_1 = \frac{30 N}{\pi n}, \quad (3.10)$$

де,

$$n = \frac{60 \cdot 10^3}{Z_1 \cdot t} \cdot V, \quad (3.11)$$

де,  $N = 0,548$  кВт,

$V = 0,4$  м/с - швидкість ланцюга;

приймаємо  $t = 19,5$  мм;

Кількість зубів меншої зірочки визначаємо за формулою:

$$Z_1 = 31 - 2 \cdot n, \quad (3.12)$$

де, передаточне відношення передачі, приймаємо  $n = 1,2$ ;

$$Z_1 = 31 - 2 \cdot 1,2 = 28,6 \text{ шт.}$$

Приймаємо  $Z_1 = 28$  шт.,

Підставляємо значення у формулу 3.9 і проводимо розрахунок:

$$n = \frac{60 \cdot 10^3}{28 \cdot 19,5} \cdot 0,4 = 43,9 \text{ хв}^{-1}.$$

Коефіцієнт який враховує умови монтажу визначаємо за формулою:

$$K_e = K_\delta \cdot K_a \cdot K_H \cdot K_p \cdot K_{cm} \cdot K_\Pi, \quad (3.13)$$

де,  $K_\delta = 1$  - динамічний коефіцієнт при спокійному навантаженні;

$K_a = 1$  - при  $\varphi = (30 \div 50)t$ ;

$K_H = 1$  - при нахилі ланцюга до  $60^\circ$ ;

$K_p = 1,25$  - при періодичному натягуванні ланцюга;

$K_{cm} = 1,3$  - при періодичному змащуванні;

$K_\Pi = 1$  - при роботі в одну зміну;

$$K_e = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1,3 \cdot 1 = 1,625.$$

Підставляємо значення у формулу 4.10 і проводимо розрахунок:

$$T_1 = \frac{30 \cdot 0,548 \cdot 10^3}{43,9 \cdot 3,14} = 119,2 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

Підставляємо значення у формулу 3.9 і проводимо розрахунок:

$$t \geq 2,83 \sqrt{\frac{119,2 \cdot 10^3 \cdot 1,625}{28 \cdot 46 \cdot 1}} = 14,89 \text{ мм},$$

Приймаємо  $t = 15,875 \text{ мм}$ .

Тиск в ланцюгу визначаємо за формулою:

$$P = \frac{N}{V}, \quad (3.14)$$

де,  $N = 548 \text{ Вт}$  - потужність на валу;

$$P = \frac{548}{0,4} = 1370 \text{ Н} = 137 \text{ кг}.$$

Силу з якою ланцюг діє на вал визначаємо за формулою:

$$Q_g = K_a \cdot P, \quad (3.15)$$

де  $K_a = 1,05$  - поправочний коефіцієнт;

$$Q_g = 1,05 \cdot 137 = 143,8 \text{ кг},$$

Подільний діаметр зірочок визначається за формулами:

$$D_1 = \frac{t}{\sin 180^\circ / Z_1}, \quad (3.16)$$

$$D_2 = \frac{t}{\sin 180^\circ / Z_2}, \quad (3.17)$$

де,  $Z_2$  - кількість зубів більшої зірочки,

$$Z_2 = Z_1 \cdot n, \quad (3.18)$$

$$Z_2 = 28 \cdot 1,2 = 33,6 \approx 34 \text{ шт.}$$

Тоді:

$$D_1 = \frac{15,875}{\sin 180^\circ / 28} = 143,01 \text{ мм},$$

$$D_1 = \frac{15,875}{\sin 180^\circ / 34} = 172,55 \text{ мм}.$$

### 3.5 Розрахунок на міцність основних деталей подрібнювального барабана

Визначаємо діаметр вала подрібнювального барабана.

Вихідні дані для розрахунку:

Потужність на валу  $N = 0,548$  кВт;

Частота обертання вала  $n = 43,9$  хв<sup>-1</sup>.

Крутний момент на валу  $M_{кр} = 11,92$  кг·м = 119,2 кг·см;

Зусилля від ланцюгової передачі на вал  $Q = 143,8$  кг.

Сила з якою зірочки діють на вал:

$$P_1 = \frac{F_{нат} + F_{нб} + F_{зб}}{2}, \quad (3.19)$$

де,  $F_{нат}$  - зусилля натяжного пристрою, кг·см;

$$F_{нат} = F_3 + F_2 = 1183,6 + 1096 = 2279,6 \text{ Н} = 227,9 \text{ кг.}$$

Тоді:

$$P_1 = \frac{214,1 + 100 + 227,9}{2} = 27,1 \text{ кг·см.}$$

Будуємо епюри крутних моментів, які діють на вал:

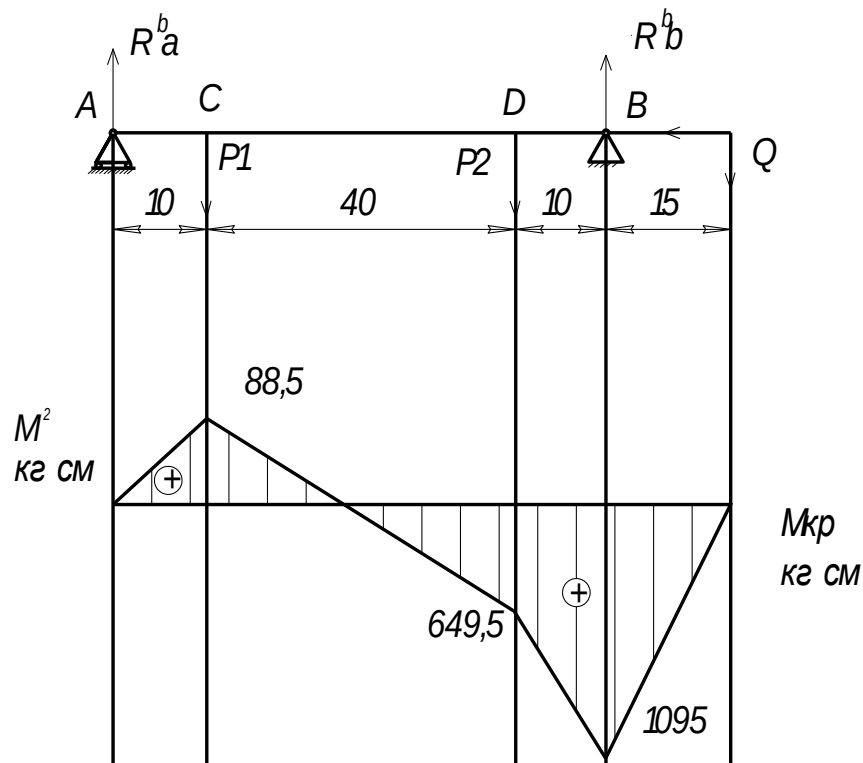


Рис. 3.2 – Епюри крутних моментів, які діють на вал

Вертикальна площина:

$$\sum M_A^e = 0,$$

тоді:

$$R_B^e = \frac{P_1 \cdot (10 + 40) + P_1 \cdot 10 + Q \cdot 75}{(10 + 40 + 10)} = \frac{27,1 \cdot 50 + 27,1 \cdot 10 + 143,8 \cdot 75}{60} = 206,85 \text{ см},$$

$\sum P = 0$ , тоді:

$$R_A^e = P_1 + p_2 - R_B^e + Q = 27,1 + 27,1 + 206,85 + 143,8 = 98,85 \text{ кг};$$

$$M_c^e = R_A^e \cdot 10 = 10 \cdot (-8,85) = 88,5 \text{ кг} \cdot \text{см};$$

$$M_d^e = R_A^e \cdot (10 + 40) - P_1 \cdot 40 = 8,85 \cdot 50 - 27,1 \cdot 40 = -641,5 \text{ кг} \cdot \text{см};$$

$$M_B^e = R_A^e \cdot (10 + 40 + 10) - P_1 \cdot (10 + 40 + 10) = 8,85 \cdot 60 - 27,1 \cdot 60 = -1095 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Навантаження симетричне, тому:

