

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

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

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Обґрунтування засобів механізації при вирощуванні  
кукурудзи на зерно з енергетичною оцінкою  
технологій**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-1-24

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Коробка Владислав Вікторович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Макаренко Дмитро Олександрович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ЕМТП

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Деркач О.Д.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«    » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**Коробці Владиславу Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Обґрунтування засобів механізації при вирощуванні кукурудзи на зерно з енергетичною оцінкою технологійкерівник роботи Макаренко Дмитро Олександрович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 24 » жовтня 2025 року № 3182

**2. Строк подання студентом роботи 11.12.2025****3. Вихідні дані до роботи** Обсяги посівів сільськогосподарських культур. Статистична інформація щодо врожайності зерна кукурудзи. Аналіз джерел літератури з обраної тематики роботи. Нормативні дані щодо енергоємності окремих складових при вирощуванні с.-г. продукції.**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити). Проаналізувати особливості технологій вирощування та вплив технологічних операцій на врожайність зерна кукурудзи. Обґрунтувати засоби механізації та розробити технологію вирощування зерна кукурудзи. Провести аналіз енергетичних показників технологій вирощування кукурудзи на зерно. Навести вимоги при внесенні робочих розчинів пестицидів та мінеральних добрив. Обґрунтувати економічну ефективність розробленої технології.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

Мета та основні завдання досліджень. Аналіз за обраним напрямком роботи (3 аркуші, А4). 2. Обґрунтування засобів механізації на виконання основних технологічних операцій (2 аркуші, А4) 3. Технологічні карти вирощування зерна кукурудзи (2 аркуші, А4) 3. Енергетичний аналіз технологій (2 аркуші, А4). 5. Економічна ефективність роботи (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4).

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Макаренко Д.О., доцент		
нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 01.10.2025р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз стану питання	до 15.10.2025 р.	виконано
2	Розробка технології вирощування зерна кукурудзи	до 29.10.2025 р.	
3	Енергетичний аналіз технологій	до 10.11.2025 р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2025 р.	
5	Економічна оцінка роботи	до 27.11.2025 р.	
6	Демонстраційна частина	до 07.12.2025 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Владислав КОРОБКА

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Дмитро МАКАРЕНКО

(ім'я та прізвище)



## АНОТАЦІЯ

Коробка В.В. Обґрунтування засобів механізації при вирощуванні кукурудзи на зерно з енергетичною оцінкою технологій / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». ДДАЕУ. Дніпро. 2025.

Встановлено, що за останні два роки спостерігається тенденція щодо збільшення обсягів посіву даної культури. Обґрунтовано склад засобів механізації для виконання більшості основних технологічних операцій. На основі раціональних складів МТА та наукових рекомендацій розроблено план механізованих робіт вирощування зерна кукурудзи на площі 174 га. Застосування розробленої технології сприяє зниженню питомої витрати пального на 20,5 %, що в кількісному еквіваленті становить 13 кг/га. Розроблена технологія виробництва зерна кукурудзи дозволяє зменшити на 37,7 % загальні енерговитрати на формування врожаю, з 16971,2 МДж/га до 10568,4 МДж/га. Коефіцієнт енергетичної ефективності, запропонованої технології, перевищує вказаний показник для базової на 68,9 %. Застосування розробленої технології вирощування зерна кукурудзи дозволяє знизити енергетичну ціну врожаю на 40,8 %. Впровадження розробленої технології одержання зерна кукурудзи сприяє зниженню собівартості продукції з 3370,9 грн/га до 3006,0 грн/га, що становить 10,8 %. Рівень рентабельності для розробленої технології складає 224,3 %, а для базової всього 189,2 %.

*Ключові слова:* кукурудза на зерно, обґрунтування засобів механізації, енерговитрати, енергетична ефективність, собівартість продукції, врожайність.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b><u>8</u></b>
<b>1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ТА АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЇЇ ВРОЖАЙНІСТЬ</b>	
1.1 Фізіологічні особливості вирощування кукурудзи на зерно	<u>10</u>
1.2 Значення та місце кукурудзи в сівозміні	<u>13</u>
1.3 Використання зерна кукурудзи в харчовому та промисловому виробництві	<u>16</u>
1.4 Залежність продуктивності кукурудзи на зерно від технологічних прийомів її вирощування	<u>19</u>
1.5 Обґрунтування теми дипломної роботи	<u>22</u>
<b>2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО</b>	
2.1 Особливості вирощування кукурудзи на зерно в залежності від природної зони	<u>25</u>
2.2 Обґрунтування засобів механізації для технологічних операцій вирощування кукурудзи	<u>27</u>
2.3 Розробка плану робіт вирощування зерна кукурудзи	<u>37</u>
<b>3. ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО</b>	
3.1 Визначення енергоємності виконання технологічних операцій	<u>43</u>
3.2 Оцінка енергетичної ефективності вирощування кукурудзи на зерно	<u>46</u>
3.3 Аналіз енерговитрат на вирощування зерна кукурудзи	<u>48</u>
3.4 Визначення енергетичної ціни врожаю зерна кукурудзи	<u>50</u>

<b>4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	
<b>ПРИ ВИКОНАННІ ОБПРИСКУВАННЯ</b>	<u>53</u>
<b>5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОБОТИ</b>	<u>57</u>
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	<u>61</u>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	<u>63</u>
<b>ДОДАТКИ</b>	<u>67</u>

## ВСТУП

Кукурудза займає провідне місце серед польових культур завдяки високій продуктивності, універсальності використання та здатності стабільно формувати врожай у широкому діапазоні природно-кліматичних умов. Необхідність вирощування кукурудзи на зерно обумовлена її стратегічним значенням для аграрної, продовольчої та енергетичної сфер. На відміну від багатьох інших зернових, вона має значний генетичний потенціал урожайності, що дає можливість отримувати великі обсяги зерна навіть за умов різних типів землеробства – від інтенсивних технологій до ресурсозберігаючих систем.

Економічна доцільність вирощування кукурудзи на зерно пов'язана з високою рентабельністю цієї культури. Вона забезпечує значний вихід продукції з одиниці площі, стабільний попит на внутрішньому й зовнішньому ринку та широкий спектр напрямів переробки, що гарантує вигідність її виробництва навіть у колибних ринкових умовах. Зерно кукурудзи активно використовують у харчовій промисловості, комбікормовому виробництві, спиртовій і крохмальній галузях, а також як сировину для виготовлення біоетанолу. Така багатофункціональність створює великі можливості для диверсифікації підприємств різних масштабів і підвищує їхню економічну стійкість.

Вирощування кукурудзи забезпечує робочі місця, створює додану вартість у переробних галузях і зміцнює продовольчу безпеку країни. У сучасних умовах, коли підвищується попит на екологічно чисту енергію, кукурудза стає також ключовою ланкою в розвитку відновлюваної енергетики завдяки використанню її зерна для отримання біоетанолу.

Обґрунтування технологічних операцій і вибору засобів механізації при вирощуванні зерна кукурудзи є важливою складовою ефективної організації виробничого процесу, оскільки кожен етап технології безпосередньо впливає на формування врожайності, економічну результативність та раціональне використання ресурсів. Кукурудза належить до культур з високим генетичним

потенціалом продуктивності, але повністю реалізувати його можливо лише за умови чіткого дотримання технологічних прийомів і застосування відповідної техніки.

Раціональний вибір засобів механізації дозволяє оптимізувати використання ресурсів, підвищити продуктивність технологічних процесів, мінімізувати собівартість і забезпечити стабільне отримання високих урожаїв. Це формує основу економічної ефективності, стійкості виробництва та конкурентоспроможності господарства в цілому.

Саме тому метою дипломної роботи є оптимізація вибору засобів механізації та технології при вирощуванні кукурудзи на зерно.

Завдання дипломної роботи:

1. Проаналізувати особливості технологій вирощування та вплив технологічних операцій на врожайність зерна кукурудзи.
2. Обґрунтувати засоби механізації та розробити технологію вирощування зерна кукурудзи.
3. Провести аналіз енергетичних показників технологій вирощування кукурудзи на зерно.
4. Навести вимоги при внесенні робочих розчинів пестицидів та мінеральних добрив.
5. Обґрунтувати економічну ефективність розробленої технології.

# 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ТА АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЇЇ ВРОЖАЙНІСТЬ

## 1.1 Фізіологічні особливості вирощування кукурудзи на зерно

Фізіологічні особливості вирощування кукурудзи на зерно охоплюють увесь комплекс процесів росту та розвитку рослини від проростання насіння до формування й досягання качанів. Кукурудза належить до теплолюбних культур, тому її фізіологія тісно пов'язана з температурним режимом, волого забезпеченням та інтенсивністю освітлення. Проростання відбувається лише тоді, коли температура ґрунту досягає щонайменше 8...10 °С, а оптимальні умови формуються за 12...15 °С, оскільки тільки за таких показників активізуються процес синтезу ферментів, що запускають розвиток зародка. У цей період важливим є достатнє зволоження ґрунту, адже від доступності води залежить набухання насіння, швидкість появи сходів та формування первинної кореневої системи.

Коренева система кукурудзи має мичкуватий характер і розвивається у кілька хвиль, утворюючи значну кількість коренів, що проникають у ґрунт на глибину понад метр. Це забезпечує рослині високу здатність поглинати вологу та мінеральні речовини навіть у посушливих умовах. Інтенсивний розвиток кореневої системи відбувається у фазі 5...8 листків, і саме в цей час закладається потенціал продуктивності: формується здатність рослини забезпечувати себе усіма необхідними елементами для майбутнього формування качана. Надземна частина кукурудзи теж характеризується високими темпами росту. Кукурудза вирізняється дуже ефективним механізмом фотосинтезу, що дає змогу оптимально використовувати сонячну енергію та забезпечує прискорене наростання біомаси навіть у спекотний період.

Ця культура відноситься до C4-рослин, які здатні концентрувати CO<sub>2</sub> у клітинах спеціальної будови, що значно підвищує продуктивність фотосинтезу.

На відміну від С3-культур, у яких в умовах спеки активізується фото дихання і знижується ефективність утворення органічних речовин, С4-рослини уникають цього процесу. У результаті цього С4-рослини мають низку важливих переваг: характеризуються підвищеною активністю фотосинтезу, що сприяє швидкому накопиченню рослинної маси; раціонально витрачають вологу завдяки меншій тривалості відкриття продихів; добре переносяться високі температури, що дає можливість отримувати стабільні врожаї в умовах спеки; а також здатні забезпечувати більшу продуктивність за достатнього рівня сонячного освітлення. Саме тому кукурудза, як типова С4-культура, може формувати великі врожаї навіть у посушливих умовах, де інші культури значно знижують продуктивність.

Максимальна інтенсивність фотосинтетичних процесів проявляється за температури 25...32 °С та достатнього освітлення, що робить кукурудзу однією з найпродуктивніших зернових культур.

Особливе значення має період викидання волоті та цвітіння, оскільки саме в цей момент проходить запилення і формується кількість зерен у качані. У цей час кукурудза дуже чутлива до дефіциту вологи та посухи. Недостатня кількість води призводить до асинхронного розвитку волоті й приймочок, що знижує ефективність запилення та зменшує майбутню врожайність. Оптимальною для запилення є помірна температура й достатня вологість повітря, що сприяє нормальному виділенню пилку. Після запилення починається інтенсивне формування зерна, яке залежить від активності фотосинтезу та доступності поживних речовин, особливо азоту, фосфору й калію. Важливим фізіологічним процесом цього періоду є перетікання продуктів фотосинтезу з листків у зерно – чим довше листковий апарат залишається зеленим і функціональним, тим вищою буде маса 1000 зерен і загальна продуктивність.

У період досягання зерно проходить стадії молочної, молочно-воскової та повної стиглості. На цих етапах завершується накопичення крохмалю, знижується вміст вологи та відбувається фізіологічне досягання качана.

Температура і вологість повітря відіграють ключову роль у швидкості досягання: теплі та сухі умови пришвидшують цей процес, тоді як прохолодна погода його затримує. Кукурудза як теплолюбна культура найкраще формує врожай у регіонах із тривалим без морозним періодом, інтенсивною сонячними днями та помірним зволоженням.

Таким чином, фізіологія кукурудзи визначає її високу продуктивність, але водночас робить культуру чутливою до нестачі тепла та вологи у критичні фази розвитку.

Одним із важливих факторів одержання високих врожаїв даної культури є правильно обраний попередник. Оптимальними попередниками для вирощування кукурудзи на зерно вважаються культури, після яких у ґрунті залишається достатній запас вологи, поживних речовин і відсутнє сильне засмічення. Найкраще кукурудза реагує на попередні рослини з добре розвиненою кореневою системою та культурні групи, що не мають спільних хвороб і шкідників.

Найбільш придатними попередниками є озимі зернові, такі як озима пшениця й озимий ячмінь. Вони рано звільняють поле, що дає змогу якісно провести обробіток ґрунту та накопичити вологу. Хороші результати забезпечують зернобобові культури, такі як горох або соя, оскільки вони підвищують вміст азоту в орному шарі та покращують структуру ґрунту. Непоганими попередниками також є багаторічні трави на один укіс, які залишають після себе розвинену кореневу систему й значну кількість органічних решток. У системах інтенсивного землеробства кукурудза добре росте після ріпаку або гречки, адже вони не виснажують ґрунт на азот та зменшують ризики поширення специфічних хвороб.

Менш бажаними попередниками є соняшник та просапні культури, які сильно висушують ґрунт, а також залишають значну кількість стеблових решток, що ускладнюють обробіток. Кукурудзу небажано висівати після самої себе тривалий період, оскільки це сприяє накопиченню хвороб, шкідників і

падалиці. Отже, правильний вибір попередника є одним з визначальних чинників для формування високої продуктивності кукурудзи.

## **1.2 Значення та місце кукурудзи в сівозміні**

Кукурудза на зерно займає важливе місце в структурі сівозміни завдяки своїм біологічним особливостям, гнучкості в умовах вирощування та значному господарському значенню. Це одна з найбільш продуктивних культур, яка ефективно використовує тепло, світло й вологу, тому її включення в сівозміну дозволяє підвищувати загальну полів. Кукурудза добре реагує на родючість ґрунту та здатна формувати високі врожаї після культур, які залишають після себе структурований орний шар і достатню кількість поживних речовин. Завдяки потужній мичкуватій кореневій системі вона здатна покращувати аерацію ґрунту, сприяти формуванню його грудкуватої структури та поліпшувати фізико-механічні властивості орного горизонту. У сівозміні кукурудза виконує роль універсальної культури, яка може розміщуватися як після ранніх зернових, так і після деяких технічних культур, забезпечуючи ефективне використання вологи, що накопичилася у ґрунті з осені й зими.

Значення кукурудзи також полягає у здатності вписуватись у схему сівозміни та доповнювати інші культури. Її ранній розвиток менш інтенсивний порівняно з деякими просапними культурами, тому вона не так сильно виснажує ґрунт у початковій фазі, а основні потреби у воді й поживних речовинах припадають на середину літа, що дозволяє рівномірно розподіляти навантаження на ґрунт. У той же час кукурудза добре використовує післядію органічних добрив, внесених під попередники, що робить її важливим елементом у системі повернення поживних речовин. Її вирощування сприяє зниженню забур'яненості полів, оскільки міжрядні обробітки і густий листовий полог формують умови, що пригнічують розвиток бур'янів. Включення кукурудзи в сівозміну допомагає розірвати цикли розвитку багатьох шкідників і хвороб, що поширені на зернових колосових або бобових

культурах, хоча потребує уваги до власних специфічних патогенів при вирощуванні на одному полі кілька років поспіль.

Загалом кукурудза виконує стратегічну роль у сівозміні, забезпечуючи стійкість агро екосистеми та оптимізуючи використання природних ресурсів. Її розміщення дозволяє рівномірно розподілити строки виконання польових робіт, раціонально використовувати технічні ресурси та запобігати монокультурному виснаженню ґрунтів. У поєднанні з зернобобовими, колосовими й технічними культурами кукурудза формує збалансовану сівозміну, яка підтримує родючість ґрунту, зменшує фітосанітарні ризики й сприяє стабільній продуктивності всього агроценозу.

Дані щодо посівної площі кукурудзи на зерно в Україні протягом останніх 10 років (рис. 1.1), у різних джерелах незначно відрізняється, проте мала певну тенденцію щодо зростання до початку повномасштабної війни [1-3].



Рисунок 1.1 – Динаміка посівних площ під вирощування кукурудзи на зерно в Україні за 2015-2025 рр.

*Джерело: узагальнено автором на основі даних [1-3]*

Обсяги сівби кукурудзи стабільно показували зростання до 2022 року. Після 2022 року спостерігається помітне скорочення площ через окупацію та (або) замінування частини земель і загальну воєнну та логістичну нестабільність. Втрата логістичних шляхів для експорту зерна кукурудзи стала однією з основних причин зменшення її площ, так як це культура, яка відноситься до експортно орієнтованих. Найбільші обсяги посівів кукурудзи на зерно було зафіксовано у 2021 році – майже 5,5 млн. га.

У загальній структурі сільськогосподарських угідь вирощування кукурудзи на зерно займає лідируючі позиції, навіть після значного зменшення обсягів на 24,6 % у 2025 році у порівнянні з 2021 роком. На рис. 1.2 наведено структуру посівних площ деяких основних культур в Україні на 2025 рік.

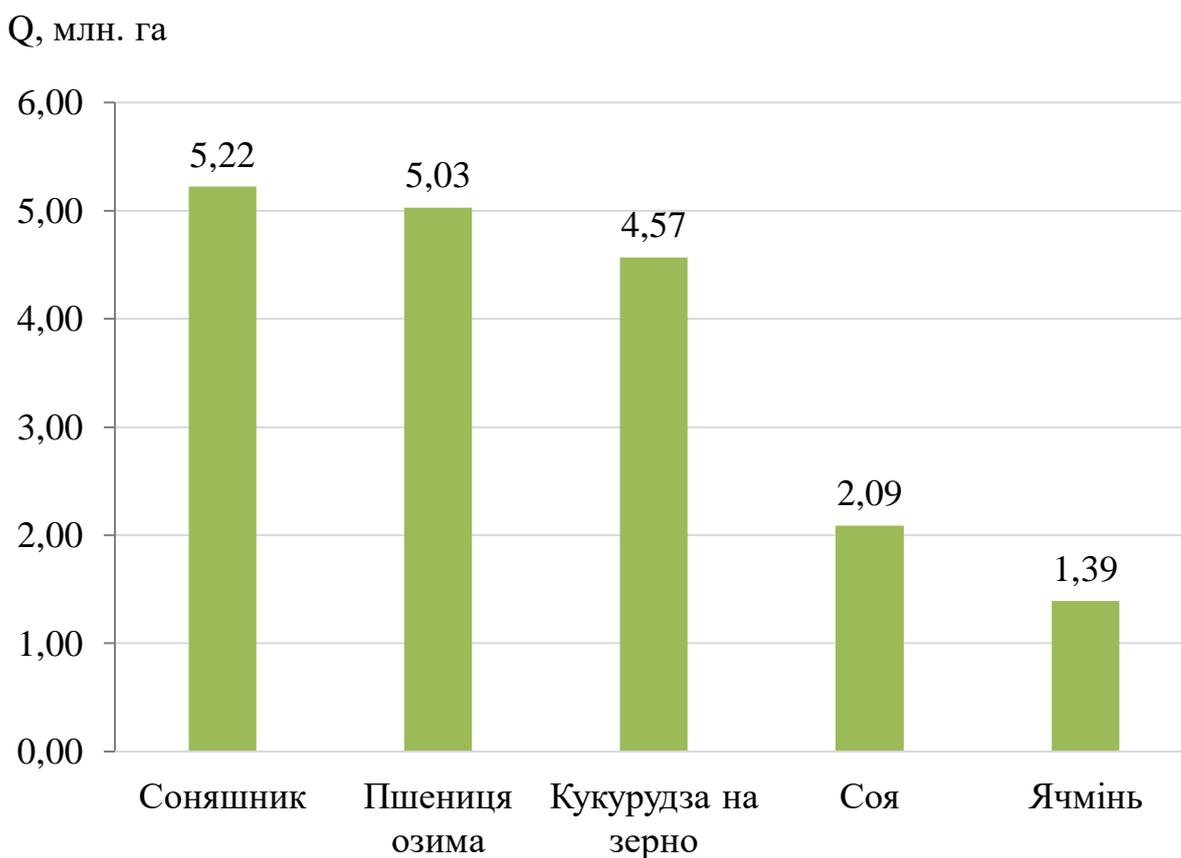


Рисунок 1.2 – Культури з найбільшими посівними площами у 2025 році  
Джерело: створено автором на основі даних [4]

Представлені дані (рис. 1.2) свідчить, що кукурудза на зерно входить в трійку сільськогосподарських культур України на обсягами посівних площ. Обсяги посівів кукурудзи майже наздогнали обсяги сівби пшениці озимої. При цьому, дана культура мало застосовується в харчовій промисловості на відміну від насіння соняшнику та зерна пшениці озимої.