$$R_A^2 = R_B^2 = P_1 = 27,1 \text{ кг},$$

$$M_d^2 = P_1 \cdot 10 = 27,1 \cdot 10 = 271 \text{ кг} \cdot \text{см};$$

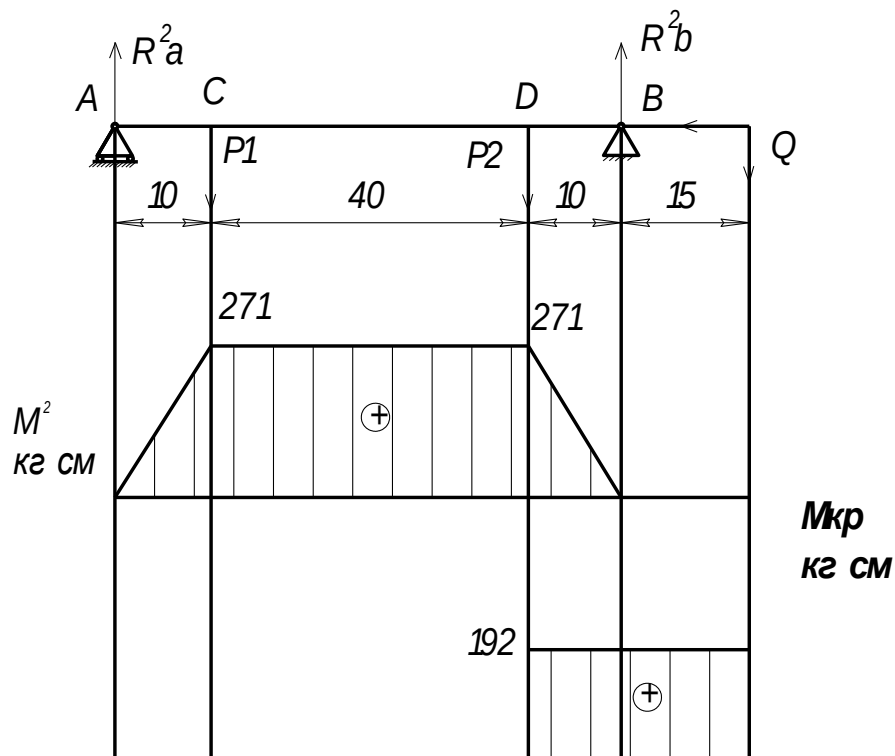


Рис. 3.3. Епюри приводного вала, горизонтальна площина

Сумарний момент визначаємо за формулою:

$$M_{\text{д}} = \sqrt{(M_{\text{д}}^{\text{с}})^2 + (M_{\text{д}}^2)^2},$$

$$M_{\text{д}} = \sqrt{641,5^2 + 271^2} = 696,3 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Приведений момент визначаємо за формулою:

$$M_{\text{днр}} = \sqrt{M_{\text{д}}^2 + (0,75 \cdot M_{\text{кр}})^2},$$

де 0,75 - коефіцієнт міцності,

$$M_{\text{днр}} = \sqrt{696,3^2 + (0,75 \cdot 119,2)^2} = 702,1 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Діаметр вала визначаємо за формулою:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{\text{днр}}}{0,1 \cdot [G_n]}},$$

де  $[G_n] = 750 \text{ кг/см}^2$  - допустима напруга для сталі 45.

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{702,1}{0,1 \cdot 750}} = 2,1 \text{ см}.$$

Приймаємо діаметр вала під підшипник  $d_{\text{с}} = 25 \text{ мм}$ .

Проводимо вибір підшипників.

Розрахунок і вибір підшипників здійснюємо для опори В, яка найбільш завантажена. Радіальну силу визначаємо за формулою:

$$R_{\text{в}} = \sqrt{(R_{\text{в}}^{\text{с}})^2 + (R_{\text{в}}^2)^2}.$$

Підставляємо числові значення:

$$R_{\text{в}} = \sqrt{206,85^2 + 27,1^2} = 208,6 \text{ кг}.$$

Визначаємо коефіцієнт працездатності за формулою:

$$C = (R_{\text{кк}} + mA) \cdot K_{\text{Г}} \cdot K_{\text{т}} \cdot (nh)^{0,3}.$$

де  $K_{\text{к}} = 1$  - обертається внутрішнє кільце;

$K_{\text{с}} = 1$  - характер навантаження – спокійне;

$K_{\text{т}} = 1$  - температура підшипника – до  $60^\circ$ ;

$h = 16000 \text{ год}$  – бажана довговічність підшипника;

$A = 0$  – осьова сила відсутня.

$$C = 208,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (43,9 \cdot 16000)^{0,3} = 11838 .$$

Коефіцієнту  $C = 11838$  відповідає підшипник серії 1205 ГОСТ 5720-75, у якого  $C = 12100$ .

Визначаємо діаметр вала подрібнювального ротора зернових культур.  
Вихідні дані для розрахунку:

Крутний момент на валу  $T = 59,6 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ ,

Максимальне зусилля на вал  $F = 853,3 \text{ Н}$ .

Складаємо розрахункову схему вала.

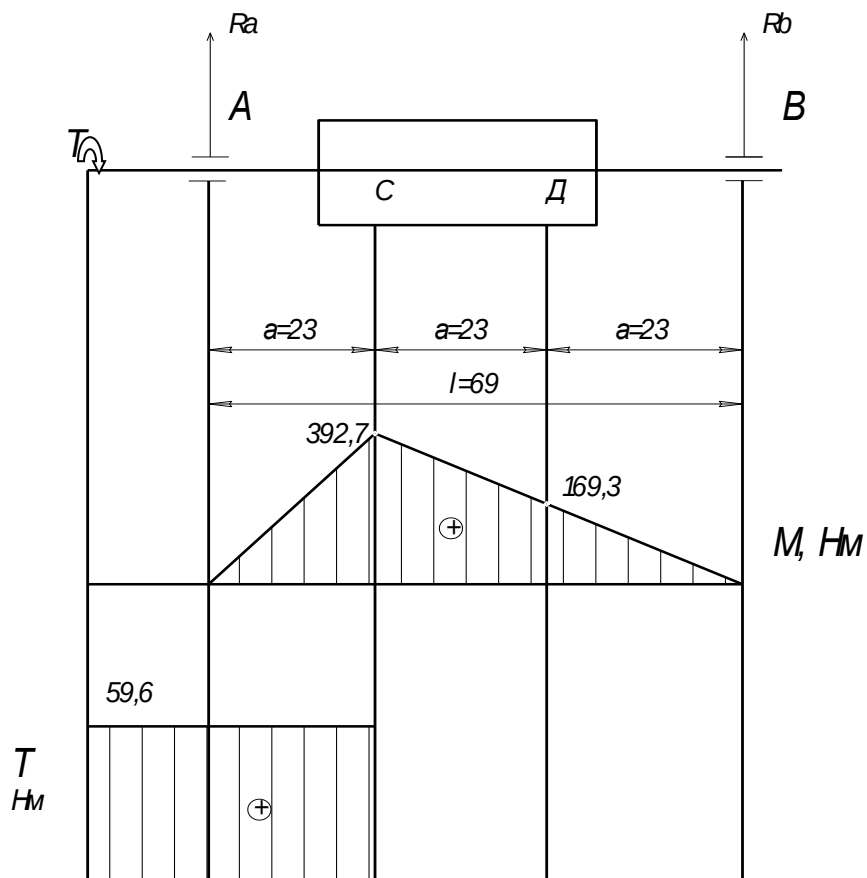


**Рис. 3.4. Розрахункова схема вала**

$$\Sigma M_A = 0 ,$$

тоді :

$$R_B \cdot e - F(2a + c) = 0,$$

або

$$R_B = F \cdot \frac{2a + c}{e}, \quad (4.20)$$

Підставляємо значення у формулу:

$$R_B = 853,7 \cdot \frac{2 \cdot 23 + 23}{69} = 853,7 \text{ Н}$$

Тоді:

$$R_A = 3F - R_B, \quad (4.21)$$

$$R_A = 3 \cdot 853,7 - 853,7 = 1717,4 \text{ Н.}$$

Згинаючі моменти:

$$M_C = R_A \cdot a = 1707,4 \cdot 0,23 = 392,7 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_D = R_B \cdot b = 853,7 \cdot 0,23 = 196,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Діаметр вала визначаємо по найбільшому моменту:

$$d_b = \sqrt[3]{\frac{392,7 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 7500}} = 8,05 \text{ см.}$$

Приймаємо  $d_b = 85 \text{ мм}$  під підшипник.

Згідно крутного моменту діаметр вала подрібнювача стеблових кормів приймаємо  $d_b = 85 \text{ мм}$ .

### 3.6 Вибір параметрів рифового рекатера

З усіх розглянутих вище типів рекатерів найбільш прийнятні для використання на комбайні КСК-100А рифові рекатери.

Параметри їх, згідно фізико-механічної моделі роботи доподрібнювальних пристроїв, умовно діляться на дві групи.

До першої з них відносяться (рис. 3.5, а):

$\theta_1$ - кут встановлення рифової поверхні відносно протиріжучої пластини;

$\theta_2$ - кут обхвату барабана рифовою поверхнею;

$z_1$  - кількість виступів;

До другої групи (рис. 3.5, б, в) параметрів можна віднести:

$\Delta$  - зазор між ножами і виступами;

$\alpha, \beta$  - кути встановлення граней рифів відносно радіуса підбарабання;

$h, t$  - висота та довжина виступів;

$\gamma$  - кут загострення виступів;

$\tau_2$  - кут нахилу виступів до твірної підбарабання.

Вибір параметрів рекатера (табл. 3.5) проводиться при наступних гіпотезах подрібнення виступами поверхні: безпосереднє руйнування при прямому центральному ударі; відбиття від поверхні виступів з подальшою дією ножів барабана; утворення багаточисельних ріжучих пар між лезом ножа і рифами.

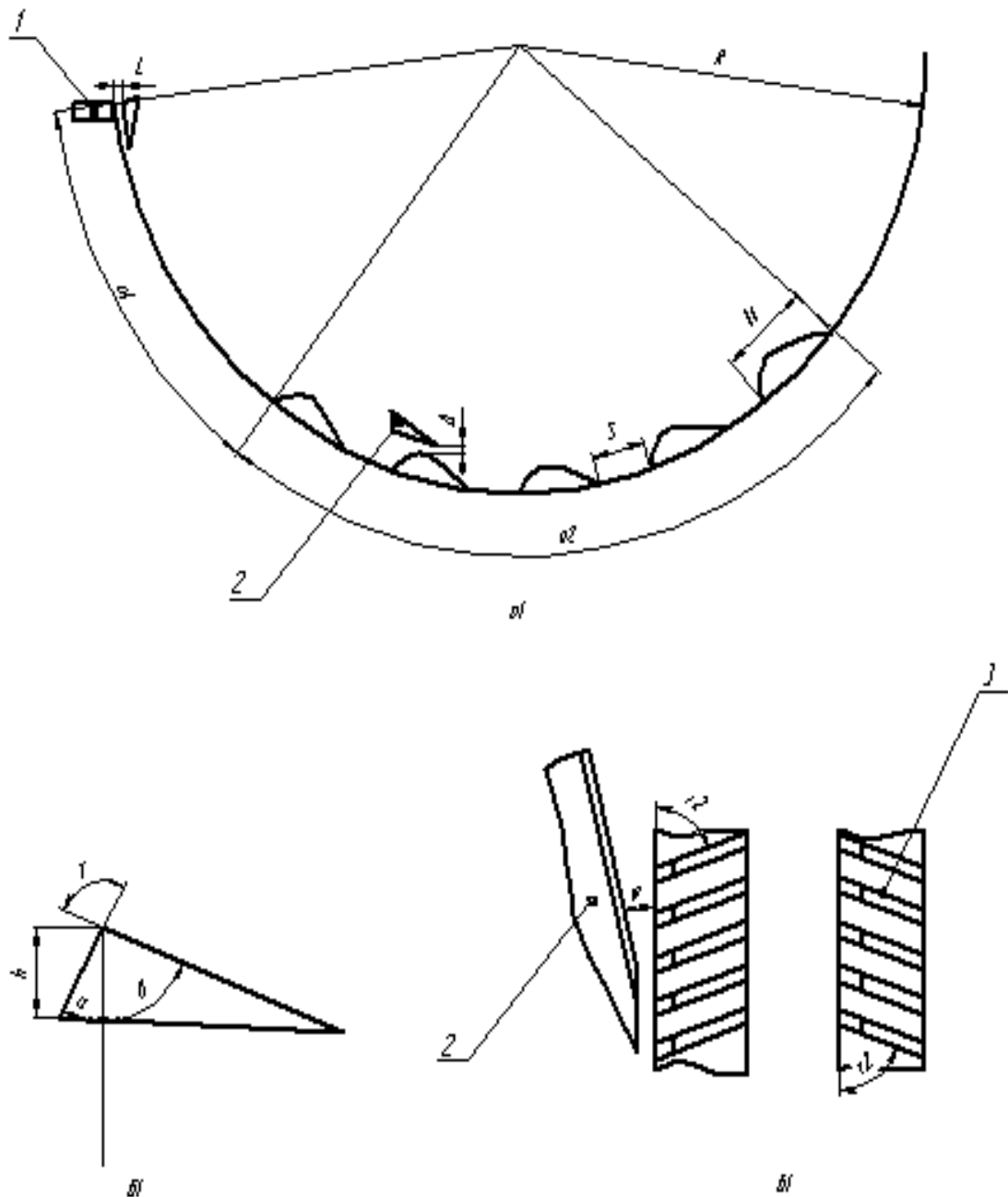


**Рис. 3.5. Основні параметри рифових рекатерів**

1 – протиріжуча пластина; 2 – ніж; 3 – рифова планка

**Розрахункові значення параметрів рифових рекатерів**

| Позначення | Значення параметра                                                          | Позначення та розрахункова формула                                                         | Значення параметра                                   |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| $\theta_1$ | 35 - 50 <sup>0</sup>                                                        | $\arccos(1 - \frac{L}{R}) \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} - (\varphi_1 - \varphi_2)$        | $10 - 15^0 \leq \alpha \leq 45 - 60^0$               |
| $\theta_2$ | Визначається з конструктивних, технологічних і техніко-економічних обмежень | $\beta = \pi - (\gamma + \alpha)$                                                          | $30 - 45^0 \leq \beta \leq 75 - 80^0$                |
| $\Delta$   | 1 - 2 мм                                                                    | $h = (0.85 - 1,1) d_{екв}$                                                                 | 4 - 18 мм                                            |
| $\gamma$   | 80 - 100 <sup>0</sup>                                                       | $t_1 = h(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)$                              | 25 - 90 мм                                           |
| $d_{екв}$  | 5 - 14 мм                                                                   | $\varphi_1 + \varphi_2 + \psi \leq \tau_2 \leq \pi/2 - \varphi_2$<br>$S = (3 - 4) d_{екв}$ | $20 - 25^0 \leq \tau_2 \leq 35 - 50^0$<br>15 - 40 мм |

де L — дистанція від точки сходу частинки, розташованої на тильній поверхні ножа, до підбарабання;

R — радіус кривизни підбарабання;

$\varphi_1, \varphi_2$  — кути тертя рослинної маси відповідно по поверхні ножа та підбарабання;

$d_{екв}$  — еквівалентний діаметр зернівки;

$\gamma$  — кут нахилу різального елемента відносно твірної лінії підбарабання.

У нашому випадку зазначеним параметрам відповідають планки рифленого бичового профілю згідно з ГОСТ 12492-82, що застосовуються для виготовлення бичів молотильних апаратів зернозбиральних комбайнів.

Зоотехнічні нормативи щодо якості подрібнення повною мірою забезпечує рекатер із рифленою поверхнею, сформованою планками бичового профілю, встановленими з кроком 15–40 мм.

При конструюванні рифленого рекатера у даному проекті прийнято: кут розташування рифової поверхні відносно протирізальної пластини  $\theta_1 = 50^\circ$ , кут охоплення барабана рифовою поверхнею  $\theta_2 = 70^\circ$ .

Зазор між різальними елементами та виступами рифової поверхні прийнято:  $\Delta = 2$  мм.

Висота виступів:

$$h = 1,4 \cdot 13 = 18,2 \text{ мм.}$$

Довжина виступів:

$$t_1 = 14 \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta) = 14 \cdot (\operatorname{tg} 30 + \operatorname{tg} 70) = 14 \cdot (0,577 + 2,74) = 45,7 \text{ мм.}$$

Кут загострення виступів становить:  $\gamma = 90^\circ$ ;

Кут нахилу виступів до твірної підбарабання:  $\tau_2 = 30^\circ$ ;

Відстань між рядами рекатерів:

$$S = 4 \cdot d_{\text{екв}} = 4 \cdot 5 = 20 \text{ мм;}$$

Радіус підбарабання:  $R = 248$  мм.

Підтвердженням позитивної ролі рекатера при силосуванні кукурудзи є кращі показники якості корму. При цьому, за даними Інституту кормів УААН (Грицун А.В., 2000) при збиранні кукурудзи в фазі воскової стиглості комбайном КСК-100А, відмічено зниження продуктивності комбайна на 12,7%, так як зросли енергозатрати на процес подрібнення.

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1 Аналіз стану охорони праці**

Відповідальність за забезпечення безпечних умов діяльності на підприємстві покладено на його директора, а в окремих структурних одиницях — на їхніх безпосередніх керівників. Інфраструктура господарства включає пункт харчування, лазневий комплекс, їдальню, медичний кабінет та побутове приміщення для працівників тваринницького напрямку. Втім, не всі виробничі підрозділи оснащені санітарно-побутовими та рекреаційними зонами.