### **1.3 Використання зерна кукурудзи в харчовому та промисловому виробництві**

Зерно кукурудзи має універсальне призначення і широко застосовується як у харчовій, так і в промисловій сферах, завдяки високому вмісту крохмалю, білків, жирів, вітамінів і різноманітних біологічно активних речовин. У харчовому виробництві кукурудза є основою для виготовлення крупи, борошна, пластівців, паличок та інших продуктів швидкого приготування. Кукурудзяне борошно активно використовують у хлібопекарській та кондитерській промисловості, а кукурудзяна олія – у виробництві кулінарних жирів і високоякісних рослинних олій, які цінуються за легке засвоєння та високий вміст ненасичених жирних кислот. Крохмаль із кукурудзи застосовують для виробництва киселів, соусів, пудингів, дитячого харчування та великої кількості напівфабрикатів. Значну частку становлять продукти глибокої переробки – глюкозно-фруктозні сиропи, декстроза, мальтодекстрин, які широко використовують у безалкогольній промисловості, кондитерському виробництві та харчових концентратів.

У промисловості кукурудза також відіграє важливу роль завдяки можливості переробляти її зерно на різні види сировини та матеріалів. Крохмаль слугує основою у виробництві біопластику, клейових матеріалів, паперу, картону, текстильної та фармацевтичної продукції. Кукурудзу широко використовують і у спиртовій промисловості: з неї отримують біоетанол – один із ключових видів біопалива, що активно застосовується у країнах із розвиненою енергетичною політикою.

Виробництво біоетанолу з кукурудзи є одним із ключових напрямів використання зерна у світі, особливо в країнах із розвиненим аграрним сектором. Цей вид палива належить до біоетанолу I покоління, оскільки виготовляється з крохмалевмісної сировини, і відіграє важливу роль у розвитку альтернативної енергетики, зменшенні залежності від нафти та скороченні викидів парникових газів.

Процес виробництва біоетанолу з кукурудзи ґрунтується на ферментації крохмалю, що міститься в зерні. Спочатку кукурудзу очищають і подрібнюють, після чого крохмаль розщеплюється ферментами до глюкози. Отриманий цукровий розчин піддають спиртовому бродінню за участю дріжджів, що утворюють етиловий спирт. Далі суміш переганяють для отримання висококонцентрованого етанолу, який після зневоднення використовується як паливо або компонент паливних сумішей, наприклад E10 чи E85.

Кукурудза є найпоширенішою сировиною для виробництва біоетанолу у світі, оскільки відзначається високим вмістом крохмалю (60...70 %), стабільною врожайністю та легкістю переробки. Найбільшим виробником такого біоетанолу є Сполучені Штати Америки, де понад 90 % усього етанолу виробляється з кукурудзи. Це пов'язано з великими обсягами її вирощування, державною підтримкою біопалив та розвиненою інфраструктурою глибокої переробки зерна. Частка кукурудзяного етанолу у США є настільки значною, що саме ця галузь визначає світові тенденції ринку біопалив.

В Європі ситуація інша: хоча етанол також виробляють із кукурудзи, значну частку сировини становлять пшениця, цукровий буряк та інші зернові. Проте кукурудза залишається одним із основних компонентів виробництва етанолу в таких країнах, як Франція, Угорщина, Румунія та Словаччина, де вона є доступною й економічно вигідною. Щорічно в ЄС виробляють близько 6–6,5 млрд літрів етанолу, з яких приблизно половина припадає саме на кукурудзу.

Побічні продукти виробництва мають вагомe значення для тваринництва та промисловості. Зокрема, DDGS (висушені розчинні зернові залишки) є високобілковим кормом, який збагачує раціони ВРХ, свиней і птиці. Крім того,

з кукурудзи отримують кукурудзяну олію, що використовується у харчовій та технічній галузях, а також різноманітні проміжні продукти для хімічної промисловості.

Розвиток технологій постійно підвищує ефективність виробництва біоетанолу та зменшує його вплив на довкілля. Модернізація ферментаційних процесів, удосконалення ферментів, впровадження енергозберігаючих систем та утилізація побічних продуктів роблять виробництво більш економічним і екологічно збалансованим. У перспективі важливим напрямом є інтеграція виробництва етанолу I покоління (зернового) з біоетанолом II покоління, що базується на целюлозній біомасі.

Таким чином, виробництво біоетанолу з кукурудзи має стратегічне значення для світової енергетики та аграрної економіки. Воно забезпечує альтернативне джерело палива, стимулює розвиток сільського господарства, сприяє диверсифікації ринку збуту зерна та зменшує вплив на довкілля за умови впровадження сучасних технологій переробки.

Побічні продукти спиртового виробництва, як-от кукурудзяний глютен та барда, слугують цінними компонентами у виготовленні комбікормів. Крім цього, жовтий пігмент кукурудзи використовують у фармацевтиці та косметології, а деякі компоненти зерна входять до складу харчових добавок, вітамінних препаратів і органічних кислот.

Таким чином, кукурудза є багатофункціональною культурою, яка забезпечує сировину для десятків галузей. Її універсальність робить її стратегічно важливою як для продовольчого сектору, так і для сучасної переробної промисловості та енергетики.

Вирощування кукурудзи на зерно є економічно вигідним, технологічно виправданим і стратегічно необхідним напрямом сільськогосподарського виробництва, який дозволяє задовольняти потреби продовольчого сектора, тваринництва, промисловості та енергетики, забезпечуючи стабільний розвиток аграрної галузі в цілому. При цьому, необхідно особливу увагу приділяти технологіям вирощування даної культури та окремим технологічним операціям,

що мають найбільший вплив на її врожайність. Раціональне поєднання технологічних прийомів із урахуванням природньо-кліматичних умов підприємства та фізіологічних особливостей кукурудзи на зерно є основою стабільного та високого врожаю зерна.

#### **1.4 Залежність продуктивності кукурудзи на зерно від технологічних прийомів її вирощування**

Відомо, що продуктивність кукурудзи найсильніше корелює із чотирма класичними технологічними компонентами: терміном сівби, густиною стояння рослин, забезпеченням азотом (оптимальною схемою підживлень) і водним запасами (зрошення / запаси вологи). Ранні (оптимальні для регіону) строки сівби зазвичай подовжують вегетаційний період рослини, сприяють кращому розвитку кореневої системи й більш повному використанню весняно-літніх ресурсів, що часто дає вищу врожайність. Проте надто рання сівба піддає рослини ризику заморозків і погіршення польової схожості насіння [5].

Зміна густоти стояння є одним із найпотужніших інструментів підвищення врожаю на гектар. Сучасні високопродуктивні гібриди толерують значно вищі норми висіву. У багатьох дослідженнях оптимум норми сівби знаходиться у діапазоні від 70...90 тис. шт. / га для конкретних гібридів до понад 100 тис./га в інтенсивних системах, причому подальше збільшення густоти призводить до зниження маси 1 000 зерен при незначному прирості числа качанів на рослину. У дослідженні [6] доведено, що необхідно знайти оптимальне співвідношення двох факторів «гібрид-густина» з врахуванням особливостей зони вирощування кукурудзи на зерно.

Азотне забезпечення і схема удобрення – критичний фактор формування як потенціалу, так і реальної врожайності. Оглядові дослідження та регіональні експерименти показують, що адекватні N-добрива значно підвищують урожай зерна (часто на десятки відсотків порівняно з контролем), але ефективність азоту залежить від моменту внесення, форми добрива, ґрунтових умов і

зрошення; інтеграція мінеральних і органічних джерел часто дає кращі результати для довготривалої родючості.

Протягом усього періоду вегетації кукурудза формує значну кількість органічної маси, а тому споживає з ґрунту великі обсяги елементів живлення. Для утворення однієї тони зерна разом із відповідною масою листостеблової частини на чорноземах культура засвоює приблизно використовує до 22 кг азоту, 6,5..7,5 кг фосфору та 16...18 кг калію. Водночас у всіх виробничих ситуаціях кукурудза добре реагує на поліпшення мінерального живлення, що сприяє підвищенню її врожайності [7]. На ранніх етапах розвитку ключову роль відіграє наявність доступного азоту, дефіцит якого суттєво гальмує ріст рослин. Найінтенсивніше споживання цього елемента відбувається за декілька тижнів до викидання волоті, тоді як із початком молочно-воскової стиглості поглинання азоту практично припиняється та відповідно культура його не потребує [8].

Потреба культури у фосфорі проявляється менш виражено, однак його значення різко зростає у фазі 4...6 листків, коли формуються зачатки суцвіть. Недостатня забезпеченість фосфором у цей період призводить до утворення дрібних качанів і зниження їх якості [9]. Достатній рівень фосфору сприяє розвитку сильної кореневої системи, підвищує стійкість рослин до посухи та пришвидшує досягання зерна, що особливо важливо для Степу.

Калій кукурудза починає інтенсивно засвоювати вже від моменту проростання, і потреба в ньому зберігається до завершення цвітіння. Цей елемент забезпечує повноцінний розвиток рослини, сприяє формуванню довших і міцніших міжвузлів та активному наростанню зеленої маси. Брак калію на ранніх етапах затримує стартовий ріст, а на пізніших стадіях призводить до укорочення стебла, слабкого його формування та помітного падіння урожайності [9]. Коли ж культура добре забезпечена калієм, вона значно ефективніше поглинає азот і фосфор із ґрунту й мінеральних добрив, що позитивно позначається на підсумковій продуктивності посівів.

Обробіток ґрунту та післяжнивна технологія (залишки, мульча, no-till / мінімальний обробіток) впливають на врожай через зміни фізичних

властивостей ґрунту, збереження вологи і мікробіологічного статусу. Дослідження показують: класичний глибокий обробіток може покращити сходи й початковий розвиток [10, 11], а мінімальний обробіток або застосування технології no-till із правильною системою післяжнивного управління іноді дозволяє краще зберегти ґрунтову вологу й органічну речовину [12]. Ефективність конкретної системи залежить від клімату і типу ґрунту, тому рекомендації мають бути локалізованими

Доступна волога є одним із ключових чинників, що визначають рівень урожайності кукурудзи, оскільки ця культура має високу потребу у воді на всіх етапах росту, але особливо у критичні фази формування генеративних органів [11].

Кукурудза найгостріше реагує на нестачу вологи під час періоду від викидання волоті до завершення наливу зерна. Саме в цей час формуються качани, відбувається запилення та закладається кількість і виповненість зерен, тому навіть короткочасна посуха може істотно зменшити потенційну урожайність. За браку води у фазі цвітіння порушується синхронність між викиданням волоті та появою приймочок, через що частина качанів може залишитися неплодюю або сформувати меншу кількість зерен.

На початкових етапах розвитку волога також важлива: від її запасів залежить енергія проростання, дружність сходів та темпи росту кореневої системи. За достатнього зволоження рослини формують більш розгалужений і глибокий корінь, що дозволяє їм ефективніше використовувати ресурси ґрунту та краще переносити літні посухи. Навпаки, обмеження води у фазі 3...7 листків уповільнює розвиток рослин, зменшує площу листової поверхні та знижує потенціал формування качана.

Важливою є не лише кількість, а й рівномірність надходження вологи протягом вегетації. Нерівномірні дощі або довгі періоди без опадів уповільнюють ріст і підвищують вразливість до температурних стресів. У Степу, де ризик літньої посухи найвищий, саме водозабезпечення є головним обмежувальним фактором продуктивності, тоді як у Лісостепу й на Поліссі

вплив вологи проявляється менш різко, але залишається вирішальним у критичні фази.

Загалом, доступна волога визначає потенціал урожайності кукурудзи, впливаючи на швидкість росту, формування генеративних органів, масу зерна та здатність рослин витримувати стреси. За оптимального водозабезпечення культура реалізує свій генетичний потенціал, тоді як нестача вологи навіть у короткі періоди може суттєво знизити кінцевий результат вирощування.

Виконані дослідження в роботі [13] показали, що рівень урожайності кукурудзи значною мірою визначається кількістю опадів протягом вегетації, їх рівномірністю та обсягом доступної вологи у шарі ґрунту 0–100 см. Найкращі умови для накопичення вологи в орному горизонті (0...30 см) на момент сівби спостерігалися за використанням глибокого безполицевого розпушування та технології no-till. Найбільший обсяг волого забезпечення зафіксовано для глибокого розпушування, та перевищувало за умови застосування класичної оранки на 4,7 %.

Таким чином можна зробити короткий висновок, що вирощування кукурудзи на зерно потребує врахування значного обсягу факторів. Певна кількість наведених факторів пов'язана з технологічними операціями вирощування кукурудзи на зерно, тому їх можна оптимізувати. Інші ж, природньо-кліматичні, нажаль оптимізувати неможливо, тому потрібно адаптуватися до них.

## **1.5 Обґрунтування теми дипломної роботи**

Обґрунтування технологічних операцій і вибору засобів механізації при вирощуванні зерна кукурудзи є важливою складовою ефективною організацією виробничого процесу, оскільки кожен етап технології безпосередньо впливає на формування врожайності, економічну результативність та раціональне використання ресурсів. Кукурудза належить до культур з високим генетичним потенціалом продуктивності, але повністю реалізувати його можливо лише за

умови чіткого дотримання технологічних прийомів і застосування відповідної техніки.

Правильно сформований комплекс операцій забезпечує оптимальні умови для росту рослин – від підготовки ґрунту до збирання урожаю. Якість обробітку ґрунту визначає структуру орного шару, накопичення та збереження вологи, рівень аерації та доступність поживних речовин. Вибір агрегатів і глибини обробітку повинен відповідати типу ґрунту, попереднику, системі землеробства та кліматичним умовам. Неефективна механізація на цьому етапі може призвести до надмірного ущільнення, втрати продуктивної вологи або недостатнього підготовлення насіннєвого ложа, що негативно позначається на польовій схожості та стартовому розвитку кукурудзи.

Обґрунтований вибір засобів механізації при посіві також має вирішальне значення. Високоточні сівалки забезпечують рівномірне розміщення насіння, дотримання заданої густоти та глибини загортання, що прямо впливає на дружність сходів, формування кореневої системи та майбутню рівномірність розвитку посівів. Помилки на етапі сівби практично неможливо компенсувати пізніше, тому якість виконання цієї операції потребує особливої уваги.

Догляд за посівами, а саме захист від бур'янів, шкідників і хвороб, також повинен бути технологічно обґрунтованим. Підбір техніки й своєчасність її застосування впливають на ефективність внесення добрив, формування сприятливого агрофону та мінімізацію конкуренції з боку бур'янів. Неправильне налаштування машин або несвоєчасне виконання заходів може знизити доступність поживних речовин, погіршити ріст кукурудзи й підвищити ризик стресів.

Завершальним елементом є обґрунтування технології збирання. Вибір комбайна, налаштування жатки та системи очищення визначають не лише втрати врожаю, а й якість зерна, рівень пошкоджень та витрати на досушування. Нескоординована або технічно застаріла механізація збірних робіт призводить до значних втрат і погіршення товарності продукції.

Таким чином, кожна технологічна операція при вирощуванні кукурудзи на зерно потребує ретельного обґрунтування. Раціональний вибір засобів механізації дозволяє оптимізувати використання ресурсів, підвищити продуктивність технологічних процесів, мінімізувати собівартість і забезпечити стабільне отримання високих урожаїв. Це формує основу економічної ефективності, стійкості виробництва та конкурентоспроможності господарства в цілому.

Саме тому метою дипломної роботи є оптимізація вибору засобів механізації та технології при вирощуванні кукурудзи на зерно.

Завдання дипломної роботи:

1. Проаналізувати особливості технологій вирощування та вплив технологічних операцій на врожайність зерна кукурудзи.
2. Обґрунтувати засоби механізації та розробити технологію вирощування зерна кукурудзи.
3. Провести аналіз енергетичних показників технологій вирощування кукурудзи на зерно.
4. Навести вимоги при внесенні робочих розчинів пестицидів та мінеральних добрив.
5. Обґрунтувати економічну ефективність розробленої технології.

## 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО

### 2.1 Особливості вирощування кукурудзи на зерно в залежності від природної зони

Продуктивність кукурудзи в Україні значною мірою визначається правильним добором технологічних прийомів, адаптованих до конкретної природної зони – Степу, Лісостепу чи Полісся. Вибір гібридів, система удобрення, обробіток ґрунту та захист культури мають враховувати рівень зволоження, можливості водозабезпечення, структуру ґрунтів і ризики посухи в період цвітіння та наливу зерна.

У Степу доцільно вирощувати середньоранні й середньостиглі гібриди, які забезпечують стабільний урожай у разі дефіциту вологи та високих температур. Важливими є посухостійкість, швидка віддача вологи зерном і здатність формувати врожай при обмеженому водозабезпеченні. У Лісостепу рекомендовані гібриди з ширшим діапазоном ФАО, що дозволяє отримати вищий потенціал урожайності. На Поліссі головними критеріями є холодостійкість у ранні фази, здатність до активного стартового росту й стійкість до кореневих гнилей на більш кислих ґрунтах.

У Степу ефективними є мінімальні та нульові системи обробітку, які допомагають зберегти вологу та зменшити ризик деградації ґрунтів. Лісостепова зона більш гнучка: можна застосовувати як традиційний полицевий обробіток, так і strip-till або мульчувальний підхід. На Поліссі важливим є глибоке розпушення для покращення аерації щільних ґрунтів і підвищення доступності вологи та елементів живлення.

Українські ґрунти різних зон мають специфічні обмеження. На чорноземах Лісостепу зазвичай відчувається нестача фосфору й калію, тому збалансовані системи удобрення з урахуванням аналізу ґрунту є ключовими. У Степу важливо коригувати норми азоту з урахуванням водозабезпечення, щоб

уникнути втрат і нерівномірного використання елементів живлення. На Поліссі часто спостерігається низький вміст гумусу і кислі ґрунти – потрібне вапнування та підвищення рівня органічної речовини.

У південних регіонах України вирішальним чинником є водозабезпечення. Зрошення підвищує урожайність кукурудзи вдвічі й більше, але потребує оптимізації норм поливів у критичні фази: викидання волоті, цвітіння, налив зерна. Використання краплинного або поливного strip-till дозволяє суттєво економити воду.

Найкращими попередниками є озимі зернові, бобові та просапні, які зменшують засміченість і покращують структуру ґрунту. У Степу важливо уникати розміщення після соняшнику без глибокого розпушення й накопичення вологи. У Лісостепу кукурудза добре реагує на розміщення після зернобобових, що забезпечують доступний азот.

У всіх зонах України кукурудза краще формує стартову енергію росту за умови прогрівання ґрунту до 10...12 °С. У Степу інколи доцільна рання сівба для використання запасів зимово-весняної вологи. У Лісостепу і на Поліссі строки більш гнучкі, але затримка може спричинити потрапляння періоду цвітіння під літні посухи.

У зоні Степу домінують теплолюбні бур'яни та ризики забур'янення просапними видами, тому критично важливий після сходовий контроль. У Лісостепу часто застосовують комбіновані системи захисту з використанням ґрунтових і після сходових гербіцидів. На Поліссі значною проблемою можуть бути кореневі гнилі та шкідники ґрунту, тому потрібний ретельний захист.

У більшості регіонів України, окрім Полісся, ключовим чинником урожайності є вода. Використання мульчування, безполіцевого обробітку, оптимальної густоти стояння та якісного ущільнення рядка після сівби дає можливість зменшити втрати вологи і стабілізувати врожай.

## 2.2 Обґрунтування засобів механізації для технологічних операцій вирощування кукурудзи

Для обґрунтування засобів механізації необхідно розглянути типові можливі варіанти для основних технологічних операцій та обрати оптимальні склади МТА. Для цього розглянемо загальні дані для таких технологічних операцій як основний обробіток ґрунту, використання добрив, догляд та збирання врожаю кукурудзи на зерно.

В таблиці 2.1 наведено основні типи МТА для виконання обробітку ґрунту та їх орієнтовні витрати.