Розпорядчим документом керівника на посаду фахівця з питань безпеки праці призначено спеціаліста з вищою технічною освітою за кваліфікацією інженера-механіка. Його професійний досвід в аграрній сфері становить 22 роки, з яких 14 місяців — на поточній посаді. До його функціональних обов'язків належить моніторинг дотримання норм безпеки у підрозділах, видача приписів щодо ліквідації виявлених порушень та організація навчальних заходів з охорони праці.

На підприємстві функціонує спеціалізований кабінет з питань безпеки праці площею 32 м<sup>2</sup>, де проводяться вступні інструктажі. Однак його матеріально-технічне забезпечення є незадовільним: відсутні інформаційні стенди, наочні матеріали та плакати, бракує актуальної нормативної документації, практично немає демонстраційних зразків засобів індивідуального захисту.

Атестація робочих місць тривалий час не здійснювалася. Інструктажі з безпеки праці формально проводяться з відповідною реєстрацією у журналах, проте їхня якість залишається низькою. Інформаційні куточки з питань охорони праці функціонують в усіх структурних підрозділах. Персонал, задіяний на роботах зі шкідливими та небезпечними виробничими факторами, отримує

необхідні захисні засоби, спецхарчування та молочні продукти. Виробничі зони підвищеної небезпеки оснащені попереджувальними знаками та сигнальними пристроями. Нагляд за дотриманням вимог безпеки здійснюється за триступеневою системою. Щороку формується план заходів з охорони праці із виділенням відповідного фінансування.

Оцінка фінансового забезпечення заходів з охорони праці на підприємстві.

Проведений аналіз засвідчує, що виділені кошти освоюються, однак їхній обсяг є недостатнім. Робота у сфері безпеки праці ведеться, але не досягає належного рівня, що підтверджується статистикою виробничого травматизму та професійної захворюваності. Головними чинниками травмування та розвитку професійних хвороб є:

1. Недосконала система управління охороною праці на підприємстві.
2. Ігнорування працівниками встановлених правил безпечного виконання робіт.
3. Формальний підхід до проведення інструктажів.

#### **4.2 Охорона праці механізаторів при збиранні кукурудзи на силос**

Площа, відведена під вирощування кукурудзи для силосування, становить 180 га. Віддаленість угідь від найближчого населеного пункту 2 км.

Забезпечення безпечних умов виконання робіт базується на неухильному дотриманні нормативних вимог охорони праці та застосуванні індивідуальних захисних засобів. Протипожежний захист агрегата передбачає наявність вогнегасника ОУ-5, штикової лопати, ємності з піском, резервуара з

водою, брезентового полотна, пристроїв захисту від накопичення статичної електрики та іскрогасника.

Організаційна відповідальність за дотримання вимог безпеки на полі покладається на бригадира, безпосередньо на агрегаті — на оператора-механізатора. До керування технікою допускаються особи, які досягли повноліття, мають відповідний виробничий стаж, пройшли медичне обстеження та курс навчання з питань охорони праці, а також отримали цільовий інструктаж перед початком сезонних польових робіт із оформленням допуску.

Весь задіяний персонал забезпечується спецодягом та необхідними засобами індивідуального захисту.

Тривалість однієї робочої зміни складає 10 годин, з яких одна година відводиться на харчування та перерву для відновлення сил. Прийом їжі організовано у спеціально визначеній рекреаційній зоні. Питну воду доставляють на поле автотранспортом.

Заготівля здійснюється методом прямого скошування комбайном КСК-100А, відвезення подрібненої сировини забезпечують вантажні автомобілі ГАЗ-САЗ-3507.

Під час експлуатації агрегата можливий вплив таких небезпечних виробничих факторів:

- ризик травмування внаслідок наїзду рухомої техніки;
- затягування відкритими обертовими вузлами машин та механізмів;
- защемлення жатковим адаптером;
- забруднення повітря у робочій зоні;
- підвищена концентрація пилу та інтенсивні вібраційні навантаження на робочому місці оператора.

### 4.3 Рекомендації по покращенню умов охорони праці

- ☐ Застосовувати системний підхід до покращення виробничих умов, організації побутового обслуговування та забезпечення повноцінного відновлення працівників.
- ☐ Оснастити польові бригади мобільними побутовими модулями для організації харчування та короткочасного відпочинку під час проведення сезонних робіт.
- ☐ Укомплектувати всю задіяну техніку та транспортні засоби медичними аптечками невідкладної допомоги та первинними засобами гасіння пожеж.
- ☐ Запровадити систематичне навчання персоналу з питань безпеки праці у міжсезонний період — взимку та у проміжках між посівними та збиральними кампаніями.
- ☐ Наростити обсяги фінансового забезпечення програм із підвищення рівня безпеки праці на підприємстві.

## 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

Для оцінювання економічної доцільності застосування модернізованого комбайна КСК-100А, оснащеного рекатером, необхідно обрати еталон для порівняльного аналізу. Роль базового варіанту виконує серійний комбайн КСК-100А без додаткового обладнання.

Ключовими критеріями економічної оцінки слугують: трудомісткість виконання робіт, прямі операційні витрати, питомий та сукупний річний економічний ефект, а також період повернення інвестицій у виготовлення модернізованого вузла. Обчислення зазначених параметрів потребує інформації щодо експлуатаційної продуктивності та витрат пального при заготівлі кукурудзи на силос обома варіантами агрегатів, їхньої первісної вартості та низки додаткових вихідних параметрів.

Початкові дані, необхідні для економічного обґрунтування доцільності впровадження комбайна з модернізованим подрібнювальним апаратом, систематизовано у таблиці 5.1

Таблиця 5.1

### Вихідні дані до розрахунку економічної ефективності

| Показники                    | Комбайн  |                                     |
|------------------------------|----------|-------------------------------------|
|                              | КСК-100А | КСК-100А<br>обладнаний<br>рекатером |
| Продуктивність, т/год.       | 100      | 89                                  |
| Питомі витрати палива, кг/га | 2,4      | 2,7                                 |
| Вартість, грн.               | 100000   | 123400                              |

Затрати праці при збиранні кукурудзи на силос визначимо за формулою:

$$Z_{\Pi} = \frac{M}{W_r}, \quad (5.1)$$

де  $M$  - кількість обслуговуючого персоналу, чол.;

$W_r$  - продуктивність комбайна за годину змінного часу, т/год.

Оскільки комбайн обслуговує один механізатор (тракторист), то за формулою (5.1) будемо мати:

- затрати праці при збиранні кукурудзи на силос комбайном КСК-100А:

$$З_{п.б.} = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ люд.} - \text{год./га.}$$

- затрати праці при збиранні кукурудзи на силос комбайном КСК-100А обладнаним рифовим рекатером:

$$З_{п.м.} = \frac{1}{89} = 0,0112 \text{ люд.} - \text{год./га.}$$

Отже, збільшення затрат праці при збиранні розробленим комбайном становить 0,0012 люд.-год./га.

Питомі прямі експлуатаційні витрати на збирання кукурудзи визначимо за формулою:

$$C = C_{on} + C_{pa} + C_{кто} + C_{пмм}, \quad (5.2)$$

де  $C_{on}$  - оплата праці з нарахуваннями, грн./га;

$C_{pa}$  - відрахування на реновацію, грн./га;

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

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

В господарстві прийнята наступна система оплати праці працівників, які зайняті при збиранні кукурудзи на силос. Оплату праці механізаторів здійснюють по 1-му класу тарифної сітки із розрахунку 1260 грн. за виконану норму виробітку.

Виходячи із вищезазначеного оплату праці можна визначити за формулою:

$$C_{on} = \frac{M \cdot \alpha \cdot T_m}{W_{зм.н.}}, \quad (5.3)$$

де  $T_m$  - оплата праці механізаторам за змінну норму виробітку грн.;

$\alpha$  - коефіцієнт, який враховує нарахування на заробітну плату  $\alpha = 1,38$ ;

$M$  - відповідно кількість механізаторів, які обслуговують агрегат;

$W_{з.н.}$  - змінна норма виробітку, га.

Тоді витрати на оплату праці становлять:

- при збиранні комбайном КСК-100А:

$$C_{on} = \frac{1 \cdot 1,38 \cdot 1260}{12,4} = 140,2 \text{ грн. / га};$$

- при збиранні комбайном КСК-100А обладнаним рекатером:

$$C_{on} = \frac{1 \cdot 1,38 \cdot 1260}{10,7} = 162,5 \text{ грн. / га}.$$

Відрахування на реновацію комбайна  $C_{pa}$  грн./га, визначають так:

$$C_{pa} = \frac{\alpha_{p.m} \cdot B_k}{100 \cdot W_{г.ек} \cdot t_{н.к}}, \quad (5.4)$$

де  $\alpha_{кк}$  - норма річних відрахувань на реновацію від балансової вартості кормозбирального комбайна, %;

$B_k$  - балансова вартість кормозбирального комбайна, грн.;

$W_{г.ек}$  - продуктивність комбайна за годину експлуатаційного часу, га.;

$t_{н.к}$  - зональне річне завантаження кормозбирального комбайна, год..

За нормативами річне завантаження базового комбайна КСК-100А становить завантаження 120 год.;

- балансова вартість 100000 грн.;

- норма річних відрахувань на реновацію - 16,6 %,

- на поточний ремонт і технічне обслуговування - 20 %.

Визначимо балансову вартість розробленого комбайна, який обладнаний рекатерами. Для визначення вартості використаємо вартість комбайна КСК-100А, яка складає  $B_k = 100000$  грн., та вартість рифового рекатера, яка складає  $B_p = 15000$  грн., вартість зірочок  $B_z = 5000$  грн., та вартість переобладнання  $B_n = 3400$  грн.

Отже, балансова вартість модернізованого комбайна визначається за формулою:

$$B_{\text{в}} = B_{\text{к}} + B_{\text{р}} + B_{\text{з}} + B_{\text{н}} = 100000 + 15000 + 5000 + 3400 = 123400 \text{ грн.} \quad (5.5)$$

Тоді, витрати на амортизацію будуть дорівнювати:

- для базового комбайна:

$$C_{\text{б.к.}} = \frac{16,6 \cdot 100000}{100 \cdot 1,77 \cdot 120} = 78 \text{ грн. / га,}$$

- для модернізованого комбайна:

$$C_{\text{м.к.}} = \frac{16,6 \cdot 123400}{100 \cdot 1,52 \cdot 120} = 112 \text{ грн. / га.}$$

Відрахування на капітальний і поточний ремонти, а також технічне обслуговування,  $C_{\text{кто}}$  грн./га, обчислюють за формулою:

$$C_{\text{кто}} = \frac{\alpha_{\text{кк}} \cdot B_{\text{к}}}{100 \cdot W_{\text{з.ек.}} \cdot t_{\text{н.к.}}} \cdot \frac{1}{100 \cdot W_{\text{з.ек.}}} \cdot \left( \frac{\alpha_{\text{нк}} \cdot B_{\text{к}}}{t_{\text{н.к.}}} \right), \quad (5.6)$$

де  $\alpha_{\text{кк}}$  - норма річних відрахувань на капітальний ремонт комбайна, %;

$\alpha_{\text{нк}}$  - норма річних відрахувань на поточний ремонт від балансової вартості кормозбирального комбайна, %;

$t_{\text{нк}}$  - нормативне річне завантаження комбайна, год.

Тоді, відрахування на ремонти і ТО:

- для базового комбайна:

$$C_{\text{ра}} = \frac{7 \cdot 100000}{100 \cdot 1,77 \cdot 120} + \frac{1}{100 \cdot 1,77} \left( \frac{20 \cdot 100000 \cdot 1}{120} \right) = 127 \text{ грн / га,},$$

- для модернізованого комбайна:

$$C_{\text{ра}} = \frac{7 \cdot 123400}{100 \cdot 1,52 \cdot 120} + \frac{1}{100 \cdot 1,52} \left( \frac{20 \cdot 123400}{120} \right) = 182 \text{ грн / га.}$$

Питомі витрати на паливо - мастильні матеріали:

$$C_{\text{нмм}} = Q \cdot \Pi_{\text{к}}, \quad (5.7)$$

де  $Q$  - витрати палива, л/га;

$\Pi_{\text{к}}$  - ціна палива, грн./л.

Комплексна ціна включає витрати на основне і пускове паливо, а також на мастильні матеріали. Норми витрат мастильних матеріалів в % до основного

палива для МТА становлять: дизельне мастило - 5 %; автотракторне мастило - 3,7 %; солідол - 0,5 %; трансмісійне мастило - 0,8 %.

Вартість палива і мастил коливаються на ринку і залежать від об'ємів закупок, постачальника і інших факторів. З врахуванням сьогоднішніх цін приймаємо комплексну ціну ПММ 45 грн./л. Тоді, питомі витрати на паливо і мастильні матеріали будуть дорівнювати:

- для базового комбайна:

$$C_{пмм}^{\delta} = 2,4 \cdot 75 = 208 \text{ грн./га,}$$

- для модернізованого комбайна:

$$C_{пмм}^M = 2,7 \cdot 75 = 221 \text{ грн./га.}$$

Загальні питомі прямі експлуатаційні витрати при збиранні кукурудзи на силос становлять:

- серійним комбайном КСК-100А:

$$C_{\sigma} = 140,2 + 78 + 127 + 108 = 433,2 \text{ грн./га,}$$

- комбайном КСК-100А обладнаним ребристим рекатером:

$$C_{,м} = 162,5 + 112 + 182 + 121 = 577,5 \text{ грн./га.}$$

При встановленні рифових рекатерів зростають енергетичні затрати на технологічний процес. Це є основною причиною зниження продуктивності комбайна. В нашому випадку вона була менша на 11%. Проте збільшення цих енергозатрат на процес подрібнення кукурудзи компенсуються вищою енергетичною цінністю одержаного силосу, а відповідно й кращою його продуктивною дією.

Так як, в базовому варіанті кормозбирального комбайна в 1 кг силосу міститься 0,2 к.о., то в розроблювальному КСК-100А, який обладнаний рекатером 0,23 к.о. При збиральній площі 180 га і врожайності 230 ц/га ми знайдемо, яка кількість кормових одиниць буде при збиранні базовим та модернізованим комбайном:

$$K = 100 \cdot (S \cdot Q) \cdot K_o, \quad (5.8)$$

де,  $S$  – площа поля, га.;

$Q$  – врожайність, ц/га.;

$K_o$  – кількість кормових одиниць в 1 кг. силосу.

$$K_{\kappa\bar{o}} = 100 \cdot (180 \cdot 230) \cdot 0,2 = 828000 \text{ к.о.};$$

$$K_{\kappa m} = 100 \cdot (180 \cdot 230) \cdot 0,23 = 952200 \text{ к.о..}$$

При тому, що 1 к.о. прирівнюється до 1 кг вівса, ринкова ціна якого на даний час становить 25 грн. Тоді визнаємо наскільки прибутковим буде модернізований комбайн:

$$K_{\bar{o}} = 828000 \cdot 25 = 20700000 \text{ грн.}$$

$$K_m = 952200 \cdot 25 = 23805000 \text{ грн.}$$

де,  $K_{\bar{o}}$ ,  $K_m$  - базовий та модернізований комбайн.

Отже, прибуток буде рівний:

$$\Pi = M_{\kappa} - B_{\kappa} = 23805000 - 20700000 = 3105000 \text{ грн.} \quad (5.9)$$

Визначимо річний економічний ефект від впровадження модернізованого комбайна:

$$E_p = E_n \cdot B + \Pi, \quad (5.10)$$

де  $E_n$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень

$$E_n = 0,15;$$

$\Delta B$  - витрати на модернізацію комбайна, грн..

$$E_p = 0,15 \cdot 23400 + 3105000 = 3109010 \text{ грн.}$$

Визначимо термін окупності витрат на модернізацію комбайна:

$$T_{ок} = \frac{\Delta B}{E_p}, \quad (5.18)$$

де,  $T_{ок}$  - термін окупності.

$$T_{ок} = \frac{23400}{3105000} = 0,0075 \text{ роки} = 1 \text{ сезон.}$$

Результати розрахунку економічної ефективності запропонованого силосозбирального комбайна в таблиці 5.2.

**Основні економічні показники проекту**

| Назва показників                         | Агрегат |                | Відхилення<br>(+,-) |
|------------------------------------------|---------|----------------|---------------------|
|                                          | Базовий | Модернізований |                     |
| 1. Балансова вартість комбайна, грн.     | 100000  | 123400         | +23400              |
| 2. Продуктивність, т/год.                | 100     | 89             | -11                 |
| 3. Затрати праці, люд.-год./га.          | 0,01    | 0,0112         | +0,0012             |
| 4. Прямі експлуатаційні витрати, грн./га | 433,2   | 577,5          | +144,3              |
| в тому числі:                            |         |                |                     |
| оплата праці                             | 140,2   | 162,5          | +22,3               |
| відрахування на реновацію                | 78      | 112            | +34                 |
| відрахування на ремонти і ТО             | 127     | 182            | +55                 |
| витрати на ПММ                           | 121     | 108            | +13                 |
| 5. Прибуток, тис. грн.                   | 20700   | 23805          | +3105               |
| 6. Річний економічний ефект, тис. грн.   | 3109    |                |                     |
| 7.Строк окупності витрат, сезонів        | 1       |                |                     |

Результати розрахунків економічної ефективності запропонованого силосозбирального комбайна показують, що запровадження його у виробництво дасть змогу одержати річний економічний ефект в сумі 3109010 грн., а затрати окупляться протягом 1 сезону експлуатації.