Таблиця 2.1 – Типи МТА для виконання основного обробітку ґрунту та їх деякі експлуатаційні витрати

№ з/п	Тип МТА для обробітку ґрунту	Орієнтовна витрата палива (л/га)	Вартість палива грн/га	Орієнтовні операційні витрати (приймаємо для спрощення з коефіцієнтом 2,2 від витрати пального)
1	Глибкорозпушувач + трактор 180...300 к.с.	12...18	720...1080	1584...2376
2	Важка дискова борона (дискування) + трактор 150...200 к.с.	6...9	360...540	792...1188
3	Комбінований агрегат (Horsch Tiger / аналог) + трактор 250–350 к.с.	15...18	900...1080	1980...2376
4	No-till (без основного обробітку) можливе застосування подрібнювача/мульчування + трактор 120...200 к.с.	3...4 подрібнювач/ мульчувач	180...240	296...528
5	Оранка	20-24	1200...1440	2640...3168

Для обрання оптимального типу обробітку ґрунту, з наведених вище технологічних операцій, потрібно додатково враховувати їх ефективність при вирощуванні кукурудзи на зерно. Тому виконаємо аналіз джерел літератури щодо впливу основного обробітку ґрунту на врожайність кукурудзи.

Наведені результати в дослідженні [14] демонструють чітку залежність продуктивності кукурудзи та темпів дозрівання зерна від способу основного обробітку ґрунту й біологічних особливостей конкретного гібрида. Дослідження підтвердили, що глибокий обробіток (оранка або плоскорізне розпушування на 25...27 см) створює оптимальні умови для розвитку кореневої системи, кращої аерації ґрунту та ефективнішого використання вологи, що безпосередньо впливає на врожайність. У ранньостиглих та середньостиглих гібридів максимальна врожайність формувалася саме на варіантах глибокого обробітку, тоді як поверхневий обробіток на глибину 8...10 см, призводив до помітної втрати врожаю – до 0,40 т/га залежно від гібрида. Аналіз динаміки вологості зерна показав [14], що реакція гібридів на систему обробітку ґрунту є диференційованою. Так гібрид Квітневий 187 МВ швидше віддавав вологу за поверхневого обробітку, тоді як Оржиця 237 МВ і Бистриця 400 МВ мали нижчі показники вологості за оранки. Це важливо з технологічної точки зору, адже впливає на витрати під час доробки зерна. Загалом результати підтверджують, що оптимальний вибір технології основного обробітку ґрунту повинен враховувати не лише ґрунтово-кліматичні умови, а й тип гібрида. Глибокий обробіток забезпечує стабільніше формування врожаю.

Результати проведених досліджень [10] демонструють, що глибина основного обробітку ґрунту є одним із ключових чинників формування продуктивності кукурудзи в умовах недостатнього зволоження лівобережного Лісостепу. Глибокий обробіток на 37...40 см забезпечив суттєві переваги порівняно з менш глибокими способами, оскільки сприяв формуванню більш сприятливого водно-повітряного режиму та кращої структурності ґрунту. Саме на цьому варіанті було зафіксовано значно глибше промочування орного шару під час весняного танення снігу. Це створило підвищені запаси доступної

вологи, що є критично важливим для стартового розвитку кукурудзи, особливо в регіонах із нестабільним зволоженням. Додатковим позитивним ефектом стала краща здатність ґрунту утримувати вологу впродовж другої половини вегетації – періоду, коли рослини входять у фазу активного формування врожаю та особливо чутливі до її дефіциту. Умови, що формуються за глибокого обробітку, сприяють розвитку потужної кореневої системи, яка може використовувати волого-ресурс глибших горизонтів. Це значно пом'якшує вплив літніх посух, що характерні для регіону. Як наслідок, кукурудза краще реалізує свій генетичний потенціал, що й відображено у вищій врожайності порівняно з варіантами дрібнішого обробітку.

Отримані дані в роботі [15], свідчать про суттєвий вплив способу та глибини основного обробітку ґрунту на продуктивність розлусної кукурудзи. Проведення оранки на глибину 20...22 см із подальшими кількома передпосівними культиваціями забезпечило найсприятливіші умови для формування врожаю. За такого варіанта рослини краще розвивали кореневу систему, мали вищий ріст і більшу площу листової поверхні, що позитивно впливало на інтенсивність фотосинтезу та загальний стан посіву. Урожайність у цьому варіанті становила 3,1...3,4 т/га, що є максимальним показником серед досліджуваних способів обробітку. Такий рівень продуктивності зумовлений тим, що оранка на середню глибину забезпечувала оптимальне розпушення орного шару, краще накопичення вологи та створення сприятливих умов для повітряного та водного режимів ґрунту. Плоскорізний обробіток на аналогічну глибину виявився менш ефективним. Урожай зерна в цьому варіанті становив на 0,29 т/га нижче, ніж за оранки. Це свідчить про те, що, хоча плоскорізи мінімально порушують структуру ґрунту й зберігають стерню, вони не забезпечують настільки якісного перемішування та розпушення орного шару, як традиційна оранка. В умовах недостатнього зволоження це може зменшувати доступність ґрунтової вологи для кореневої системи. Дрібний обробіток особливо негативно впливає в посушливих умовах, коли рослини потребують доступу до більш глибоких шарів вологи.

У роботі [16] наведено результати дворічних досліджень ефективності різних способів основного обробітку ґрунту, таких як оранка, смуговий обробіток (Strip till) та глибоке розпушування, під материнські лінії гібридів кукурудзи. Загалом для різних ліній вирощування середня врожайність за оранки становила 4,49 т/га, за глибокого розпушування – 4,53 т/га, а найнижчі результати спостерігалися у Strip till – 4,47 т/га (рис. 2.1). Дисперсійний аналіз показав [16], що основний вплив на врожайність мали генетичні особливості ліній – 54% та спосіб обробітку ґрунту відповідно 41%.

У, ц/га

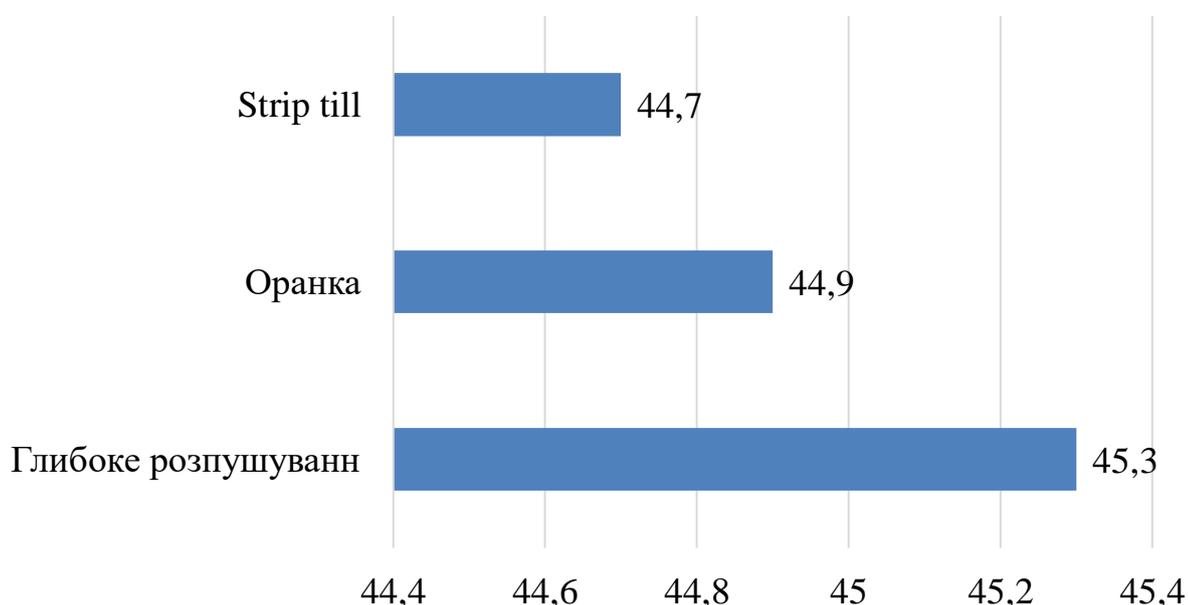


Рисунок 2.1 – Вплив способу обробітку ґрунту на врожайність материнських ліній кукурудзи на зерно

*Джерело: [16].*

Отже, проведений аналіз підтверджує доцільність застосування глибокого розпушування на 32...35 см у зоні недостатнього зволоження, як ефективного агротехнічного заходу, який стабілізує водний режим ґрунту, мінімізує ризики посухи та забезпечує умови для формування високої продуктивності кукурудзи.

Тому в системі основного обробітку ґрунту обираємо проведення глибокого рихлення за допомогою розпушувача із системою внесення гранульованих добрив GRS-4 (рис. 2.2) в складі МТА з трактором Case MX 335.



Рисунок 2.2 – Глибкорозпушувач виробництва Велес-Агро GRS-4  
*Джерело: [17]*

Глибкорозпушувачі серії GRS (рис 2.2) призначені для глибокого та безполицевого розпушування ґрунту з метою поглиблення орного шару та заміни традиційної зяблевої чи весняної оранки [17]. Їх ефективно застосовують як на рівнинних ділянках, так і на схилах або парових площах, де потрібне якісне розпушення ґрунту без обороту пласта. Вони ефективні на стерні зернових та після збирання багатьох інших культур, особливо у поєднанні з попереднім луценням дисковими знаряддями. Машина добре подрібнює верхній шар, вирівнює поверхню поля та частково подрібнює стеблові рештки. У технологіях безполицевого обробітку такі агрегати відіграють ключову роль: вони руйнують ущільнені горизонти, зокрема плужну підшову, сприяють глибшому розвитку кореневої системи та покращують водно-повітряний і тепловий режими ґрунту. Це стимулює біологічну активність, сприяє накопиченню вологи та зменшує ризики ерозії. Важливою конструктивною особливістю є розташування робочих органів у дзеркальному

порядку, завдяки чому створюється конусоподібний ефект розпушення. Така схема забезпечує переміщення й руйнування всього шару ґрунту між стояками, а не лише формування вузьких щілин.

Наступною основною операцією при вирощуванні кукурудзи є виконання передпосівного обробітку ґрунту. Для цього можуть застосовуватися, як культиватори для суцільного обробітку ґрунту, так і комбіновані агрегати. Виконаємо обґрунтування на основі деяких основних показників роботи МТА для передпосівного обробітку ґрунту, а саме продуктивності та питомої витрати пального (табл. 2.2). Для прикладу обираємо культиватори та комбіновані машини, які мають найбільше розповсюдження в Україні з врахуванням машин вітчизняного виробництва та закордонних представників ґрунтообробної техніки.

Одна із ефективних методик визначення оптимального складу МТА є обґрунтування на основі енерговитрат за відомою методикою [18].

Таблиця 2.2 – Обґрунтування вибору складу МТА для проведення передпосівної культивації

№ з/п	Склад МТА	Виробіток, га/зм	Затрати палива, кг/га	Затрати праці, люд-год/га	Енергоємність, МДж/га			
					МТА	пального	праці людини	разом
1	ХТЗ-17221+ КПП-11	54,8	4,3	0,128	80,4	341,9	5,5	427,8
2	МТЗ-826+ АКС-3,5	20,7	4,4	0,338	57,6	349,8	14,7	422,1
3	Case МХ335+ Компактомат К-930	51,8	3,8	0,135	103,7	302,1	5,9	411,7

Наведемо отримані результати у вигляді гістограми, щоб зрозуміти розподіл обраних МТА в цілому (рис. 2.3).

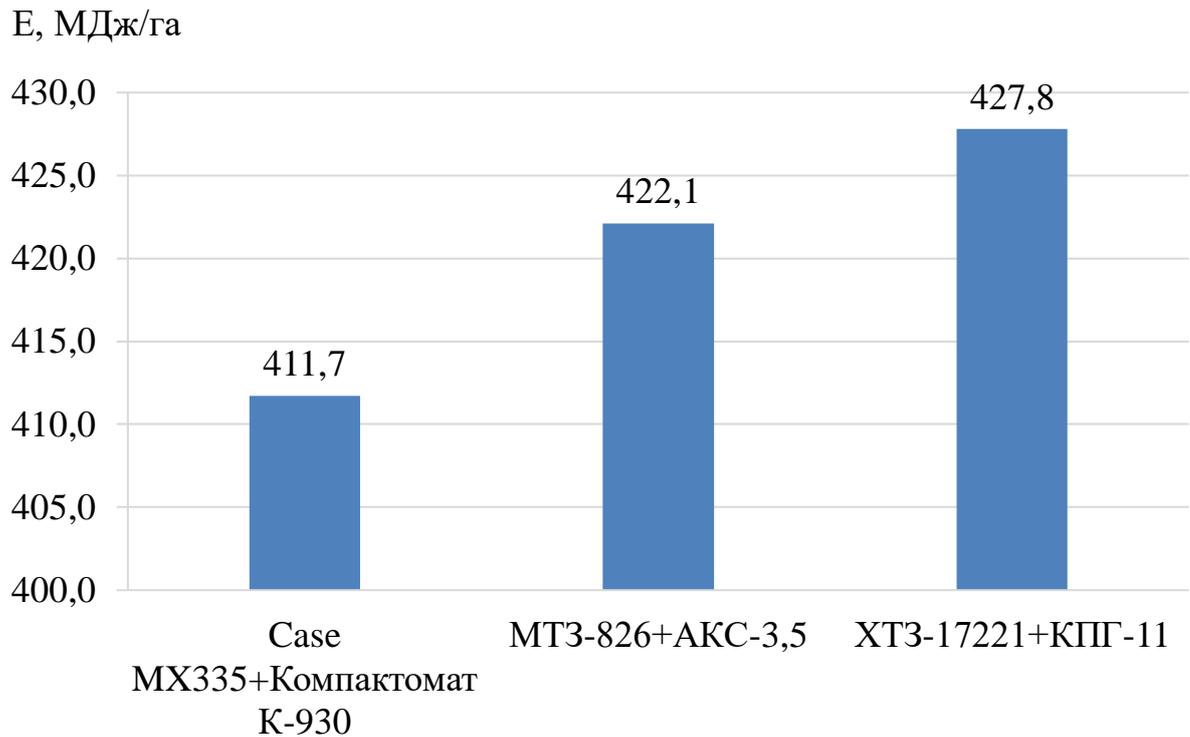


Рисунок 2.3 – Показники енергоємності виконання передпосівного обробітку різними складами МТА

Одержані результати (табл. 2.2) свідчать, що оптимальним складом МТА для проведення передпосівного обробітку ґрунту є агрегат що складається з трактора Case MX335 та комбінованої ґрунтообробної машини Компактомат К-930. Якщо даний МТА не може виконати обробіток (технічні несправності), то його можна замінити МТА MT3-826+АКС-3,5, так як він має незначно більші затрати на проведення культивуації. Вказаний оптимальний склад агрегату будемо використовувати при розробці плану робіт вирощування кукурудзи на зерно.

Проаналізуємо вплив системи удобрення на розвиток та врожайність кукурудзи на зерно.

У дослідженні [19] встановлено, що найефективнішим варіантом живлення кукурудзи було внесення мінеральних добрив N90P70K70 у поєднанні з комплексною системою позакореневих підживлень препаратами Ікар у відповідні фази росту ВВСН 13-18. Урожайність основної та побічної продукції значно залежала від погодних умов. У сприятливому 2023 році вона

була вищою до 11,25 т/га зерна, в той час у посушливішому 2022 році всього до 9,46 т/га.

В роботі [20] доведено, що збільшення норм азотного живлення з  $N_{90}$  до  $N_{125}$ ...  $N_{150}$  позитивно вплинуло на ріст і розвиток кукурудзи, що проявилось у зростанні маси зерна з качана та маси тисячі зерен. Найвищу врожайність забезпечувало внесення  $N_{150}$ , однак вона практично не відрізнялася від варіанту  $N_{125}$ . Підвищення рівня азотного живлення не вплинуло на вміст білка і жиру в зерні. На основі проведених досліджень [20] рекомендовано застосовувати норму  $N_{125}$ , розділивши її на дві частини: першу частину що містить  $N_{90}$  застосовувати під передпосівну культивуацію, а залишок у обсязі  $N_{35}$  вносити у фазі ВВСН 16-17. Така схема забезпечувала отримання майже 13 т/га якісного зерна при раціональніших витратах азоту порівняно з повною дозою  $N_{150}$ , що робить її економічно доцільнішим варіантом.

Дослідження вирощування гібриду НК Термо на важко суглинковому опідзоленому чорноземі, показало чітку залежність урожайності кукурудзи гібриду від рівня забезпечення поживними елементами та стану кислотності ґрунту [21]. Оптимізація живлення суттєво посилювала продуктивність культури: базовий варіант без добрив формував урожай лише 5,1 т/га, тоді як застосування  $N_{120}P_{90}$  збільшувало врожайність на 107 %, підвищуючи його до 10,6 т/га. Використання повного мінерального комплексу в нормі  $N_{120}P_{90}K_{90}$  забезпечувало ще вищу результативність – близько 11,1 т/га. Додаткове підвищення дози 120 кг кожного з макро добрив, сприяло подальшому вже відносно незначного приросту врожайності – всього 16 % у порівнянні з попередньою нормою добрив. Тому, подальше збільшення норми добрив не дає вже такого значного ефекту. Вапнування ґрунту додатково підсилювало дію мінеральних добрив і покращувало реакцію рослин на підвищені норми живлення, особливо в перші роки після внесення меліоранту.

Результати досліджень [22] свідчать, що застосування позакореневих підживлень мікродобривами здатне суттєво посилювати продуктивність кукурудзи та підвищувати ефективність вирощування культури. Встановлено,

що використання мікродобрив Авангард та Sunni Mix сприяло кращому збереженню густоти стояння рослин і формуванню вищої врожайності порівняно з варіантом без таких підживлень. Найбільш результативним виявилось дворазове внесення мікродобрива Sunni Mix, перше у фазі 3-5 та друге у фазі 7-9 листків по 1 л/га. Завдяки цьому, середня врожайність за три роки досягла 10,5 т/га, що на 32 % більше, ніж у контрольному варіанті, що демонструє високу ефективність цільових мікроелементних підживлень у критичні періоди органогенезу кукурудзи.

За підсумками досліджень, виконаних у роботі [23], із гібридом кукурудзи LG 3258 встановлено, що найвищу зернову продуктивність забезпечує застосування повного мінерального добрива в нормі NPK обсягом відповідно 160,120 та 120, у поєднанні з позакореневим підживленням мікродобривами, 5% розчином карбаміду та 5% сульфату магнію. Збільшення врожайності зафіксовано з 12,5 т/га до 13,25 т/га для варіанту із застосуванням підживлення мікродобривами.

Отримані дані свідчать, що оптимізація мікроелементного живлення істотно посилює зернову продуктивність культури, а відповідно і потенціал переробки врожаю, що важливо, зокрема, для виробництва біоетанолу.

Враховуючи виконаний аналіз, оптимальним застосуванням мінеральних добрив буде таке розподілення норми: внесення гранульованих добрив на в два етапи та одне-два позакореневе підживлення.

Відповідно до цього приймаємо наступні засоби механізації для внесення добрив та підживлення:

1. Перше внесення добрив виконуємо глибокорозпушувачем обладнаним системою для внесення добрив на глибину обробітку GRS-4 виробництва Велес-Агро у складі з трактором Case MX 335.

2. Другий етап внесення добрив виконуємо разом із сівбою, або під виконання передпосівної культивуації. Для внесення добрив обираємо розкидачі із робочими органами відцентрового типу, що забезпечують необхідну рівномірність та високу продуктивність МТА. Виконаємо обґрунтування МТА

для внесення добрив нижче. Обраним агрегатом виконуємо підживлення у фазах розвитку кукурудзи, що відповідають 3...7 листочкам.

3. Третій етап використання добрив – позакореневе підживлення посівів кукурудзи. Виконаємо обґрунтування складу МТА для проведення позакореневого підживлення та внесення засобів захисту рослин.