## ВИСНОВКИ

- Кормова цінність та ефективність використання кукурудзяного силосу визначаються особливостями технологічного процесу заготівлі, фракційним складом січки, інтенсивністю руйнування зернової фракції та якістю трамбування у сховищі.
- Оптимальний вихід поживних компонентів з одиниці посівної площі кукурудзи досягається при збиранні у фазі воскової стиглості зерна. Найвищі якісні та енергетичні показники силосу забезпечуються саме за цих умов дозрівання при подрібненні рослинної маси до фракції 10 мм та рівні пошкодження зернівок понад 95%. Така сировина легко піддається ущільненню, ферментативні процеси розвиваються у сприятливому напрямку, а непродуктивні втрати сухої речовини скорочуються у 1,5–2,5 рази.
- Задля досягнення необхідного ступеня переробки рослинної маси, насамперед зернового компонента, при консервуванні кукурудзи пізніх стадій розвитку кормозбиральну техніку слід доукомплектовувати додатковими подрібнювальними елементами — рекатерами.
- Налаштування різального механізму комбайна на теоретичну довжину січки 7,2 мм у поєднанні з монтажем рекатера, рифлена поверхня якого охоплює барабан під кутом  $104^\circ$ , гарантує руйнування 95,1% зернівок та формування маси, що містить 61,1% частинок фракцією до 10 мм.
- Силосозаготівля з дрібноподрібненої кукурудзи воскової стиглості агрегатом, оснащеним рекатером, супроводжується підвищенням енергоспоживання на етапі подрібнення. Однак це компенсується зменшенням витрат на транспортування та трамбування дрібнофракційної сировини. Сумарні енерговитрати на заготівлю тонни силосу при цьому нижчі на 6,7 МДж (5,99%) порівняно із переробкою крупноподрібненого матеріалу.
- Належна ефективність роботи рекатера забезпечується при формуванні його рифленої поверхні з планок бичового профілю, виготовлених відповідно до ГОСТ 12492-82.

- Економічні розрахунки підтверджують доцільність впровадження запропонованої модернізації кормозбирального комбайна: очікуваний річний економічний ефект становитиме 3 109 010 грн, при цьому інвестиції у виготовлення додаткового обладнання окупляться впродовж одного збирального сезону.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабич А. О., Хіміч В. В., Кулик М. Ф. Технологія приготування кормів з кукурудзи. Київ : Урожай, 1989. 128 с.
2. Більченко Г. Короткі рекомендації щодо заготівлі силосу. *Agroexpert: Практичний посібник аграрія*. 2010. № 8–9. С. 82–84.
3. Виробництво, зберігання і використання кормів / В. Ф. Петриченко, М. Ф. Кулик, І. І. Ібатулін та ін. Вінниця, 2005. 472 с.
4. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини. Київ : Каравела, 2004. 552 с.
5. Грицун А. В., Жуков В. П., Олішинський С. І. Технологічні особливості заготівлі силосу з кукурудзи пізніх фаз вегетації. *Інженерні проблеми сільськогосподарського виробництва України : тези доп. наук.-практ. конф.* Київ, 1995. С. 118–119.
6. Довідник по заготівлі і зберігання кормів / А. О. Бабич, О. Н. Олішинський, В. А. Ясенецький та ін. Київ : Урожай, 1992. 223 с.
7. Експлуатація машино-тракторного парку в аграрному виробництві / за ред. В. Ю. Ільченка. Київ : Урожай, 1993. 286 с.
8. Жуков В. П., Кулик М. Ф. Секрети приготування силосу з кукурудзи. *Пропозиція*. 2001. № 6. С. 38–40.
9. Карпенко М. И. С применением ножевого поддона. *Кукуруза и сорго*. 1992. № 3. С. 32–39.
10. Комбайн силосоуборочный скоростной КСК-100А : техническое описание и инструкция по эксплуатации / под ред. А. И. Козеко. Гомель, 1990. 156 с.
11. Кравчук В. І., Луценко М. М., Мечта М. П. Прогресивні технології заготівлі, приготування і роздавання кормів : наук.-практ. посіб. Київ : Фенікс, 2008. 104 с.
12. Кулик М. Ф., Кириченко В. І. Технологічна система обладнання для зберігання зерна. *Сучасні та перспективні технології зберігання і*

*використання вологого зернофуражу*. Київ : Світ, 2000. С. 70–79.

13. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур : підручник. 2-ге вид., виправл. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 808 с.
14. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підручник : у 2 т. Т. 1 / А. В. Рудь, І. М. Бендера, Д. Г. Войтюк та ін. ; за ред. А. В. Рудя. Київ : Агроосвіта, 2012. 584 с.
15. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підручник : у 2 т. Т. 2 / А. В. Рудь, І. М. Бендера, Д. Г. Войтюк та ін. ; за ред. А. В. Рудя. Київ : Агроосвіта, 2012. 432 с.
16. Павленко С. И. Повышение качества подготовки консервируемой кукурузы доизмельчающими устройствами : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1990. 16 с.
17. Прокопенко Л. С., Танцуров Г. В., Юрченко Х. Ф. Экспрес-методи визначення якості кормів. Київ : Урожай, 1987. 160 с.
18. Сільськогосподарські машини / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Агроосвіта, 2015. 679 с.
19. Сироватко К. М., Зотько М. О. Технологія кормів та кормових добавок : навч. посіб. Вінниця : ВНАУ, 2020. 268 с.
20. Технологія виробництва продукції рослинництва : підручник / С. П. Танчик, М. Я. Дмитришак, Д. М. Алімов та ін. Київ : Слово, 2008. 1000 с.
21. Царенко О. М. Рослинництво з основами кормовиробництва : навч. посіб. Суми : Університетська книга, 2003. 384 с.
22. Кукурудза на силос від А до Я: гібриди та технологія. *Kurkul.com*. 2020. URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/929-kukurudza-na-silos-vid-a-do-ya-use-pro-gibridi-ta-tehnologiyu> (дата звернення: 15.03.2026).
23. Кукурудза на силос — технологія вирощування та аспекти силосування. *LNZ Group*. 2020. URL: <https://www.lnz.com.ua/news/kukurudza-na-silos-tehnologia-virosuvanna-ta-aspekti-silosuvanna> (дата звернення: 15.03.2026).
24. Покрокова інструкція: заготовляємо силос з гібридів кукурудзи.

- Kurkul.com*. 2022. URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/1346-ekonomiya-na-kormah-zagotovlyayemo-silos-ta-vidmovlyayemos-vid-sina> (дата звернення: 15.03.2026).
- 25.Що треба враховувати при силосуванні кукурудзи. *AgroTimes*. 2023. URL: <https://agrotimes.ua/tvarinnitstvo/shho-treba-vrahovuvaty-pry-sylosuvanni-kukurudzy/> (дата звернення: 15.03.2026).
- 26.Правила якісної заготівлі кукурудзяного силосу. *Консультаційний центр АВМ*. 2023. URL: <https://avm-kc.org.ua/uk/post/pravila-akisnoi-zagotivli-kukurudzanogo-silosu> (дата звернення: 15.03.2026).
- 27.Утинкевич В. Кукурудзяний силос: аналіз поживності та висновки. *Консультаційний центр АВМ*. 2024. URL: <https://avm-kc.org.ua/uk/post/kukurudzaniy-silos-analiz-pozivnosti-ta-visnovki-zrobleni> (дата звернення: 15.03.2026).
- 28.Кормозбиральні комбайни: незамінні помічники в сільському господарстві. *Журнал «АгроЕліта»*. 2024. URL: <https://agroelita.info/kormozbyralni-kombayny-nezaminni-pomichnyky-v-silskomu-hospodarstvi/> (дата звернення: 15.03.2026).
- 29.Технологія вирощування кукурудзи на силос — зберігаємо поживні речовини. *Портал «Технологія та Годівля»*. 2024. URL: <https://tandf.in.ua/yak-pravylno-vyrostyty-ta-zibraty-kukurudzu/> (дата звернення: 15.03.2026).
- 30.Посібник із силосування кукурудзи. *KWS SAAT SE & Co. KGaA*. 2024. URL: <https://www.kws.com/ua/uk/agroservis/zbyrannya-urozhayu/sylosuvannya/posibnyk-iz-sylosuvannya-kukurudzy/> (дата звернення: 15.03.2026).