Проведемо обґрунтування вибору технічних засобів для поверхневого внесення мінеральних добрив за методом відстані до цілі [24]. Вихідні дані та результати визначення оптимального складу МТА представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.3 – Обґрунтування вибору складу МТА для внесення міндобрив

№ п/п	Склад МТА		Показники			
	Енергетичний засіб	С.-г. машина	Виробіток МТА, га/год	Затрати пального g <sub>n</sub> , кг/га.	f <sub>n</sub> , га/кг	μ
2	МТЗ-826	1 РМГ-4	3,9	2,2	0,455	-0,281
3	МТЗ-826	Amazone ZA-M	8,9	1,8	0,556	0,111
4	МТЗ-826	МВУ-5	5,9	2,2	0,455	-0,169
Ідеалізований варіант			8,9		0,455	

Наведені результати свідчать, що оптимальним складом для поверхневого внесення мінеральних добрив є МТЗ-826 з розкидачем Amazone ZA-M. Саме цей склад МТА обираємо для складання плану механізованих робіт вирощування кукурудзи.

Однією із найбільш відповідальних технологічних операцій при вирощуванні кукурудзи є сівба. Тому, саме оптимізація даної технологічної операції є важливим завданням при вирощуванні даної, та й будь якої, культури. Проте в господарствах не часто можна побачити значне різноманіття посівних машин, що пов'язано із їх високою вартістю. Тому, обираємо ту

сівалку, яка є в наявності та використовуємо її для планування посівної кампанії.

Виконаємо обґрунтування складу МТА для проведення обприскування за методом Паретто [24]. Для цього розглянемо декілька типів машин: причіпні та самохідні обприскувачі. Основні техніко-експлуатаційні характеристики деяких машин та результати розрахунків наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Обґрунтування вибору складу МТА для внесення робочих розчинів пестицидів та добрив

№ п/п	Склад МТА		Показники			
	Трактор	С.-г. машина	Виробіток, га/год	Затрати пального $g_n$ , кг/га.	$f_n$ , га/кг	$\mu$
2	МТЗ-826	TESIS-24	12,1	0,95	1,053	-0,042
3	МТЗ-1025	ТИТАН-3200- 24	13,2	1,0	1,000	-0,025
4	МТЗ-826	ОП-2000	9,1	1,2	0,833	-0,260
Ідеалізований варіант			13,2		1,053	

Одержані результати свідчать, що оптимальним МТА для внесення робочих розчинів є МТЗ-1025 з причіпним оприскувачем ТИТАН-3200-24. Даний склад також будемо застосовувати при розробці техкарти вирощування кукурудзи.

Враховуючи проведений аналіз впливу технологічних операцій на врожайність кукурудзи на зерно та обґрунтовані оптимальні склади МТА виконуємо складання плану робіт на вирощування кукурудзи.

## 2.2 Розробка плану робіт вирощування зерна кукурудзи

Під час створення плану механізованих робіт вирощування кукурудзи необхідно врахувати низку базових показників: культуру-попередник, заплановану врожайність основної й побічної продукції (якщо вона збирається),

норми витрат насіння, мінеральних добрив, пестицидів, а також відстані транспортування матеріалів та продукції. Формування техкарти починається з уточнення попередника, оцінки ерозійної стійкості ґрунту, рівня та характеру забур'яненості.

Перелік робіт у створеному плані відповідає обраній технології вирощування кукурудзи – із застосуванням глибокого розпушування ґрунту. У графі з агротехнічними вимогами фіксують параметри, що визначають якість обробітку: глибину роботи, норму внесення добрив, густоту посіву, очікуваний рівень урожайності та інші важливі показники. Для кожної операції зазначають її одиницю виміру – гектари, тонно-кілометри чи тони, залежно від характеру роботи.

Обсяг запланованих робіт має відповідати технології вирощування й враховувати кратність проведення окремих операцій, наприклад, подвійне боронування без перерви в часі. Строки виконання визначають з урахуванням оптимальних агровимог та практичного досвіду. Дуже важливо узгодити технологічні етапи між собою, щоб уникнути втрат поживних речовин або порушення агротехніки. Зокрема, внесення мінеральних добрив та їх загортання повинні проводитися протягом короткого терміну, так само як підвезення насіння та сівба, збирання врожаю та його транспортування.

Тривалість виконання кожної операції встановлюють відповідно до агротехнічних термінів, а добове робоче навантаження розраховують згідно з прийнятим у господарстві режимом роботи, що може становити від однієї до трьох змін по сім годин, допускаючи використання дробної змінності. Для процесів, пов'язаних зі шкідливими умовами праці, передбачено скорочений робочий час. Формування складу машинно-тракторних агрегатів проводять з урахуванням наявного парку техніки та установлених норм продуктивності й витрати палива. Змінні норми виробітку, колонка 14, беруть із чинних нормативів [25-27], а для транспорту й навантажувального обладнання – виходять із продуктивності основних агрегатів, які вони обслуговують. Обсяги

витрат пального також обирають спираючись на типові норми [25-27] або на норми обґрунтовані в господарстві.

Інші графи заповнюють на основі загальноприйнятих методик [18], після чого отримані дані вносять у відповідні розділи плану механізованих робіт (додаток А). Як приклад нижче наведено порядок обчислення показників технологічної карти для виконання операції розпушування ґрунту МТА, що складається з трактора Case MX 335 та глибокорозпушувача GRS-4 (із системою для внесення гранульованих добрив).

Нормативний годинний виробіток вказаного МТА визначаємо за виразом:

$$W_{год} = \frac{W_{зм}}{T_{зм}} \quad (2.1)$$

де  $W_{год}$  – годинна продуктивність МТА для розпушування ґрунту, га/год;

$T_{зм}$  – час роботи протягом зміни, год. Для типових операцій приймається – 7 год., для операцій із застосуванням шкідливих речовин – 6 год.

$W_{зм}$  – нормований виробіток МТА, га/зм. Приймаємо для вказаного МТА норму виробітку – 22,4 га/зм.

Таким чином, отримаємо:

$$W_{год} = \frac{22,4}{7} = 3,2 \text{ га/год}$$

Добовий обсяг виконання технологічної операції, графа 15, розраховуємо на основі формули:

$$W_{доб} = W_{год} \cdot T_{доб}, \quad (2.2)$$

де  $W_{доб}$  – добова продуктивність, га/доб.;

$T_{доб}$  – тривалість проведення певної операції (колонка 8), год. Для операції глибокого розпушування з внесенням добрив приймаємо – 14 годин, двозмінний графік роботи.

Таким чином отримаємо:

$$W_{доб} = 3,2 \cdot 14 = 44,8 \text{ га/доб.}$$

Кількість МТА для проведення певної операції визначаємо за виразом:

$$n = \frac{Q}{W_{\text{доб}} \cdot Dp} , \quad (2.3)$$

де  $n$  – кількість МТА необхідних для вчасного виконання механізованих робіт, од;

$Q$  – плановий обсяг виконання робіт, га. Площа вирощування становить – 174 га;

$Dp$  – агростоки виконання операції, діб. Приймаємо для глибокого розпушування – 8 днів.

Враховуючи вказані дані отримаємо:

$$n = \frac{174}{44,8 \cdot 8} = 0,48 \text{ од.}$$

Таким чином для операції розпушування ґрунту з внесенням добрив приймаємо один МТА.

Необхідну кількість операторів МТА та допоміжних працівників обираємо враховуючи змінність роботи та особливості виконання технологічної операції (потреба у ручному завантаженні сівалок та ін.).

Витрату пального обираємо з типових нормативних таблиці або норм обґрунтованих у підприємстві. Обрані значення затрат пального вносимо у графу 19 плану мехробіт.

Часто у типових нормативних таблицях витрату пального вказують в літрах, в той час як для кращого обліку бажано використовувати масу пального. У такому випадку витрату пального (в кг/га) розраховуємо за формулою:

$$g = g_1 \cdot \rho , \quad (2.4)$$

де  $g$  – витрата пального, кг/га;

$g_1$  – норма затрат пального, л/га. Для обраного складу МТА на проведення розпушування ґрунту приймаємо – 18 л/га.

$\rho$  – густина дизельного пального,  $\rho = 0,83$  кг/л.

Враховуючи наведені дані:

$$g = 18 \cdot 0,83 = 14,94 \approx 15 \text{ кг/га}$$

Загальна потреба в пальному при виконанні розпушування ґрунту трактором Case MX 335 та глибокорозпушувача GRS-4 визначаємо:

$$G = g_1 \cdot \rho \cdot Q, \quad (2.5)$$

де  $G$  – потреба в пальному для проведення технологічної операції, кг.

Враховуючи прийнятий обсяг вирощування кукурудзи – 174 га маємо:

$$G = 15 \cdot 174 = 2610 \text{ кг}$$

Трудомісткість проведення технологічної операції визначаємо за формулою:

$$Z_n = \frac{m_{\text{мех}} + m_{\text{доп}}}{W_{\text{год}}} \quad (2.6)$$

де  $m_{\text{мех}}, m_{\text{доп}}$  – чисельна кількість основного та допоміжного персоналу які задіяні при проведенні технологічної операції на одному МТА.

Для операції глибокого розпушування додатковий персонал не застосовується тому, отримаємо:

$$Z_n = \frac{1}{3,2} = 0,3125 \text{ люд-год/га}$$

Сумарні витрати праці будуть становити:

$$Z_n = 0,3125 \cdot 174 = 54,375 \text{ люд-год.}$$

Сумарне значення кількості нормо-змін розраховуємо за виразом:

$$H_{\text{зм}} = \frac{Q}{T_{\text{зм}} \cdot W_{\text{год}}} = \frac{Q}{W_{\text{зм}}}, \quad (2.7)$$

де  $H_{\text{зм}}$  – загальна кількість нормо-змін для проведення технологічної операції, нормо-змін;

З врахування площі вирощування кукурудзи на зерно та виробітку МТА для рихлення отримаємо:

$$H_{\text{зм}} = \frac{174}{22,4} = 7,767 \text{ нормо-зміни}$$

Згідно з описаною методикою проводимо розрахунки для кожної технологічної операції, передбаченої у процесі вирощування кукурудзи на зерно. Підсумкові дані узагальнюємо у вигляді плану механізованих робіт вирощування кукурудзи на зерно за вказаними технологіями та подаємо у додатку А до дипломної роботи.

Висновки до розділу. Обґрунтовано склад засобів механізації для виконання більшості основних технологічних операцій. На основі раціональних складів МТА та наукових рекомендацій розроблено план механізованих робіт вирощування зерна кукурудзи на площі 174 га. Застосування розробленої технології сприяє зниженню питомої витрати пального на 20,5 %, що в кількісному еквіваленті становить 13 кг/га. Питомі ж витрати праці також суттєво зменшуються з 3,41 люд.-год./га до 2,70 люд.-год./га, що становить 20,8 %. Слід зауважити, що планова врожайність зерна кукурудзи при цьому збільшується на 4 ц/га.

### 3. ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО

#### 3.1 Визначення енергоємності виконання технологічних операцій

Визначення енергетичних показників проведення механізованих операцій під час вирощування кукурудзи на зерно здійснюють відповідно до рекомендацій, наведених у джерелі [18, 28]. Як приклад, проведемо визначення енергоємності операції глибокого розпушування ґрунту з внесенням добрив машинно-тракторним агрегатом у складі трактора Case MX 335 та глибокорозпушувача вітчизняного виробництва GRS-4 згідно з методичними положеннями [18, 28].

Енергоємність МТА для обраної операції будемо визначати за умови, що для вказаної техніки відсутні енергетичні еквіваленти, тому розраховуємо з врахуванням їх маси та нормативних

Отже енергоємність МТА визначаємо:

$$E_{ма} = E_{ез} + E_{сзм} + E_з = \frac{1}{W_{год}} \cdot (\alpha_{ез} + \alpha_{сзм} + \alpha_з) \quad (3.1)$$

де  $E_{ез}$ ,  $E_{сзм}$ ,  $E_з$  – енергоємність відповідно трактора, сільськогосподарської машини та зчіпки, МДж/га;

$\alpha_{ез} + \alpha_{сзм} + \alpha_з$  – енергетичні еквіваленти відповідно для трактора, машин та зчіпки, МДж/год.

Враховуючи, що в даному складі МТА зчіпка не використовується, та енергетичних еквівалентів в довідниках не має, виконуємо розрахунки з врахуванням маси трактора Case MX 335 – 12000 кг та розпушувача GRS-4 – 2000 кг, а також енергетичні еквіваленти для даних типів техніки (таблиця 1.1 [28]), що визначені у розрахунку на 1 кг маси:

$$E_{мта(розпуш.)} = \frac{1}{3,2} \cdot (0,0243 \cdot 12000 + 2000 \cdot 0,036) = 113,63 \text{ МДж/ га}$$

Енергоємність використаного пального для проведення розпушування ґрунту розраховуємо за формулою [18, 28]:

$$E_{нал} = \alpha_n \cdot g_{га} \cdot Q_{га}, \quad (3.2)$$

де  $\alpha_n$  – енергетичний еквівалент одного кілограма пального – 79,5 МДж/кг [28];

$g_{га}$  – затрати пального у розрахунку на виконання одиниці роботи, кг/га (приймаємо з плану мехробіт, наведеного у додатку А).

Для обраної операції маємо:

$$E_{нал} = 79,5 \cdot 15 \cdot 1 = 1192,5 \text{ МДж/га}$$

Затрати енергії (енергоємність) роботи персоналу визначаємо за формулою:

$$E_{пл} = \frac{n_{мех}}{W_{год}} \cdot \alpha_{мех} \cdot Q, \quad (3.3)$$

де  $n_{мех}$  – чисельність персоналу, які задіяні в роботі МТА;

$\alpha_{мех}$  – нормативний енергетичний еквівалент персоналу, приймаємо відповідно до нормативів [28] рівний 43,4 МДж/люд.-год. При проведенні даного виду робіт додатковий персонал не задіють, тому приймаємо одного працівника – механізатора.

Питоме значення енергоємності праці персоналу становить:

$$E_{пл} = \frac{1}{3,2} \cdot 43,4 \cdot 1 = 13,56 \text{ МДж/га}$$

Так як при виконанні даної операції додатково виконується внесення добрив на глибину обробітку, то потрібно враховувати їх енергоємність.

Енергоємність застосування пестицидів та добрив розраховуємо за виразом:

$$E_{\delta} = \frac{\alpha_{\delta} \cdot H_{\delta} \cdot M_{\delta}}{100 \cdot T_{\delta}}, \text{ МДж/га} \quad (3.4)$$

де:  $H_{\delta}$  – обсяг використання добрив або пестицидів, кг/га або л/га;

$M_{\delta}$  – відсотковий вміст діючої речовини в добривах або пестицидах, %;

$\alpha_{\delta}$  – нормативні значення енергетичних еквівалентів кожного з видів добрив чи пестицидів, які використовуються, МДж/кг;

$T_{\delta}$  – нормативний строк ефективної дії добрив чи пестицидів, роки.

При виконанні рихлення ґрунту планується вносити діамофос з нормою 100 кг/га, вміст діючої речовини – 19 %, еквівалент становить – 51,5, тому енергоємність добрив при виконанні даної операції буде становити:

$$E_{\delta} = \frac{51,5 \cdot 100 \cdot 19}{100 \cdot 1} = 978,5 \text{ МДж/га}$$

Таким чином, тепер можемо визначити загальну енергоємність операції рихлення ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно за розробленою технологією:

$$E_{\text{заг}} = 113,63 + 1192,5 + 13,56 + 978,5 = 2298,19 \text{ МДж/га}$$

Для решти технологічних операцій обчислення виконуємо за тією ж методикою, а отримані показники узагальнюємо і формуємо у додатках Б1 та Б2 – окремо для інтенсивної та розробленої технологій вирощування кукурудзи на зерно.

Окрім типових складових енергетичних витрат для всіх технологічних операцій, є певні операції які потребують врахування специфіки витратних матеріалів. До таких операцій відносяться сівба, внесення добрив або пестицидів. Енерговитрати, пов'язані із застосуванням пестицидів, розраховуємо аналогічно до розрахунку для мінеральних добрив, наведених вище.

Виконаємо для прикладу, розрахунки внесення комплексу гербіцидів Раундап Макс, з нормою 2 л/га та Харнес, з нормою – 2,7 л/га. Приймаємо для обох вказаних гербіцидів,  $\alpha_{\delta} = 264 \text{ МДж / кг}$ , вміст діючої речовини – 50 %. Термін дії для гербіцидів приймаємо один рік.

Таким чином враховуючи це маємо енергоємність використання обраних пестицидів:

$$E_{\delta} = \frac{264 \cdot 4,7 \cdot 50}{100 \cdot 1} = 620,40 \text{ МДж/га}$$

Загальну енергоємність використання посівного матеріалу для сівби визначаємо за виразом:

$$E_n = 1,5 \cdot g_s \cdot \alpha_2 \cdot K_c, \quad (3.5)$$

де  $g_s$  – нормативне значення кількості сівби зерна кукурудзи у розрахунку на один га – 65 тис. шт./га, або орієнтовно 18...20 кг/га, для зони Степу приймаємо 18 кг/га;

$\alpha_2$  – нормативне значення енергетичного еквіваленту для зернової частини кукурудзи, відповідно до [18] приймаємо рівним 17,60 МДж;

$K_c$  – відсотковий вміст сухої речовини, для зернової частини врожаю відповідно до [18] приймаємо 0,86.

Так як обсяг сівби (норма) для двох технологій вирощування ідентичні, то отримуємо таку енергоємність використання посівного зерна кукурудзи:

$$E_n = 1,5 \cdot 18 \cdot 17,60 \cdot 0,86 = 408,67 \text{ МДж/га}$$

За таким самим принципом виконуємо розрахунки для решти технологічних операцій, після чого отримані результати оформлюємо і формуємо у додатках Б1 та Б2.

### **3.2 Оцінка енергетичної ефективності вирощування кукурудзи на зерно**

Ефективність вирощування будь якої з сільськогосподарських культур оцінюють за допомогою коефіцієнта енергетичної ефективності. Чим вищим є значення цього показника, тим результативнішою вважається технологія та тим меншими є питомі витрати енергії на одержання продукції.

Ефективність використання загальних затрат енергії вирощування кукурудзи на зерно (коефіцієнт енергетичної ефективності) визначаємо за виразом [18, 28]:

$$K_{ee} = \frac{E_n}{E_3}, \quad (3.6)$$

де  $E_n$  – загальна енергія, що містить вирощений врожай кукурудзи (враховується зернова та незернова частина), МДж/га;

$E_3$  – загальні витрати енергії, що використано на вирощування врожаю, МДж/га (обраємо з додатків Б1 та Б2).

Обсяг енергії, акумульованої у вирощеній продукції ( $E_n$ ), розраховуємо за відповідним виразом:

$$E_n = (Y_o - Y_{zo} - Y_{yo}) \cdot K_c \cdot \alpha_{no} + Y_n \cdot K_c \cdot \alpha_{nn}, \quad (3.7)$$

де  $Y_o$ ,  $Y_n$  – урожайність зерна та незернової (побічної) продукції на одиницю площі, кг/га;

$Y_{zo}, Y_{yo}$  – втрати пов'язані із засміченістю та необхідністю досушування зернової частини врожаю, які обираємо відповідно до рекомендацій відповідно 3% та 2 %;

$\alpha_{no}, \alpha_{nn}$  – нормативні значення енергетичних еквівалентів для основної продукції (зерна) та незернової частини врожаю, МДж/кг, приймаємо відповідно до рекомендацій [18].

У зв'язку з тим, що при збиранні врожаю буде виконуватися збирання тільки зернової частини, то другий доданок не враховуємо в розрахунках, як для базової (інтенсивної) технології так і для розробленої.

Таким чином загальна кількість енергії, що містить врожай кукурудзи одержаний при застосуванні інтенсивної (базової) технології складає:

$$E_n^B = (7600 - 228 - 152) \cdot 0,86 \cdot 17,60 = 109281,92 \text{ МДж/га.}$$

Застосування розробленої технології призводить до більш ефективного накопичення вологи, що в комбінації з використанням позакореневого підживлення дозволяє одержати приріст врожайності 4 ц/га.

Враховуючи це отримає кількість енергії для розробленої технології:

$$E_n^P = (8000 - 240 - 160) \cdot 0,86 \cdot 17,60 = 115033,6 \text{ МДж/га.}$$

Загальні витрати енергії на виробництво зерна кукурудзи обираємо з додатку Б1 та Б2 для базової та розробленої технології, які відповідно становлять 16971,2 МДж/га та 10568,4 МДж/га. Відповідно до представлених результатів, можна зробити висновок, що розроблена технологія вирощування

кукурудзи дозволяє зменшити на 37,7 % загальні енерговитрати на формування врожаю, з 16971,2 МДж/га до 10568,4 МДж/га

Враховуючи наведені дані визначаємо енергетичну ефективність за базовою та розробленою технологіями вирощування кукурудзи:

$$K_{ee}^B = \frac{109281,92}{16971,2} = 6,44$$

$$K_{ee}^E = \frac{115033,6}{10568,4} = 10,88$$

Таким чином, можна стверджувати про значно вищу ефективність використання енергоресурсів від впровадження розробленої технології вирощування кукурудзи на зерно. Коефіцієнт енергетичної ефективності, запропонованої технології, перевищує вказаний показник для базової на 68,9 %. Для кращого аналізу витрат енергії виконаємо визначення її структури при вирощуванні даної культури за базовою та розробленою технологіями.

### **3.3 Аналіз енерговитрат на вирощування зерна кукурудзи**

Енергетична оцінка технологій потребує аналізу витрат різних видів ресурсів у розрізі вирощування кукурудзи за двома технологіями. Результати одержані шляхом суми всіх енерговитрат певного виду для кожної технологічної операції та представлені у додатках Б1 та Б2. Наведемо їх у вигляді гістограм, де на одній площі розміщені питомі енерговитрати на одиницю площі вирощування для кожної технології (рис. 3.1). На даному графіку наведені енергетичні витрати на такі види: використання МТА, пальне, посівний матеріал та пестициди, добрива та працю обслуговуючого персоналу.

Е, МДж/га

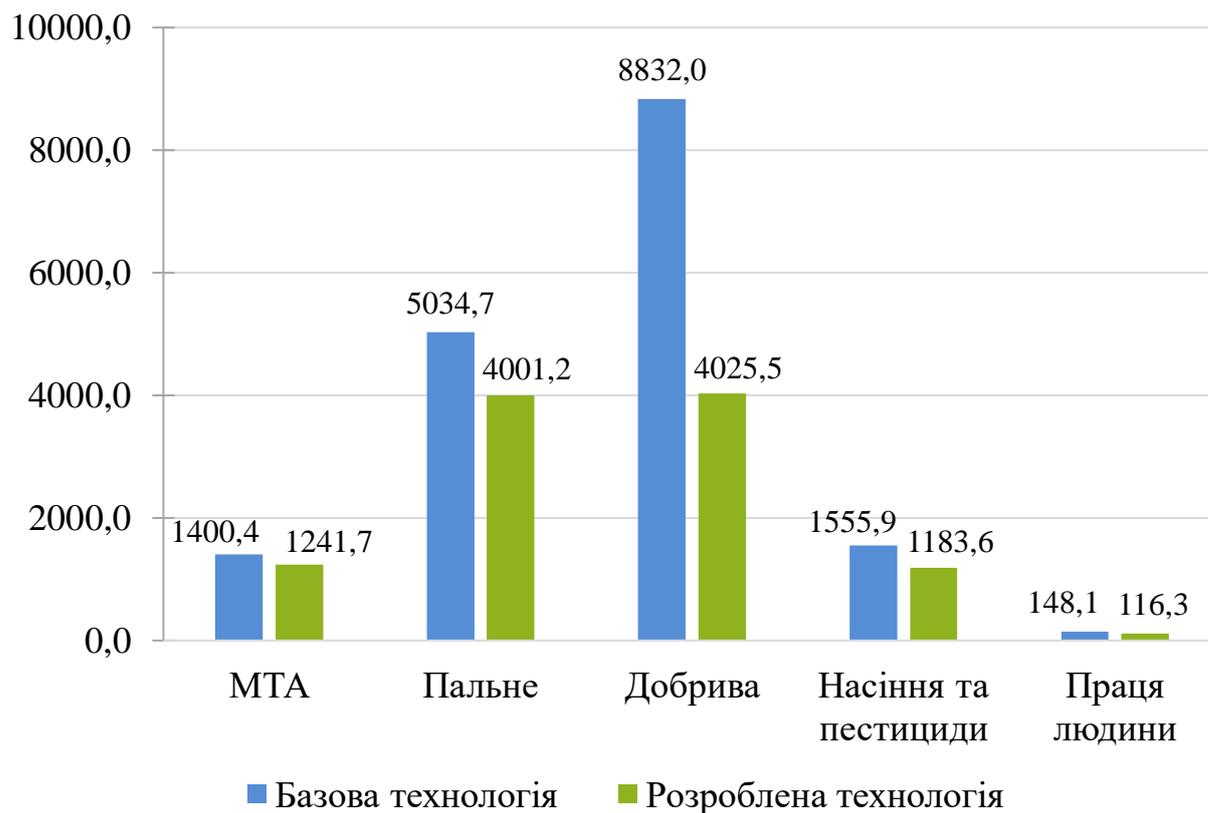


Рисунок 3.1 – Затрати енергії за видами ресурсів при вирощуванні кукурудзи

Наведені результати дозволяють стверджувати, що застосування розробленої технології дозволяє зменшити затрати енергії на виробництво зерна кукурудзи за всіма видами ресурсів. Найбільш суттєво зменшуються енергозатрати щодо використання добрив – на 54,4 % або в кількісному вигляді з 8832,0 МДж/га до 4025,5 МДж/га. Це насамперед пов'язано із меншим обсягом їх застосування та приділення більшої уваги диференційованому використанні з позакореневими підживленням у певних фазах розвитку кукурудзи. Щодо зменшення енерговитрат на пальне, насіння та пестициди та працю персоналу, то вони у відносному співвідношенні дуже близькі. Енергоємність пального зменшується при застосуванні розробленої технології на 20,5 %, насіння та пестицидів на 23,9 %, а праці персоналу на 21,4 %. Таким чином можна стверджувати, про більшу ефективність вирощування кукурудзи за розробленою технологією, у порівнянні з базовою.

### 3.4 Визначення енергетичної ціни врожаю зерна кукурудзи

Наведений вище аналіз затрат енергії на одиницю площі можна доповнити з врахування одержаного врожаю. Так як застосування різних технологій вирощування призводить до різної врожайності культури. Тому визначимо питомі затрати енергії у розрахунку на одиницю врожаю (тону або центнер), що мають назву – енергетична ціна врожаю.

Так як зі всієї біологічного врожаю буде використовуватися тільки зерно, то визначаємо його енергетичну ціну за виразом:

$$E_{зм} = \frac{E_3}{U_3} \cdot K_{срз}; \quad (3.8)$$

де  $U_3$ , – врожайність культури, що вирощується. Приймаємо для зерна кукурудзи за інтенсивною технологією 7,6 т/га, розробленою – 8,0 т/га, т.

$K_{срз}$ , – коефіцієнт, що враховує частину затрат енергії саме на одержання зернової частину врожаю.

$$K_{срз} = \frac{\alpha_{срз}}{\alpha_{срз} + \alpha_{срн}}, \quad (3.9)$$

$\alpha_{срз} + \alpha_{срн}$  – нормативні енергетичні еквіваленти для відповідно зернової та незернової частини врожаю, МДж/кг.

$$K_{срз} = \frac{17,60}{17,60 + 10,9} = 0,62$$

Таким чином, енергетична вартість за базовою технологією вирощування кукурудзи буде становити:

$$E_{зм}^B = \frac{16971,2}{7,6} = 2233,05 \text{ МДж/т,}$$

Для розробленої технології отримаємо:

$$E_{зм}^П = \frac{10568,4}{8,0} = 1321,05 \text{ МДж/т.}$$

Основні результати оцінки енергетичних показників виробництва зерна кукурудзи за базовою та розробленою технологіями на площі 174 га формуємо у вигляді гістограм (рис. 3.2).

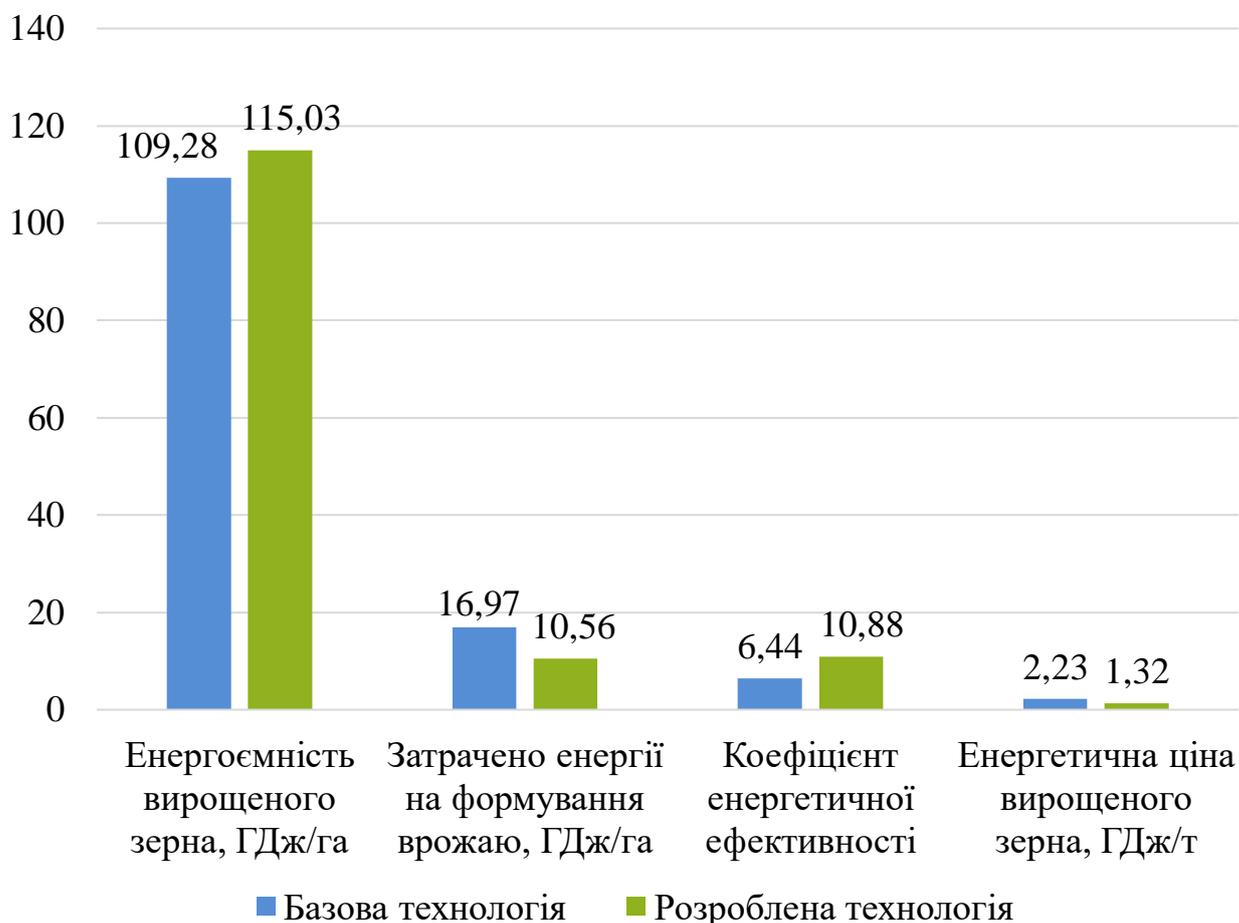


Рисунок 3.2 – Енергетична оцінка вирощування зерна кукурудзи за двома технологіями

Застосування розробленої технології вирощування зерна кукурудзи дозволяє знизити енергетичну ціну врожаю на 40,8 %.

Висновки до розділу. Розроблена технологія виробництва зерна кукурудзи дозволяє зменшити на 37,7 % загальні енерговитрати на формування врожаю, з 16971,2 МДж/га до 10568,4 МДж/га. Коефіцієнт енергетичної ефективності, запропонованої технології, перевищує вказаний показник для базової на 68,9 %. Одержані результати дозволяють стверджувати, що застосування розробленої технології дозволяє зменшити затрати енергії на виробництво зерна кукурудзи за всіма видами ресурсів. Найбільш суттєво

зменшуються енергозатрати щодо використання добрив – на 54,4 % або в кількісному вигляді з 8832,0 МДж/га до 4025,5 МДж/га. Це насамперед пов'язано із меншим обсягом їх застосування та приділення більшої уваги диференційованому використанні з позакореневими підживленням. Енергоємність пального зменшується при застосуванні розробленої технології на 20,5 %, насіння та пестицидів на 23,9 %, а праці персоналу на 21,4 %. Застосування розробленої технології вирощування зерна кукурудзи дозволяє знизити енергетичну ціну врожаю на 40,8 %. Таким чином, можна зробити висновок, що обґрунтовані засоби механізації та розроблена технологія вирощування зерна кукурудзи є доцільною заміною для інтенсивних технологій вирощування.

#### **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИ ВИКОНАННІ ОБПРИСКУВАННЯ**

Внесення пестицидів і мінеральних добрив у баковій суміші потребує суворого дотримання вимог безпеки, оскільки поєднання хімічних речовин підвищує ризики для здоров'я людей і довкілля. Перед початком робіт необхідно переконатися у сумісності препаратів, використовуючи офіційні рекомендації виробників або результати попередніх тестів, а також перевірити справність обприскувача, герметичність бака, шлангів і розпилювачів. Під час приготування суміші забороняється використовувати побутовий посуд, а компоненти додають у бак у визначеній послідовності, дотримуючись рекомендованих норм і концентрацій. Заправку обприскувача виконують обережно, уникаючи розливів і прямого контакту розчинів зі шкірою.

Обприскування сільськогосподарських культур пестицидами відноситься до небезпечних видів робіт і потребує суворого дотримання правил охорони праці, санітарно-гігієнічних вимог та норм екологічної безпеки. Безпека таких операцій забезпечується системою організаційних і технічних заходів, які охоплюють підготовчий етап, процес виконання обробки та завершальну стадію робіт.

До виконання обприскування допускаються лише працівники, які пройшли попередній медичний огляд, спеціальну підготовку, перевірку знань і відповідний інструктаж. Вони мають бути повністю забезпечені справними засобами індивідуального захисту, зокрема захисним одягом і взуттям, гумовими рукавицями, окулярами або захисним щитком, респіратором фільтрувального типу та головним убором. Перед початком робіт обов'язково перевіряють технічний стан обприскувача, звертаючи увагу на герметичність бака і магістралей, справність насосного обладнання, приладів контролю тиску, розпилювачів і запірних елементів, а також функціонування системи промивання. Використання машин із несправностями або витіканням робочого розчину не допускається.

Застосування пестицидів проводять виключно відповідно до інструкцій виробника із чітким дотриманням установлених норм витрати та концентрацій. Змішування препаратів дозволяється лише за умови підтвердженої сумісності. Під час завантаження пестицидів у бак слід уникати утворення пилу, розбризкування та контакту речовин зі шкірою або слизовими оболонками.

Польові обробки дозволяється проводити лише за відповідних погодних умов: за слабого вітру (до 3...4 м/с), помірної температури повітря, як правило не вище 20-25 °С, та за відсутності опадів, туману або роси. Це знижує ризик знесення препаратів і їх негативного впливу на працівників та довкілля. Під час обприскування на полі не повинно бути сторонніх осіб; також необхідно дотримуватися встановлених санітарно-захисних зон поблизу населених пунктів, пасік, водойм і сусідніх посівів. У процесі роботи забороняється приймати їжу, пити або палити.

Після завершення обприскування техніку ретельно очищають і промивають із застосуванням води або спеціальних мийних засобів, а промивні рідини утилізують відповідно до вимог екологічної безпеки. Залишки робочого розчину не можна зливати на ґрунт, у водойми чи каналізаційні мережі. Засоби індивідуального захисту знімають у визначеному порядку, очищають або перуть окремо від побутового одягу, а працівники повинні провести гігієнічні процедури. Вхід людей на оброблені площі дозволяється лише після закінчення регламентованого строку безпечного перебування.

Виконання зазначених вимог значно зменшує ймовірність отруєнь і аварійних ситуацій, обмежує негативний вплив пестицидів на довкілля та є необхідною умовою ефективного й безпечного захисту посівів.

У випадку аварійної ситуації, пов'язаної з витіканням або розливом пестицидів, персонал має діяти організовано й оперативно, зосереджуючи зусилля на захисті працівників, навколишнього середовища та локалізації небезпечної речовини.

Першочергово слід негайно зупинити виконання робіт і ліквідувати причину аварії: вимкнути обладнання, припинити подачу препарату, зупинити

насос чи агрегат. Осіб, не задіяних у ліквідації наслідків, необхідно терміново вивести за межі небезпечної зони з урахуванням напрямку повітряних потоків. Ділянку розливу слід обмежити, огородити та позначити застережними знаками, щоб унеможливити доступ сторонніх людей і тварин.

До усунення наслідків допускаються лише працівники, оснащені повним комплектом засобів індивідуального захисту, включно із захисним одягом, гумовими чоботами та рукавицями, фільтрувальним респіратором або протигазом відповідного типу, а також захисними окулярами. Виконання робіт без належного захисту забороняється незалежно від кількості розлитого препарату.

Подальший порядок дій визначається характером і місцем аварії. У разі забруднення ґрунту необхідно запобігти поширенню речовини, використовуючи земляні насипи або абсорбуючі матеріали (пісок, тирсу, ґрунт тощо). Після вбирання пестициду забруднений абсорбент збирають у герметичні ємності та передають на утилізацію відповідно до чинних вимог. За потреби знімають верхній шар ґрунту і вивозять його у спеціально визначене місце.

Якщо розлив відбувся на твердих покриттях, спочатку застосовують інертні матеріали для поглинання рідини, а потім поверхню очищають водою з використанням рекомендованих мийних або нейтралізувальних засобів. Забороняється скидати забруднені стоки у водойми, каналізаційні системи чи на відкриту місцевість.

У разі загрози потрапляння пестициду у водні об'єкти необхідно терміново локалізувати осередок забруднення за допомогою захисних бар'єрів або абсорбентів та повідомити відповідні служби. У таких ситуаціях проведення робіт без участі спеціалізованих фахівців може становити серйозну небезпеку.

Після завершення ліквідаційних заходів увесь використаний інвентар, техніка та засоби індивідуального захисту підлягають очищенню або знешкодженню згідно з інструкціями. Працівники повинні провести санітарну

обробку, а за появи будь-яких ознак погіршення самопочуття негайно звернутися до медичних закладів. Про аварійну подію оформлюють відповідну документацію та інформують керівництво і служби охорони праці та довкілля.

Дотримання зазначеного алгоритму дій дозволяє знизити загрозу для здоров'я людей, обмежити екологічні наслідки та зменшити ймовірність виникнення подібних інцидентів у подальшому.

## 5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОБОТИ

Аналіз економічної ефективності різних технологій вирощування зерна кукурудзи необхідно розпочинати з формування повної вихідної інформаційної бази для кожного з варіантів. На етапі оцінювання економічної ефективності технології вирощування кукурудзи уточнюють площі посівів, фактичні норми висіву насіння, внесення мінеральних добрив, застосування засобів захисту рослин і витрати пального, а також визначають їх поточну ринкову вартість. Окрім цього, до розрахунків включають витрати на оплату праці персоналу, технічне обслуговування та ремонт машинно-тракторного парку, амортизаційні відрахування й інші витрати, пов'язані з організацією та забезпеченням виробничого процесу.

Після узагальнення даних щодо ресурсного забезпечення виконують детальний розрахунок витрат на вирощування кукурудзи за кожним із досліджуваних технологічних варіантів. Це дає змогу визначити фактичний рівень використання матеріальних і трудових ресурсів та обчислити загальний обсяг виробничих витрат. На наступному етапі встановлюють величину валової продукції, що формується залежно від урожайності та площі посівів, і прогнозують обсяг виручки з урахуванням чинних цін реалізації зерна.

Отримані розрахунки слугують базою для порівняльного аналізу технологій за основними економічними показниками, зокрема собівартістю продукції, структурою витрат, рівнем прибутку та рентабельності. Такий підхід дозволяє виокремити технологію, яка забезпечує мінімальні затрати та максимальний економічний результат і є найбільш доцільною для впровадження в конкретних умовах господарства. Узагальнення результатів дає можливість оцінити перспективи практичного використання кожної технології. В умовах виробництва вирішальним критерієм ефективності часто виступає не максимальна урожайність, а рівень собівартості продукції, що зумовлює зростання ролі ресурсозберігаючих та енергоощадних технологій у сучасному землеробстві.