# ДОДАТКИ



Міністерство освіти і науки України  
Дніпровський державний аграрно -економічний університет  
Інженерно -технологічний факультет  
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**Ілюстративний матеріал**  
до захисту дипломного проекту на здобуття освітнього ступеня  
«Бакалавр» за освітньо-професійною програмою 208«Агроінженерія» зі  
спеціальності  
208 «Агроінженерія»  
на тему: **«Підвищення ефективності процесу заготівлі силосу шляхом  
модернізації кормозбирального комбайна**

Здобувач

Аккузін О.В.

Науковий керівник,  
доцент

Пономаренко Н.О.

Дніпро-2026

## ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАНІВ



Big X (Crone)



John Deere



New Holland FR



Maral-125



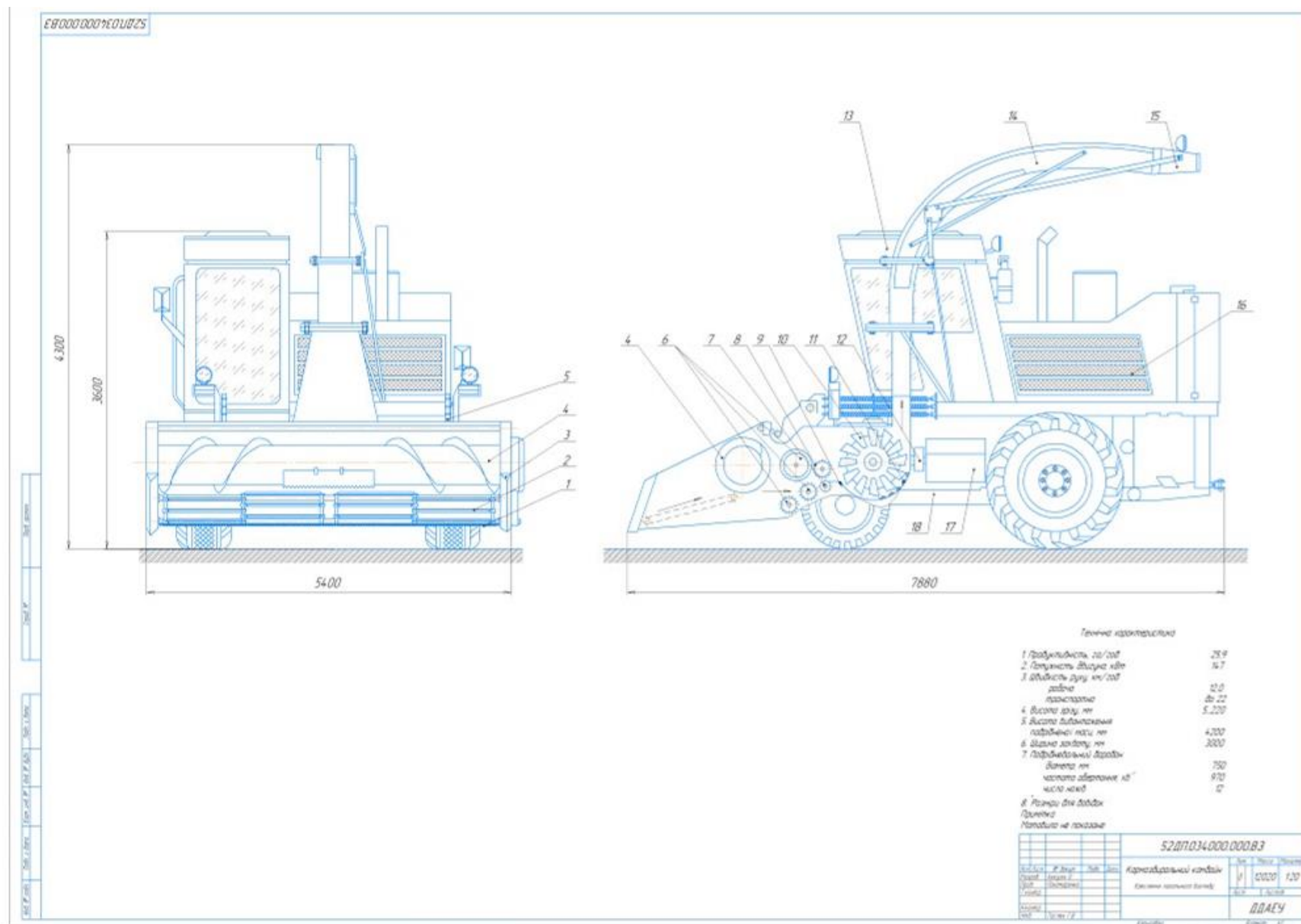
Jaguar

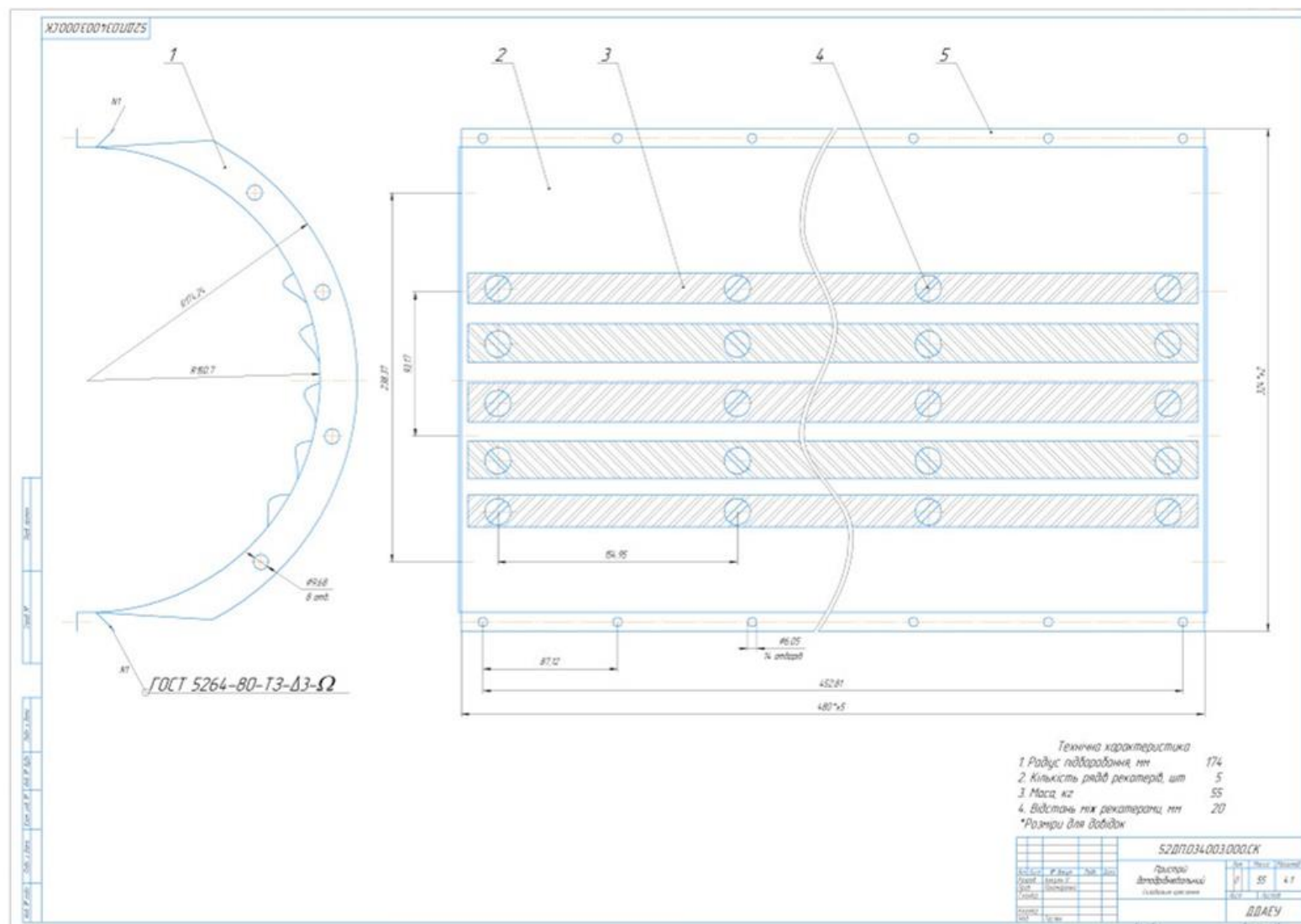


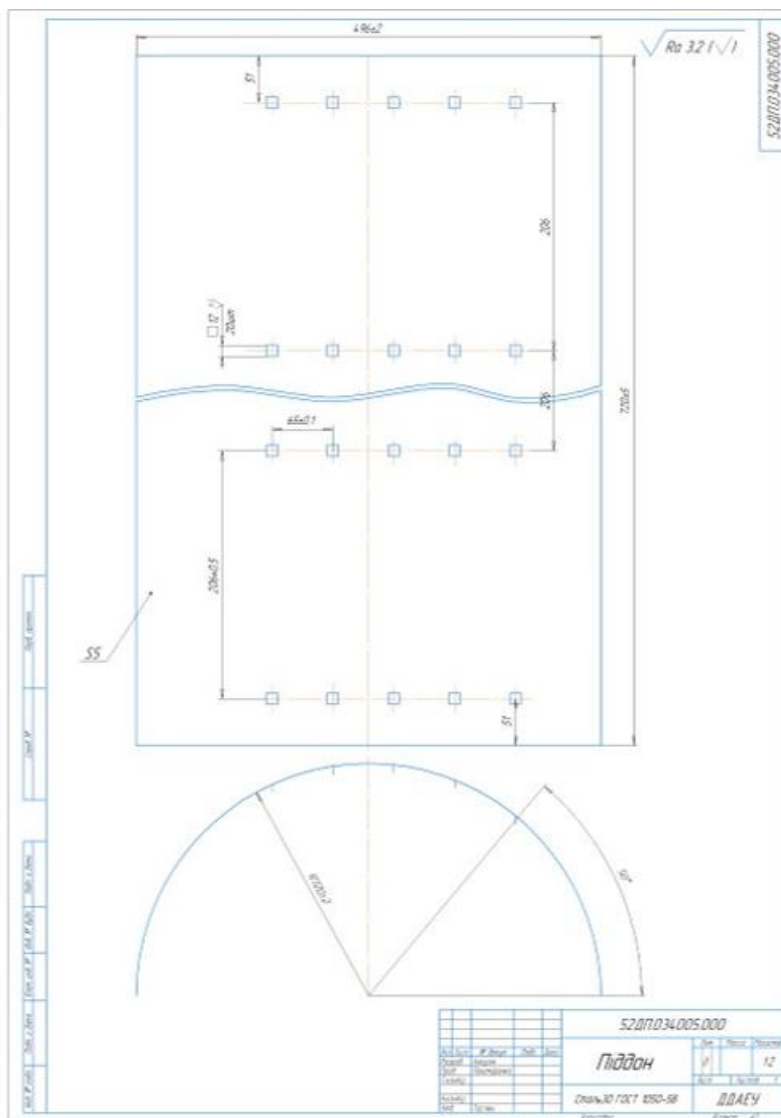
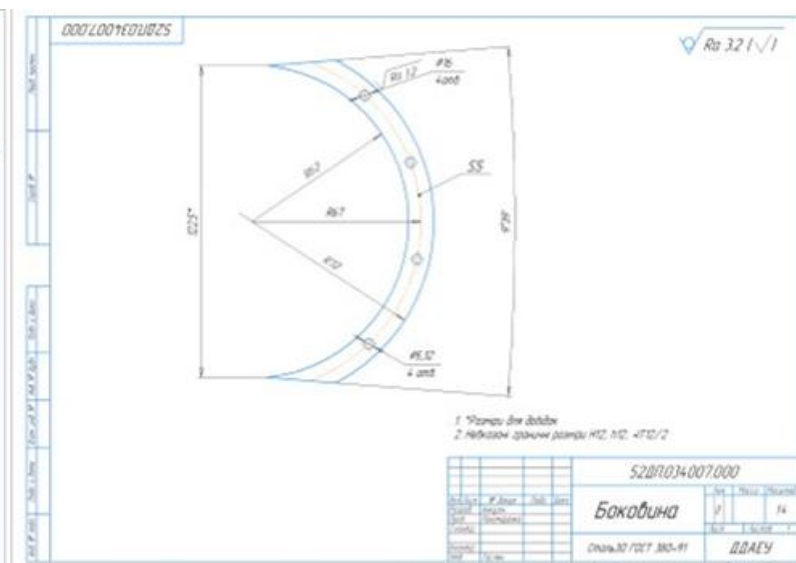
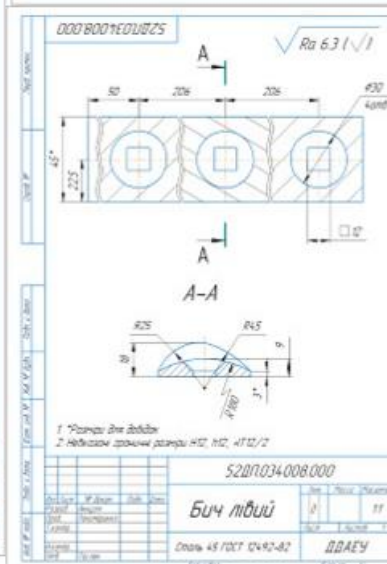
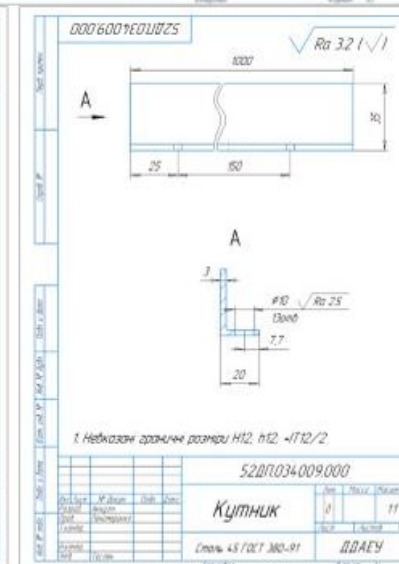
КПФ-2,4



КЗК-4,2 «Борекс»









### Основні економічні показники проекту

| Назва показників                         | Агрегат  |                | Відхилення<br>(+,-) |
|------------------------------------------|----------|----------------|---------------------|
|                                          | Базовий  | Модернізований |                     |
| 1. Балансова вартість комбайна, грн.     | 100000   | 123400         | +23400              |
| 2. Продуктивність, т/год.                | 100      | 89             | -11                 |
| 3. Затрати праці, люд.-год./га.          | 0,01     | 0,0112         | +0,0012             |
| 4. Прямі експлуатаційні витрати, грн./га | 433,2    | 577,5          | +144,3              |
| в тому числі:                            |          |                |                     |
| оплата праці                             | 140,2    | 162,5          | +22,3               |
| відрахування на реновацію                | 78       | 112            | +34                 |
| відрахування на ремонт і ТО              | 127      | 182            | +55                 |
| витрати на ПММ                           | 121      | 108            | +13                 |