Початкові показники для визначення економічної ефективності обґрунтованих засобів механізації та розробленої технології вирощування зерна кукурудзи формуємо в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до роботи

Вихідні показники	Базова технологія	Розроблена технологія
Планова (орієнтовна) площа вирощування зерна кукурудзи, га	174	174
Орієнтовна (планова) врожайність зерна кукурудзи, т/га	7,6	8,0
Валовий збір зерна, т	1322,4	1392
Орієнтовна ціна реалізації зерна кукурудзи, грн/т	9750	9750
Питома витрата палива за техкартою, кг/га	63,3	50,3
Ціна пального, грн./кг	60	60
Годинна оплата праці, грн/год	75	75

Відповідно до розроблених техкарт, застосування розробленої технології вирощування зерна кукурудзи, сприяє зниженню питомої витрати пального на 13 кг/га. Питомі ж витрати праці також суттєво зменшуються з 3,41 люд.-год./га до 2,70 люд.-год./га. Крім того, значно зменшуються обсяги застосування міндобрив. Саме спираючись на цю інформацію виконаємо визначення економічної ефективності даної технології.

Розрахунок експлуатаційних витрат виконується згідно з загальноприйнятою методикою [18, 29], яка передбачає визначення витрат на пальне, насіння, мінеральні добрива та інші матеріальні ресурси в розрахунку на одиницю посівної площі.

Одними із суттєвих складових витрат при вирощуванні всіх культур є витрати на посівний матеріал та добрива. Приймаємо вартість посівного матеріалу кукурудзи – 5000 грн/п.о. Враховуючи кількість насіння в посівній

одиниці (п.о.) – 80 тис. шт. та обрану норму сівби кукурудзи 65 тис. шт./га, отримаємо орієнтовну питому вартість посівного матеріалу – 4060 грн/га. Крім базових експлуатаційних витрат та витрат на технологічні матеріали необхідно враховувати роботу адміністративного персоналу та витрати на оренду землі, які приймаємо для обох технологій 7000 грн/га.

На основі наведених вихідних даних і чинних методик виконано розрахунки основних економічних показників для базової та розробленої технологій вирощування зерна кукурудзи. Узагальнені результати визначення складових витрат за обома технологічними варіантами наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати економічної ефективності технологій

Показники	Варіанти технологій	
	Базова	Розроблена
Площа вирощування, га	174	174
Планова врожайність зерна, т/га	7,6	8,0
Валовий збір зерна, т	1322,4	1392,0
Ціна 1 т зерна кукурудзи, грн.	9750	9750
Питомі витрати всього, грн/га	25618,8	24048,1
в тому числі:		
- ПММ	3799,8	3019,8
- мінеральні добрива	7260,0	6890,0
- насіння (посівний матеріал)	4060,0	4060,0
- пестициди	3243,0	2875,5
- оплата праці персоналу	256,0	202,8
- інші	7000,0	7000,0
Собівартість зерна кукурудзи, грн/т	3370,9	3006,0
Орієнтовна (планова) виручка, грн	12893400	13572000
Всього витрат на вирощування, грн	4457669	4184376
Плановий прибуток, грн	8435731	9387624
Рентабельність, %	189,2	224,3

Висновки до розділу. Впровадження розробленої технології одержання зерна кукурудзи сприяє зниженню собівартості продукції з 3370,9 грн/га до 3006,0 грн/га, що становить 10,8 %. Розрахунками встановлено, що плановий прибуток підприємства у випадку застосування обґрунтованих засобів механізації та розробленої технології збільшується на 11,3 %. Рівень рентабельності для розробленої технології складає 224,3 %, а для базової всього 189,2 %.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що обсяги сівби кукурудзи стабільно показували зростання до 2022 року. Після 2022 року спостерігається помітне скорочення площ через окупацію та (або) замінування частини земель і загальну воєнну та логістичну нестабільність. Втрата логістичних шляхів для експорту зерна кукурудзи стала однією з основних причин зменшення її площ, так як це культура, яка відноситься до експортно орієнтованих. Найбільші обсяги посівів кукурудзи на зерно було зафіксовано у 2021 році – майже 5,5 млн. га. Проте, за останні два роки спостерігається тенденція щодо збільшення обсягів посіву даної культури. У 2025 році більші площі були засіяні тільки під соняшник та пшеницю озиму.

2. Обґрунтовано склад засобів механізації для виконання більшості основних технологічних операцій. На основі раціональних складів МТА та наукових рекомендацій розроблено план механізованих робіт вирощування зерна кукурудзи на площі 174 га. Застосування розробленої технології сприяє зниженню питомої витрати пального на 20,5 %, що в кількісному еквіваленті становить 13 кг/га. Питомі ж витрати праці також суттєво зменшуються з 3,41 люд.-год./га до 2,70 люд.-год./га, що становить 20,8 %. Слід зауважити, що планова врожайність зерна кукурудзи при цьому збільшується на 4 ц/га.

3. Розроблена технологія виробництва зерна кукурудзи дозволяє зменшити на 37,7 % загальні енерговитрати на формування врожаю, з 16971,2 МДж/га до 10568,4 МДж/га. Коефіцієнт енергетичної ефективності, запропонованої технології, перевищує вказаний показник для базової на 68,9 %. Одержані результати дозволяють стверджувати, що застосування розробленої технології дозволяє зменшити затрати енергії на виробництво зерна кукурудзи за всіма видами ресурсів. Найбільш суттєво зменшуються енергозатрати щодо використання добрив – на 54,4 % або в кількісному вигляді з 8832,0 МДж/га до 4025,5 МДж/га. Це насамперед пов'язано із меншим обсягом їх застосування та приділення більшої уваги диференційованому використанні з позакореневими

підживленням. Енергоємність пального зменшується при застосуванні розробленої технології на 20,5 %, насіння та пестицидів на 23,9 %, а праці персоналу на 21,4 %. Застосування розробленої технології вирощування зерна кукурудзи дозволяє знизити енергетичну ціну врожаю на 40,8 %. Таким чином, можна зробити висновок, що обґрунтовані засоби механізації та розроблена технологія вирощування зерна кукурудзи є доцільною заміною для інтенсивних технологій вирощування.

4. Наведено вимоги безпеки при внесенні робочих розчинів пестицидів в сукупності з позакореневим підживленням.

5. Впровадження розробленої технології одержання зерна кукурудзи сприяє зниженню собівартості продукції з 3370,9 грн/га до 3006,0 грн/га, що становить 10,8 %. Розрахунками встановлено, що плановий прибуток підприємства у випадку застосування обґрунтованих засобів механізації та розробленої технології збільшується на 11,3 %. Рівень рентабельності для розробленої технології складає 224,3 %, а для базової всього 189,2 %.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Foreign Agricultural Service. Ukraine Corn Area, Yield and Production. <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/Default.aspx?id=UP&crop=Corn>
2. Кукурудзяна статистика: площі, валовий збір та урожайність зернової за 2017-2024 рр. [https://superagronom.com/articles/764-kukurudzyana-statistika-ploschi-valoviy-zbir-ta-uroжайnist-zernovoyi-za-2017-2024-rr?utm\\_source=chatgpt.com](https://superagronom.com/articles/764-kukurudzyana-statistika-ploschi-valoviy-zbir-ta-uroжайnist-zernovoyi-za-2017-2024-rr?utm_source=chatgpt.com)
3. Обсяг виробництва, урожайність та зібрана площа сільськогосподарських культур за їх видами по регіонах. Держастат України. <https://www.ukrstat.gov.ua>
4. Посівні площі сільськогосподарських культур за їх видами у 2025 році. Державна служба статистики України. <https://www.ukrstat.gov.ua>
5. Domokos, Z., Şimon, A., Cheţan, F., Ceclan, O. A., Filip, E., Călugăr, R. E., Vâtcă, S. D., & Duda, M. M. (2024). The Influence of Sowing Date on the Primary Yield Components of Maize. *Agronomy*, 14(9), 2120. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092120>
6. Yu, X., Zhang, Q., Gao, J., Wang, Z., Borjigin, Q., Hu, S., Zhang, B., & Ma, D. (2019). Planting Density Tolerance of High-Yielding Maize and the Mechanisms Underlying Yield Improvement with Subsoiling and Increased Planting Density. *Agronomy*, 9(7), 370. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070370>
7. Господаренко Г.М., Черно О.Д., Мартинюк А.Т., Бойко В.П. Винесення основних елементів живлення з ґрунту культурами польової сівозміни за різного удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник*. 2021. Вип. 91. Харків : ННЦ «ІА ім. О.Н. Соколовського». 2021. С. 31–40.
8. Гавловський О. О., Недільська У. І. Продуктивність кукурудзи під впливом добрив. Актуальні проблеми охорони рослинного світу та відновлення біорозмаїття – 2020: Збірник наукових праць Всеукраїнської студентської

науково-практичної інтернет-конференції 15 травня 2020 р. (ПДАТУ, м. Кам'янець-Подільський). Кам'янець-Подільський, 2020. С. 6–7.

9. Жмура О., Андрієнко О. Удобрення гібридів кукурудзи. Сучасні технології агропромислового виробництва: матеріали I Міжнародної студентської науково-практичної інтернет-конференції. Кропивницький, 19 листопада 2020 р. 2020. С. 70–72. 26. Мілютенко Т. Б. Оптимізація поживного режиму ґрунту в агрофітоценозі кукурудзи. Збалансоване природокористування. 2014. № 2. С. 81–87.

10. Філоленко С.В. Формування зернової продуктивності кукурудзи за різних способів основного обробітку ґрунту. *Scientific Progress & Innovations*, 2013, т. 3. С. 56-60.

11. Танчик С., Миколенко Я. Вплив систем основного обробітку ґрунту на вміст доступної вологи та продуктивність кукурудзи в Правобережному Лісостепу. *Вісник аграрної науки*, 2017. 95, №4. С. 12-16.

12. Дацько О.М., Захарченко Е.А. Особливості впливу основного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи. *Аграрні інновації*, 2022, №13. С. 46-52.

13. Кобець О.Б., & Центилю Л.В. (2024). Водний режим чорнозему типового залежно від агротехнологічних заходів вирощування кукурудзи. *Аграрні інновації*, (27), С. 49-53.

14. Гангур, В., Маренич, М., Єремко, Л., Шостя, А., Пузир, Д., та Кирлиця, А. (2023). Вплив способів основного обробітку ґрунту на врожайність гібридів кукурудзи в умовах Лівобережного Лісостепу. *Науковий прогрес та інновації*, 26 (4), 19–23. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.04>

15. Маслійов С.В.; Шевченко А.М.; Маслійов Є.С. Вплив обробітку ґрунту на ріст, розвиток та урожайність розлусної кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*, 2020, 116 ч 2: 14-21.

16. Маренич М.М.; Коба К.В. Вплив обробітку ґрунту на урожайність материнських ліній гібридів кукурудзи. *Scientific Progress & Innovations*, 2024, 27.1: 19-23.

17. Глибкорозпушувач стрілоподібний GRS 4 із внесенням добрив VELES AGRO. <https://technotorg.com/katalog-uk/silgosptekhnika/gruntoobrobka/chizeli-glibkorozpushuvachi/glibkorozpushuvach-strilopodibnii-grs-4-iz-vnesenniam-dobriv-veles-agro>

18. Дипломне проектування з машиновикористання у рослинництві / . Кобець А.С., Ільченко В.Ю., Бутенко В.Г., Кухаренко П.М., [та ін.]; ДДАУ, Дніпропетровськ, 2007. 288с.

19. Вахній С.П.; Засуха А.А. Вплив добрив та регуляторів росту рослин на продуктивність основної і побічної продукції кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*, 2024, 137: 44-55. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.6>

20. Ivaniuk V., Hnativ P., & Olifir Y. (2022). INFLUENCE OF NITROGEN FERTILIZERS ON THE FORMATION OF CORN GRAIN YIELD AND NITROGEN USE EFFICIENCY. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agronomy*, (26), 170–176. <https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.170>

21. Господаренко Г. М., Любич В. В., Леонова К. П., Стоцький В. В. Вплив вапнування чорнозему опідзоленого та удобрення на врожайність кукурудзи. *Аграрні інновації*. 2022. (13) С. 35–39. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.5>

22. Філоненко С.В., Попов О.О. Аналіз ефективності позакореневого внесення мікроелементів на посівах кукурудзи. Інновації управління продуктивністю та поліпшення якості зерна пшениці озимої: матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, присвяченої пам'яті професора Г. П. Жемели. Полтава, 30 вересня 2021 р. 2021. С. 109–112.

23. Шинкарук Л. Вплив макро- і мікродобрив на врожайність кукурудзи. *Вісник ЛНАУ: Агрономія*. 2021. № 25. С. 162–166. <https://doi.org/10.31734/agronomy2021.01.162>

24. Деркач О.Д., Макаренко Д.О. Практикум з дисципліни «Аналіз технологічних систем». Дніпропетровськ: ДДАУ, 2012. 80 с.

25. Методичні положення та норми продуктивності і витрат палива на обробіток ґрунту /І. М. Демчак, Л. В. Кукса, В. М. Івченко, В.С. Пивовар та ін. Київ : НДІ "Укראгропромпродуктивність", 2019. 280 с.

26. Методичні положення та норми продуктивності і витрат палива на сівбі, садінні та догляді за посівами [Текст] / [І. М. Демчак та ін.]; Укр. НДІ продуктивності агропром. комплексу. Київ: НДІ "Укראгропромпродуктивність", 2019. - 103 с.

27. Методичні положення та норми продуктивності і витрат палива на збиранні сільськогосподарських культур / І. М. Демчак, В. О. Завалевська, В. С. Пивовар, М. Ф. Кисляченко та ін. К.: НДІ "Укראгропромпродуктивність", 2014. 272 с.

28. Кобець А.С., Деркач О.Д., Макаренко Д.О. Машиновикористання в рослинництві (енергетичний аналіз): навч. посіб. Дніпро: Пороги, 2025. 128 с.

29. Деркач О.Д., Макаренко Д.О., Кухаренко П.М. Методичні рекомендації до практичних занять з навчальної дисципліни «Експлуатація машин і обладнання» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП «Агроінженерія». Дніпро: ДДАЕУ. 2022. 246 с.

# ДОДАТКИ

## Додаток А1 – План вирощування зерна кукурудзи за базовою технологією на площі 174 га

Попередник - зернові або зернобобові

врожайність зерна - 7,6 т/га

Тип ґрунту-II

Гр. господарств-II

Операції	Агротехнічні вимоги	Одиниці виміру	Обсяг роботи	Строки виконання		Тривалість роботи за добу	Склад агрегату			кількість с.-г. машин	Виробіток			Потрібно для виконання роботи			Витрати палива, кг		Затрати праці, люд-год/га		Кількість нормо-змін	
				календарні	тривалість днів		трактор	зчіпка	с.-г. м.		за годину	за зміну	за добу	агрегатів	трактористів	додаткових працівників	за нормою	на весь обсяг	на одиницю роботи	на весь обсяг		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	Лущення стерні	6-8 см	га	174	15-30.07	5	14	МТЗ-826		ЛДГ-5М	1	4,70	32,9	65,8	1	2		3,60	626,4	0,21	37,0	3,70
2	Лущення стерні	10-12 см	га	174	01-15.09	5	14	МТЗ-826		ЛДГ-5М	1	4,70	32,9	65,8	1	2		3,60	626,4	0,21	37,0	3,70
3	Оранка	25-27см	га	174	01-20.10	7	14	Case MX 335		Lemken Opal 8+1	1	2,10	14,7	29,4	1	2		19,50	3393,0	0,48	82,9	11,84
4	Ранньовесняне боронування	4-5 см	га	162	05-15.03	5	14	МТЗ-826		БЗП-15	1	9,80	68,6	137,2	1	2		1,70	275,4	0,10	16,5	2,36
5	Навантаження карбаміду	0,15 т/га	т	26,10	20.04-10.05	5	14	МТЗ-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	185,0	370,0	1	2		0,26	6,8	0,04	1,0	0,14
6	Перевезення добрив і завантаження розкидача	5 км	т	26,10	20.04-10.05	5	14	КамАЗ-5511		ЗС-30ГШ	1	11,80	82,6	165,2	1	2		0,95	24,8	0,08	2,2	0,32
7	Внесення карбаміду	0,15 т/га	га	174	20.04-10.05	5	14	МТЗ-826		Amazone ZA-M	1	8,90	62,3	124,6	1	2		1,80	313,2	0,11	19,6	2,79
8	Передпосівна культивация	6-8 см	га	174	20.04-10.05	5	14	ХТЗ-17221		КПГ-11	1	7,83	54,8	109,6	1	2		4,30	748,2	0,13	22,2	3,18
9	Навантаження посівного матеріалу	0,018 т/га	т	3,13	20.04-10.05	5	14	МТЗ-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	185,0	370,0	1	2		0,26	0,8	0,04	0,1	0,02
10	Перевезення посівного матеріалу та завантаження сівалки	5 км	т	3,13	20.04-10.05	5	14	КамАЗ-5511			1	11,80	82,6	165,2	1	2		0,80	2,5	0,08	0,3	0,04
11	Сівба (65 тис. шт./га)	6-8 см	га	174	20.04-10.05	5	14	МТЗ-826		Kinze 3000	1	3,40	23,8	47,6	1	2		2,40	417,6	0,29	51,2	7,31
12	Перевезення води та гербициду	0,22 т/га	т	38,28	20.04-10.05	5	12	МТЗ-826		МЖТ-8	1	4,13	24,8	49,6	1	2		1,20	45,9	0,24	9,3	1,32
13	Внесення робочого розчину гербициду Ацетохлор 2,5 л/га, Гліфосат 3 л/га	0,22 т/га	га	174	20.04-10.05	5	12	МТЗ-1025		ТИТАН-3200-24	1	11,80	70,8	141,6	1	2		1,15	200,1	0,08	14,7	2,11
14	Перевезення води та страхового гербициду	0,22 т/га	т	38,28	20-30.05	3	12	МТЗ-826		МЖТ-8	1	4,13	24,8	49,6	1	2		1,20	45,9	0,24	9,3	1,32
15	Внесення робочого розчину гербициду Майстер 0,15 кг/га та прилипач Біопавер 1,2 л/га	0,22 т/га	га	174	20-30.05	3	12	МТЗ-1025		ТИТАН-3200-24	1	11,80	70,8	141,6	1	2		1,15	200,1	0,08	14,7	2,11
16	Навантаження аміачної селітри	0,12 т/га	т	20,88	10-17.06	5	14	МТЗ-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	185,0	370,0	1	2		0,26	5,4	0,04	0,8	0,11
17	Перевезення добрив і завантаження розкидача	4 км	т	20,88	10-17.06	5	14	КамАЗ-5511		ЗС-30ГШ	1	11,80	82,6	165,2	1	2		0,95	19,8	0,08	1,8	0,25
18	Внесення аміачної селітри	0,12 т/га	га	174	10-17.06	5	14	МТЗ-826		Amazone ZA-M	1	8,90	62,3	124,6	1	2		1,95	339,3	0,11	19,6	2,79
19	Перевезення води і пестицидів	0,22 т/га	т	38,28	20-30.06	3	12	МТЗ-826		МЖТ-8	1	4,13	24,8	49,6	1	2		1,20	45,9	0,24	9,3	1,32
20	Внесення робочих розчинів інсектицидів Драгун 1,2 л/га, Каратель 0,15 л/га	0,22 т/га	га	174	20-30.06	3	12	МТЗ-1025		ТИТАН-3200-24	1	11,80	70,8	141,6	1	2		1,15	200,1	0,08	14,7	2,11
21	Збирання врожаю	7,6 т/га	га	174	01-30.10	10	10	JD-9640			1	3,20	22,4	32,0	1	2		13,2	2296,8	0,31	54,4	7,77
22	Перевезення врожаю	5 км	т	1322,4	01-30.10	10	10	КамАЗ-45144			1	9,75	68,3	97,5	2	4		0,75	991,8	0,10	135,6	19,38
Всього																		63,3	10826,4	3,41	554,1	