| 5. Прибуток, грн.                        | 20700000 | 23805000       | +3105000            |
| 6. Річний економічний ефект, грн.        | 3109010  |                |                     |
| 7. Строк окупності витрат, сезонів       | 1        |                |                     |



## ВИСНОВКИ

1. Якість і продуктивна дія силосу з кукурудзи залежать від технології збирання, довжини різки маси, ступеня подрібнення зерна та ущільнення.
2. Максимальний вихід поживних речовин з гектара посівної площі кукурудзи забезпечується при збиранні в фазу воскової стиглості. Найвищої якості і поживності силос досягає при силосуванні кукурудзи в цій фазі, подрібненні рослин довжиною до 10 мм і частці в ньому зерна більше 95%. Такий силос добре ущільнюється, мікробіологічні процеси проходять у бажаному напрямку і в 1,5-2,5 рази зменшуються втрати сухої речовини.
3. Для забезпечення належного подрібнення маси, особливо зерна, при силосуванні кукурудзи пізніх фаз вегетації кормозбиральні комбайни необхідно обладнувати доподрібнювальними пристроями – рекатерами.
4. Регулювання різального апарату комбайна на довжину різки 7,2 мм і встановлення на ньому рекатера з кутом обхвату барабана ребристою поверхнею рівним  $104^\circ$  забезпечує подрібнення 95,1% зерна і вмісту маси, що силосується 61,1% частинок розміром до 10 мм.
5. Заготівля силосу з мілкоподрібненої кукурудзи воскової стиглості комбайном, обладнаним рекатером, супроводжується зростанням енергозатрат на подрібнення рослин. Це зростання компенсується зниженням втрат на перевезення та трамбування дрібної маси. Загальні затрати енергії на заготівлю тонни силосу при цьому менші на 6,7 МДж (5,991) у порівнянні з заготівлею його із грубоподрібненої сировини.
6. Задовільна робота рекатера досягається при утворенні рифів рекатера бичами молотильного апарата виготовлених по ГОСТ 12492-82.
7. Результати розрахунків економічної ефективності запропонованого кормозбирального комбайна показують, що запровадження його у виробництво дасть змогу одержати річний економічний ефект в сумі 3109010 грн., а затрати окупляться протягом 1 сезону експлуатації