## Додаток А2 – План вирощування зерна кукурудзи за розробленою технологією на площі 174 га

Попередник - зернові або зернобобові

врожайність зерна - 8,0 т/га

Тип ґрунту-II

Гр. господарств-II

Операції	Агротех вим	Одиниці виміру	Обсяг роботи	Строки виконання		Склад агрегату			кількість с-г. машин	Вирібіток			Потрібно для виконання роботи			Витрати палива, кг		Затрати праці, люд-год/га		Кількість нормо-змін		
				календарні	тривалість днів	трактор	зчіпка	с-г. м.		за годину	за зміну	за добу	агрегатів	трактористів	додаєткових працівників	за нормою	на весь обсяг	на одиницю роботи	на весь обсяг			
																					Тривалість роботи за добу	Тривалість роботи за добу
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	Лущення стерні	6-8 см	га	174	20-30.08	5	14	МТЗ-826		ЛДГ-5М	1	4,70	32,9	65,8	1	2		3,60	626,4	0,21	37,0	3,70
2	Навантаження діаміафосу	0,1 т/га	т	17,40	20.09-20.10	5	14	МТЗ-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	185,0	370,0	1	2		0,26	4,5	0,04	0,7	0,09
3	Перевезення добрив і завантаження розпушувача	5 км	т	17,40	20.09-20.10	5	14	КамАЗ-5511		ЗС-30ГШ	1	11,80	82,6	165,2	1	2		0,95	16,5	0,08	1,5	0,21
4	Глибоке розпушування з внесенням добрив	35-37 см	га	174	20.09-20.10	8	14	Case MX 335		GRS-4	1	3,20	22,4	44,8	1	2		15,00	2610,0	0,31	54,4	7,77
5	Ранньосезонне боронування	4-5 см	га	174	05-15.03	5	14	ХТЗ-17221		БЗП-24	1	13,54	94,8	189,6	1	2		1,50	261,0	0,07	12,8	1,84
6	Передпосівна культивация	6-8 см	га	174	20.04-10.05	5	14	Case MX 335		Компактомат К-930	1	7,40	51,8	103,6	1	2		3,80	661,2	0,14	23,5	3,36
7	Навантаження міндобрив (NPK 16:16:16)	0,12 т/га	т	20,88	20.04-10.05	5	14	МТЗ-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	185,0	370,0	1	2		0,26	5,4	0,04	0,8	0,11
8	Навантаження посівного матеріалу	0,018 т/га	т	3,13	20.04-10.05	5	14	МТЗ-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	185,0	370,0	1	2		0,26	0,8	0,04	0,1	0,02
9	Перевезення добрив та насіння і завантаження сіялки	5 км	т	24,01	20.04-10.05	5	14	КамАЗ-5511		ЗС-30ГШ	1	11,80	82,6	165,2	1	2		0,95	22,8	0,08	2,0	0,29
10	Сівба (65 тис.шт./га)	6-8 см	га	174	20.04-10.05	5	14	МТЗ-826		Kinze 3000	1	3,40	23,8	47,6	1	2		2,60	452,4	0,29	51,2	7,31
11	Перевезення води та гербіциду	0,17 т/га	т	29,58	20.04-10.05	5	12	МТЗ-826		МЖТ-8	1	4,13	24,8	49,6	1	2		1,20	35,5	0,24	7,2	1,02
12	Внесення робочого розчину гербіциду Харнес 2,7 л/га, Раундап Макс 2 л/га	0,17 т/га	га	174	20.04-10.05	5	12	МТЗ-1025		ТИТАН-3200-24	1	13,20	79,2	158,4	1	2		1,00	174,0	0,08	13,2	1,88
13	Перевезення води пестицидів та добрив	0,17 т/га	т	29,58	фаза 3-5 листочків	5	12	МТЗ-826		МЖТ-8	1	4,13	24,8	49,6	1	2		1,20	35,5	0,24	7,2	1,02
14	Внесення робочого розчину гербіциду Майстер 150 т/га, карбамід 10 кг/га, Росток Цинк 1 л/га, сульфат магнію 4 кг/га	0,17 т/га	га	174	фаза 3-5 листочків	5	12	МТЗ-1025		ТИТАН-3200-24	1	13,20	79,2	158,4	1	2		1,00	174,0	0,08	13,2	1,88
15	Перевезення води та добрив	0,17 т/га	т	29,58	фаза 6-8 листочків	5	12	МТЗ-826		МЖТ-8	1	4,13	24,8	49,6	1	2		1,20	35,5	0,24	7,2	1,02
16	Позакореневе підживлення карбамід 10 кг/га, Гуміфілд 0,2 л/га, сульфат магнію 4 кг/га, Ріверм 1 л/га	0,17 т/га	га	174	фаза 6-8 листочків	5	12	МТЗ-1025		ТИТАН-3200-24	1	13,20	79,2	158,4	1	2		1,00	174,0	0,08	13,2	1,88
17	Внесення трихограм	150 тис.шт./га	га	174	10-20.07	3	14		БПЛА		1	40,00	280	560	1	2				0,03	4,4	0,62
18	Збирання врожаю	8,0 т/га	га	174	01-30.10	10	10	JD-9640			1	3,20	22,4	32,0	1	2		13,8	2401,2	0,31	54,4	7,77
19	Перевезення врожаю	5 км	т	1392	01-30.10	10	10	КамАЗ-45144			1	9,75	68,3	97,5	2	4		0,75	1044,0	0,10	142,8	20,40
Всього																		50,3	8734,8	2,70	446,5	

## Додаток Б1 – Технологічна карта вирощування зерна кукурудзи за базовою технологією на площі 174 га

1	2	3	4	Склад агрегату			8	9	Потрібно для виконання робіт		Норма витрати			Енергоємність, МДж/га							
				трактор	зірка	с.-г. машина			Кількість с.-г. машин	Годинна продуктивність	трактористів	допоміжних працівників	пального, кг/га, кг/т	праці людини, люд-год/га	К-сть нормозмін	МГА	Пальне	Праця людини	Добрива	Пестициди, насіння	Разом
1	Луцнення стерні	га	174	MT3-826		ЛДГ-5М	1	4,70	1			3,6	0,21	3,70	35,81	286,20	9,23				331,24
2	Луцнення стерні	га	174	MT3-826		ЛДГ-5М	1	4,70	1			3,6	0,21	3,70	35,81	286,20	9,23				331,24
6	Оранка	га	174	Case MX 335		Lemken Opal 8+1	1	2,10	1			19,5	0,48	11,84	200,06	1550,25	20,67				1770,97
7	Ранньовесняне боронування	га	162	MT3-826		БЗП-15	1	9,80	1			1,7	0,10	2,36	24,68	135,15	4,43				164,26
8	Навантаження карбаміду	т	26,1	MT3-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	1			0,26	0,04	0,14	6,33	20,67	1,64				28,64
9	Перевезення добрив і завантаження розкидача	т	26,1	КамАЗ-5511		ЗС-30ГШ	1	11,80	1			0,95	0,08	0,32	14,38	75,53	3,68				93,58
10	Внесення карбаміду	т	174	MT3-826		Amazone ZA-M	1	8,90	1			1,8	0,11	2,79	20,85	143,10	4,88	5520,00			5688,83
11	Передпосівна культивування	га	174	ХТЗ-17221		КПГ-11	1	7,83	1			4,3	0,13	3,18	63,13	341,85	5,54				410,52
12	Навантаження посівного матеріалу	т	3,13	MT3-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	1			0,26	0,04	0,02	6,33	20,67	1,64				28,64
13	Перевезення посівного матеріалу та завантаження сівалки	т	3,13	КамАЗ-5511			1	11,80	1			0,8	0,08	0,04	8,58	63,60	3,68				75,85
14	Сівба (65 тис. шт./га)	га	174	MT3-826		Kinze 3000	3	3,40	1			2,4	0,29	7,31	93,32	190,80	12,76			408,67	705,56
15	Перевезення води та гербіциду	т	38,28	MT3-826		МЖТ-8	1	4,13	1			1,2	0,24	1,32	48,00	95,40	10,50				153,90
16	Внесення робочого розчину гербіциду Ацетохлор 2,5 л/га, Гліфосат 3 л/га	га	174	MT3-1025		ТИТАН-3200-24	1	11,80	1			1,15	0,08	2,11	55,09	91,43	3,68			745,80	895,99
17	Перевезення води та страхового гербіциду	т	38,28	MT3-826		МЖТ-8	1	4,13	1			1,2	0,24	1,32	48,00	95,40	10,50				153,90
18	Внесення робочого розчину гербіциду Майстер 0,15 кг/га та приліпач Біопавер 1,2 л/га	га	174	MT3-1025		ТИТАН-3200-24	1	11,80	1			1,15	0,08	2,11	55,09	91,43	3,68			220,50	370,69
19	Навантаження аміачної селітри	т	20,88	MT3-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	1			0,26	0,04	0,11	6,33	20,67	1,64				28,64
20	Перевезення добрив і завантаження розкидача	т	20,88	КамАЗ-5511		ЗС-30ГШ	1	11,80	1			0,95	0,08	0,25	14,38	75,53	3,68				93,58
21	Внесення аміачної селітри	т	174	MT3-826		Amazone ZA-M	1	8,90	1			1,95	0,11	2,79	20,85	155,03	4,88	3312,00			3492,76
19	Перевезення води і пестицидів	т	38,28	MT3-826		МЖТ-8	1	4,13	1			1,2	0,24	1,32	48,00	95,40	10,50				153,90
20	Внесення робочих розчинів інсектицидів Драгун 1,2 л/га, Каратель 0,15 л/га	га	174	MT3-1025		ТИТАН-3200-24	1	11,80	1			1,15	0,08	2,11	55,09	91,43	3,68			180,90	331,09
24	Збирання врожаю	га	174	JD-9640			1	3,20	1			13,2	0,31	7,77	529,92	1049,40	13,56				1592,88
25	Перевезення врожаю	т	1322,4	КамАЗ-45144			1	9,75	1			0,75	0,10	19,38	10,38	59,63	4,45				74,46
<b>Всього</b>														<b>1400,4</b>	<b>5034,7</b>	<b>148,1</b>	<b>8832,0</b>	<b>1555,9</b>	<b>16971,2</b>		

## Додаток Б2 – Технологічна карта вирощування зерна кукурудзи за розробленою технологією на площі 174 га

## Технологічна карта вирощування кукурудзи на зерно на площі 174 га за розробленою технологією

Операції	Одиниці виміру	Обсяг роботи	Склад агрегату			Кількість с.-г. машин	Годинна продуктивність	Потрібно для виконання робіт		Норма витрати			Енергоємність, МДж/га						
			трактор	зіплка	с.-г. машина			трактористів	допоміжних працівників	пального, кг/га, кг/т	праці людини, люд-год/га	К-сть нормозмін	МТА	Пальне	Праця людини	Добрива	Пестициди, насіння	Разом	
																			12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Лущення стерні	га	174	MT3-826		ЛДГ-5М	1	4,70	1		3,60	0,21	3,70	35,81	286,20	9,23			331,24
2	Навантаження діамофосу	т	17,4	MT3-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	1		0,26	0,04	0,09	6,33	20,67	1,64			28,64
3	Перевезення добрив і завантаження розпушувача	т	17,4	КамАЗ-5511		ЗС-30ГШ	1	11,80	1		0,95	0,08	0,21	14,38	75,53	3,68			93,58
4	Глибоке розпушування з внесенням добрив	га	174	Case MX 335		GRS-4	1	3,20	1		15,00	0,31	7,77	113,63	1192,50	13,56	978,50		2298,19
5	Ранньовесняне боронування	га	174	ХТЗ-17221		БЗП-24	1	13,54	1		1,50	0,07	1,84	33,60	119,25	3,20			156,06
6	Передпосівна культивация	га	174	Case MX 335		Компактомат К-930	3	7,40	1		3,80	0,14	3,36	85,58	302,10	5,86			393,55
7	Навантаження мінодобрив (NPK 16:16:16)	т	20,88	MT3-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	1		0,26	0,04	0,11	6,33	20,67	1,64			28,64
8	Навантаження посівного матеріалу	т	3,13	MT3-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	1		0,26	0,04	0,02	6,33	20,67	1,64			28,64
9	Перевезення добрив та насіння і завантаження сівалки	т	24,01	КамАЗ-5511		ЗС-30ГШ	1	11,80	1		0,95	0,08	0,29	14,38	75,53	3,68			93,58
10	Сівба (65 тис.шт./га)	га	174	MT3-826		Kinze 3000	3	3,40	1		2,60	0,29	7,31	93,32	206,70	12,76	2208,00	408,67	2929,46
11	Перевезення води та гербіциду	т	29,58	MT3-826		МЖТ-8	1	4,13	1		1,20	0,24	1,02	48,00	95,40	10,50			153,90
12	Внесення робочого розчину гербіциду Харнес 2,7 л/га, Раундап Макс 2 л/га	га	174	MT3-1025		ТИТАН-3200-24	1	13,20	1		1,00	0,08	1,88	49,25	79,50	3,29		620,40	752,44
13	Перевезення води пестицидів та добрив	т	29,58	MT3-826		МЖТ-8	1	4,13	1		1,20	0,24	1,02	48,00	95,40	10,50			153,90
14	Внесення робочого розчину гербіциду Майстер 150 г/га, карбаміду 10 кг/га, Росток Цинк 1 л/га, сульфат магнію 4 кг/га	га	174	MT3-1025		ТИТАН-3200-24	1	13,20	1		1,00	0,08	1,88	49,25	79,50	3,29	412,80	154,50	699,34
15	Перевезення води та добрив	т	29,58	MT3-826		МЖТ-8	1	4,13	1		1,20	0,24	1,02	48,00	95,40	10,50			153,90
16	Позакореневе підживлення карбамід 10 кг/га, Гуміфілд 0,2 л/га, сульфат магнію 4 кг/га, Ріверм 1 л/га	га	174	MT3-1025		ТИТАН-3200-24	1	13,20	1		1,00	0,08	1,88	49,25	79,50	3,29	426,24		558,28
17	Внесення трихограми		174			БПЛА	1	40,00	1			0,03	0,62						
18	Збирання врожаю	га	174	JD-9640			1	3,20	1		13,80	0,31	7,77	529,92	1097,10	13,56			1640,58
19	Перевезення врожаю	т	1392	КамАЗ-45144			1	9,75	1		0,75	0,10	20,40	10,38	59,63	4,45			74,46
Всього														<b>1241,7</b>	<b>4001,2</b>	<b>116,3</b>	<b>4025,5</b>	<b>1183,6</b>	<b>10568,4</b>

Додаток В – Демонстраційний матеріал до дипломної роботи

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інженерно-технологічний факультет**  
Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

**Обґрунтування засобів механізації при вирощуванні кукурудзи на зерно з  
енергетичною оцінкою технологій**

Демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-1-24

Коробка Владислав Вікторович

**Керівник:** к.т.н., доцент

Макаренко Дмитро Олександрович

ДНІПРО 2025

**Метою дипломної роботи є оптимізація вибору засобів механізації та технології при вирощуванні кукурудзи на зерно.**

**Для досягнення мети необхідно виконати такі задачі:**

- Проаналізувати особливості технологій вирощування та вплив технологічних операцій на врожайність зерна кукурудзи.
- Обґрунтувати засоби механізації та розробити технологію вирощування зерна кукурудзи.
- Провести аналіз енергетичних показників технологій вирощування кукурудзи на зерно.
- Навести вимоги при внесенні робочих розчинів пестицидів та мінеральних добрив.
- Обґрунтувати економічну ефективність розробленої технології

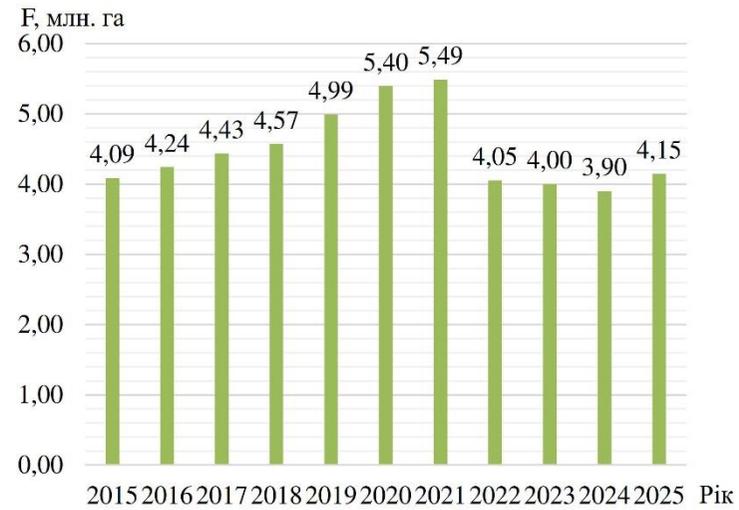


Рис. 1 – Динаміка посівних площ під вирощування кукурудзи на зерно в Україні за 2015-2025 рр.

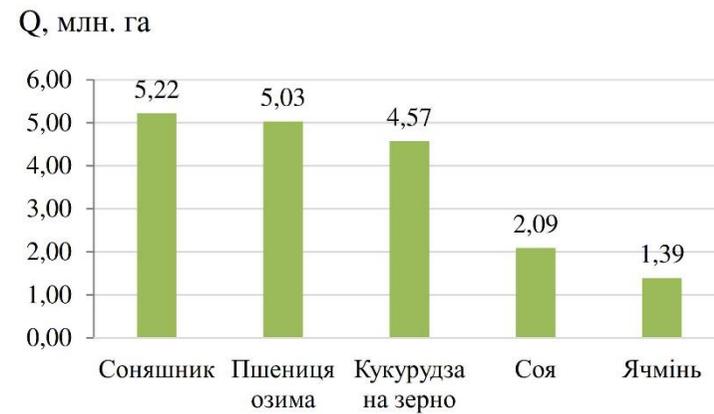


Рисунок 2 – Культури з найбільшими посівними площами у 2025 році

Таблиця 1 – Типи МТА для виконання основного обробітку ґрунту та їх деякі експлуатаційні витрати

№ з/п	Тип МТА для обробітку ґрунту	Орієнтовна витрата палива (л/га)	Вартість палива грн/га	Орієнтовні операційні витрати (приймаємо для спрощення з коефіцієнтом 2,2 від витрати пального)
1	Глибокорозпушувач + трактор 180...300 к.с.	12...18	720...1080	1584...2376
2	Важка дискова борона (дискування) + трактор 150...200 к.с.	6...9	360...540	792...1188
3	Комбінований агрегат (Horsch Tiger / аналог) + трактор 250–350 к.с.	15...18	900...1080	1980...2376
4	No-till (без основного обробітку) можливе застосування подрібнювача/мульчування + трактор 120...200 к.с.	3...4 подрібнювач/ мульчувач	180...240	296...528
5	Оранка	20-24	1200...1440	2640...3168

У, ц/га

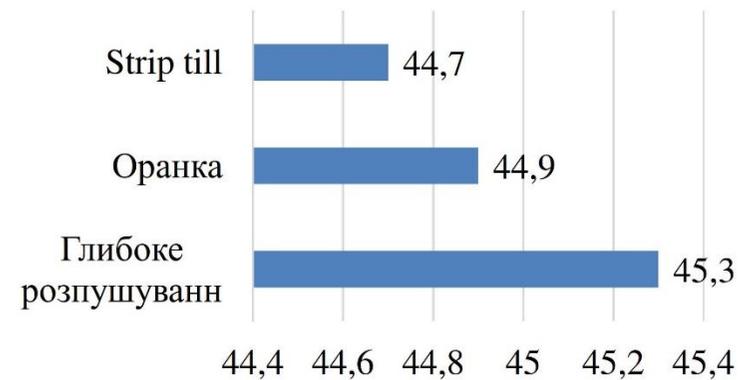


Рисунок 3 - Вплив способу обробітку ґрунту на врожайність материнських ліній кукурудзи на зерно

№ з/п	Склад МТА	Виробіток, га/зм	Затрати палива, кг/га	Затрати праці, люд-год/га	Енергоємність, МДж/га			
					МТА	пального	праці людини	разом
1	ХТЗ-17221+КПГ-11	54,8	4,3	0,128	80,4	341,9	5,5	427,8
2	МТЗ-826+АКС-3,5	20,7	4,4	0,338	57,6	349,8	14,7	422,1
3	Case MX335+Компактомат К-930	51,8	3,8	0,135	103,7	302,1	5,9	411,7

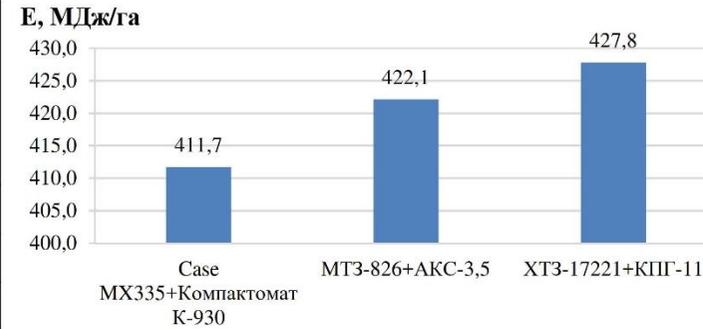


Рисунок 4 – Обґрунтування вибору складу МТА для проведення передпосівної культивуації

Таблиця 2 - Обґрунтування вибору складу МТА для внесення мінеральних добрив

№ п/п	Склад МТА		Показники			
	Енергетичний засіб	С.-г. машина	Виробіток МТА, га/год	Затрати пального, кг/га.	$f_0$ , га/кг	$\mu$
2	МТЗ-826	1 РМГ-4	3,9	2,2	0,455	-0,281
3	МТЗ-826	Amazone ZA-M	8,9	1,8	0,556	0,111
4	МТЗ-826	МВУ-5	5,9	2,2	0,455	-0,169
Ідеалізований варіант			8,9		0,455	

Таблиця 3 - Обґрунтування вибору складу МТА для внесення робочих розчинів пестицидів та добрив

№ п/п	Склад МТА		Показники			
	Трактор	С.-г. машина	Виробіток, га/год	Затрати пального, кг/га.	$f_0$ , га/кг	$\mu$
2	МТЗ-826	ТЕСІS-24	12,1	0,95	1,053	-0,042
3	МТЗ-1025	ТИТАН-3200-24	13,2	1,0	1,000	-0,025
4	МТЗ-826	ОП-2000	9,1	1,2	0,833	-0,260
Ідеалізований варіант			13,2		1,053	

## Технологічна карта вирощування кукурудзи на зерно за базовою технологією на площі 174 га

Операції	Одиниці виміру	Обсяг роботи	Склад агрегату			Кількість с.-г. машин	Годинна продуктивність	Потрібно для виконання робіт		Норма витрати			Енергоємність, МДж/га						
			трактор	зіплка	с.-г. машина			трактористів	допоміжних працівників	пального, кг/га, кг/т	праці людини, люд-год/га	К-сть нормо-змін	МГА	Пальне	Праця людини	Добрива	Пестициди, насіння	Разом	
																			12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Лущення стерні	га	174	MT3-826		ЛДГ-5М	1	4,70	1		3,6	0,21	3,70	35,81	286,20	9,23			331,24
2	Лущення стерні	га	174	MT3-826		ЛДГ-5М	1	4,70	1		3,6	0,21	3,70	35,81	286,20	9,23			331,24
6	Оранка	га	174	Case MX 335		Lemken Opal 8+1	1	2,10	1		19,5	0,48	11,84	200,06	1550,25	20,67			1770,97
7	Ранньовесняне боронування	га	162	MT3-826		БЗП-15	1	9,80	1		1,7	0,10	2,36	24,68	135,15	4,43			164,26
8	Навантаження карбаміду	т	26,1	MT3-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	1		0,26	0,04	0,14	6,33	20,67	1,64			28,64
9	Перевезення добрив і завантаження розкидача	т	26,1	КамАЗ-5511		ЗС-30ГШ	1	11,80	1		0,95	0,08	0,32	14,38	75,53	3,68			93,58
10	Внесення карбаміду	т	174	MT3-826		Amazone ZA-M	1	8,90	1		1,8	0,11	2,79	20,85	143,10	4,88	5520,00		5688,83
11	Передпосівна культивация	га	174	X13-17221		КШ-11	1	7,83	1		4,3	0,13	3,18	63,13	341,85	5,54			410,52
12	Навантаження посівного матеріалу	т	3,13	MT3-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	1		0,26	0,04	0,02	6,33	20,67	1,64			28,64
13	Перевезення посівного матеріалу та завантаження сівалки	т	3,13	КамАЗ-5511			1	11,80	1		0,8	0,08	0,04	8,58	63,60	3,68			75,85
14	Сівба (65 тис. шт./га)	га	174	MT3-826		Kinze 3000	3	3,40	1		2,4	0,29	7,31	93,32	190,80	12,76		408,67	705,56
15	Перевезення води та гербициду	т	38,28	MT3-826		МЖТ-8	1	4,13	1		1,2	0,24	1,32	48,00	95,40	10,50			153,90
16	Внесення робочого розчину гербициду Ацетохлор 2,5 л/га, Гліфосат 3 л/га	га	174	MT3-1025		ТИТАН-3200-24	1	11,80	1		1,15	0,08	2,11	55,09	91,43	3,68		745,80	895,99
17	Перевезення води та страхового гербициду	т	38,28	MT3-826		МЖТ-8	1	4,13	1		1,2	0,24	1,32	48,00	95,40	10,50			153,90
18	Внесення робочого розчину гербициду Майстер 0,15 кг/га та прилипач Біопавер 1,2 л/га	га	174	MT3-1025		ТИТАН-3200-24	1	11,80	1		1,15	0,08	2,11	55,09	91,43	3,68		220,50	370,69
19	Навантаження аміачної селітри	т	20,88	MT3-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	1		0,26	0,04	0,11	6,33	20,67	1,64			28,64
20	Перевезення добрив і завантаження розкидача	т	20,88	КамАЗ-5511		ЗС-30ГШ	1	11,80	1		0,95	0,08	0,25	14,38	75,53	3,68			93,58
21	Внесення аміачної селітри	т	174	MT3-826		Amazone ZA-M	1	8,90	1		1,95	0,11	2,79	20,85	155,03	4,88	3312,00		3492,76
19	Перевезення води і пестицидів	т	38,28	MT3-826		МЖТ-8	1	4,13	1		1,2	0,24	1,32	48,00	95,40	10,50			153,90
20	Внесення робочих розчинів інсектицидів Драгун 1,2 л/га, Карател 0,15 л/га	га	174	MT3-1025		ТИТАН-3200-24	1	11,80	1		1,15	0,08	2,11	55,09	91,43	3,68		180,90	331,09
24	Збирання врожаю	га	174	JD-9640			1	3,20	1		13,2	0,31	7,77	529,92	1049,40	13,56			1592,88
25	Перевезення врожаю	т	1322,4	КамАЗ-45144			1	9,75	1		0,75	0,10	19,38	10,38	59,63	4,45			74,46
Всього														<b>1400,4</b>	<b>5034,7</b>	<b>148,1</b>	<b>8832,0</b>	<b>1555,9</b>	<b>16971,2</b>

## Технологічна карта вирощування кукурудзи на зерно на площі 174 га за розробленою технологією

№	Операції	Одиниці виміру	Обсяг роботи	Склад агрегату			Кількість с.-г. машин	Годинна продуктивність	Потрібно для виконання робіт		Норма витрати			Енергосмість, МДж/га					
				трактор	зчіпка	с.-г. машина			трактористів	допоміжних працівників	пального, кг/га, кг/т	праці людини, год/га	К-сть нормозмін	МТA	Пальне	Протяг людини	Добрива	Пестициди, насіння	Разом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Лущення стерні	га	174	MT3-826		ЛДГ-5М	1	4,70	1		3,60	0,21	3,70	35,81	286,20	9,23			331,24
2	Навантаження діаміфосу	т	17,4	MT3-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	1		0,26	0,04	0,09	6,33	20,67	1,64			28,64
3	Перевезення добрив і завантаження розпушувача	т	17,4	КамАЗ-5511		ЗС-30ГШ	1	11,80	1		0,95	0,08	0,21	14,38	75,53	3,68			93,58
4	Глибоке розпушування з внесенням добрив	га	174	Case MX 335		GRS-4	1	3,20	1		15,00	0,31	7,77	113,63	1192,50	13,56	978,50		2298,19
5	Ранньовесняне боронування	га	174	ХТЗ-17221		БЗП-24	1	13,54	1		1,50	0,07	1,84	33,60	119,25	3,20			156,06
6	Передпосівна культивация	га	174	Case MX 335		Компактомат К-930	3	7,40	1		3,80	0,14	3,36	85,58	302,10	5,86			393,55
7	Навантаження міңдобрив (NPK 16:16:16)	т	20,88	MT3-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	1		0,26	0,04	0,11	6,33	20,67	1,64			28,64
8	Навантаження посівного матеріалу	т	3,13	MT3-826		Maximum 2000Pro	1	26,43	1		0,26	0,04	0,02	6,33	20,67	1,64			28,64
9	Перевезення добрив та насіння і завантаження сівалки	т	24,01	КамАЗ-5511		ЗС-30ГШ	1	11,80	1		0,95	0,08	0,29	14,38	75,53	3,68			93,58
10	Сівба (65 тис.шт./га)	га	174	MT3-826		Kinze 3000	3	3,40	1		2,60	0,29	7,31	93,32	206,70	12,76	2208,00	408,67	2929,46
11	Перевезення води та гербіциду	т	29,58	MT3-826		МЖТ-8	1	4,13	1		1,20	0,24	1,02	48,00	95,40	10,50			153,90
12	Внесення робочого розчину гербіциду Харнес 2,7 л/га, Раундап Макс 2 л/га	га	174	MT3-1025		ТИТАН-3200-24	1	13,20	1		1,00	0,08	1,88	49,25	79,50	3,29		620,40	752,44
13	Перевезення води пестицидів та добрив	т	29,58	MT3-826		МЖТ-8	1	4,13	1		1,20	0,24	1,02	48,00	95,40	10,50			153,90
14	Внесення робочого розчину гербіциду Майстер 150 г/га, карбаміду 10 кг/га, Росток Цинк 1 л/га, сульфат магнію 4 кг/га	га	174	MT3-1025		ТИТАН-3200-24	1	13,20	1		1,00	0,08	1,88	49,25	79,50	3,29	412,80	154,50	699,34
15	Перевезення води та добрив	т	29,58	MT3-826		МЖТ-8	1	4,13	1		1,20	0,24	1,02	48,00	95,40	10,50			153,90
16	Позакореневе підживлення карбамід 10 кг/га, Гуміфілд 0,2 л/га, сульфат магнію 4 кг/га, Ріверм 1 л/га	га	174	MT3-1025		ТИТАН-3200-24	1	13,20	1		1,00	0,08	1,88	49,25	79,50	3,29	426,24		558,28
17	Внесення трихограми		174	БПЛА			1	40,00	1			0,03	0,62						
18	Збирання врожаю	га	174	JD-9640			1	3,20	1		13,80	0,31	7,77	529,92	1097,10	13,56			1640,58
19	Перевезення врожаю	т	1392	КамАЗ-45144			1	9,75	1		0,75	0,10	20,40	10,38	59,63	4,45			74,46
	Всього													<b>1241,7</b>	<b>4001,2</b>	<b>116,3</b>	<b>4025,5</b>	<b>1183,6</b>	<b>10568,4</b>

### Енергетичний аналіз технологій

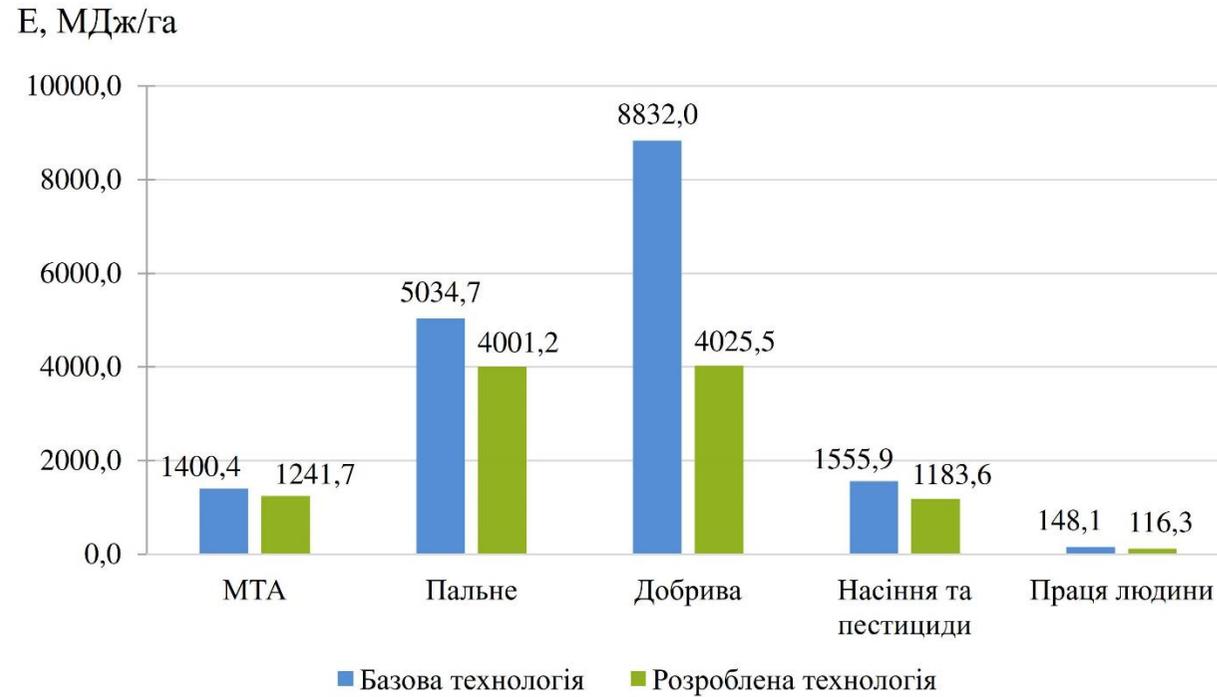


Рисунок 5 – Затрати енергії за видами ресурсів при вирощуванні кукурудзи

### Енергетичний аналіз технологій

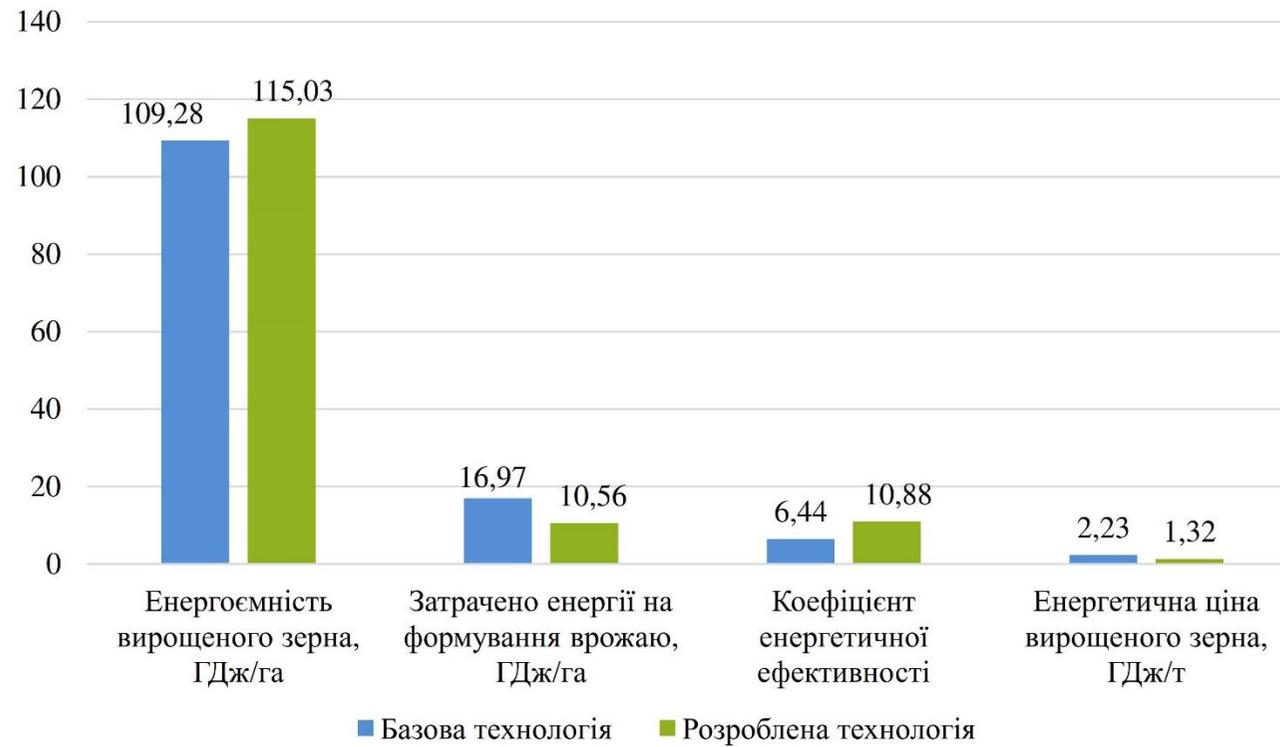


Рисунок 6 – Енергетична оцінка вирощування зерна кукурудзи за двома технологіями

### Техніко-економічні показники роботи

Показники	Варіанти технологій	
	Базова	Розроблена
Площа вирощування, га	174	174
Планова врожайність зерна, т/га	7,6	8,0
Валовий збір зерна, т	1322,4	1392,0
Ціна 1 т зерна кукурудзи, грн.	9750	9750
Питомі витрати всього, грн/га	25618,8	24048,1
в тому числі:		
- ПММ	3799,8	3019,8
- мінеральні добрива	7260,0	6890,0
- насіння (посівний матеріал)	4060,0	4060,0
- пестициди	3243,0	2875,5
- оплата праці персоналу	256,0	202,8
- інші	7000,0	7000,0
Собівартість зерна кукурудзи, грн/т	3370,9	3006,0
Орієнтовна (планова) виручка, грн	12893400	13572000
Всього витрат на вирощування, грн	4457669	4184376
Плановий прибуток, грн	8435731	9387624
Рентабельність, %	189,2	224,3

## Загальні висновки

- 1. Встановлено, що обсяги сівби кукурудзи стабільно показували зростання до 2022 року. Після 2022 року спостерігається помітне скорочення площ через окупацію та (або) замінування частини земель і загальну воєнну та логістичну нестабільність. Втрата логістичних шляхів для експорту зерна кукурудзи стала однією з основних причин зменшення її площ, так як це культура, яка відноситься до експортно орієнтованих. Найбільші обсяги посівів кукурудзи на зерно було зафіксовано у 2021 році – майже 5,5 млн. га. Проте, за останні два роки спостерігається тенденція щодо збільшення обсягів посіву даної культури. У 2025 році більші площі були засіяні тільки під соняшник та пшеницю озиму.
- Обґрунтовано склад засобів механізації для виконання більшості основних технологічних операцій. На основі раціональних складів МТА та наукових рекомендацій розроблено план механізованих робіт вирощування зерна кукурудзи на площі 174 га. Застосування розробленої технології сприяє зниженню питомої витрати пального на 20,5 %, що в кількісному еквіваленті становить 13 кг/га. Питомі ж витрати праці також суттєво зменшуються з 3,41 люд.-год./га до 2,70 люд.-год./га, що становить 20,8 %. Слід зауважити, що планова врожайність зерна кукурудзи при цьому збільшується на 4 ц/га.
- Розроблена технологія виробництва зерна кукурудзи дозволяє зменшити на 37,7 % загальні енерговитрати на формування врожаю, з 16971,2 МДж/га до 10568,4 МДж/га. Коефіцієнт енергетичної ефективності, запропонованої технології, перевищує вказаний показник для базової на 68,9 %. Одержані результати дозволяють стверджувати, що застосування розробленої технології дозволяє зменшити затрати енергії на виробництво зерна кукурудзи за всіма видами ресурсів. Найбільш суттєво зменшуються енергозатрати щодо використання добрив – на 54,4 % або в кількісному вигляді з 8832,0 МДж/га до 4025,5 МДж/га. Це насамперед пов'язано із меншим обсягом їх застосування та приділення більшої уваги диференційованому використанні з позакореневими підживленням. Енергоємність пального зменшується при застосуванні розробленої технології на 20,5 %, насіння та пестицидів на 23,9 %, а праці персоналу на 21,4 %. Застосування розробленої технології вирощування зерна кукурудзи дозволяє знизити енергетичну ціну врожаю на 40,8 %. Таким чином, можна зробити висновок, що обґрунтовані засоби механізації та розроблена технологія вирощування зерна кукурудзи є доцільною заміною для інтенсивних технологій вирощування.
- Наведено вимоги безпеки при внесенні робочих розчинів пестицидів в сукупності з позакореневим підживленням.
- Впровадження розробленої технології одержання зерна кукурудзи сприяє зниженню собівартості продукції з 3370,9 грн/га до 3006,0 грн/га, що становить 10,8 %. Розрахунками встановлено, що плановий прибуток підприємства у випадку застосування обґрунтованих засобів механізації та розробленої технології збільшується на 11,3 %. Рівень рентабельності для розробленої технології складає 224,3 %, а для базової всього 189,2 %.