

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту
імені М.П. Момотенка**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри технічного
сервісу та інженерного менеджменту
імені М.П. Момотенка

_____ **Шатров Р.В.**

“ ___ ” _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «УДОСКОНАЛЕННЯ МАШИНО ВИКОРИСТАННЯ
ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗЕРНОВИХ
КУЛЬТУР»**

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»
Освітня програма – «Агроінженерія»
Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Гарант освітньої програми:

д.т.н., проф.

_____ «підпис»

Братішко В.В.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент

_____ «підпис»

Шатров Р.В.

Виконав

_____ «підпис»

Хрістов М.Р.

Київ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту
імені М.П. Момотенка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та
інженерного менеджменту
імені М.П. Момотенка,

_____ **І.Л. Роговський**
“ ____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Хрїстову Миколі Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність – 208«Агроінженерія»
Освітня програма– «Агроінженерія»
Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Удосконалення машиновикористання
посівних агрегатів при виробництві зернових культур».

затвержені наказом ректора НУБіП України від «13» листопада 2024 року №2038 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 10.11.2025 р.

Вихідні дані до роботи:

1. Особливості вирощування та збирання продукції рослинництва в господарствах України.
2. Існуючі наукові дослідження з оптимізації процесів та МТП при вирощуванні та збиранні сільськогосподарських культур

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз методів багатокритеріальної оцінки ефективності використання засобів, технологій та технічних засобів виробництва продукції рослинництва
2. Теоретичні передумови створення та удосконалення комбінованих агрегатів для виробництва продукції рослинництва
3. Методика і програма експериментальних досліджень по удосконаленню комбінованих агрегатів та їх оптимізації
4. Результати експериментальних досліджень комбінованих агрегатів для виробництва продукції рослинництва
5. Економічна ефективність результатів досліджень комбінованих агрегатів

Дата видачі завдання 18.09.2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Р.В. Шатров
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ М.Р.Хрїстов
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	ст.
ВСТУП.....	4
1. СУЧАСНИЙ СТАН ПОСІВНОЇ КАМПАНІЇ В ПІВДЕННИХ РАЙОНАХ УКРАЇНИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	7
1.1. Аналіз досліджень технології виробництва районованих культур півдня країни	7
1.2. Дослідження та обґрунтування оптимальних режимів роботи МТА	10
1.3. Аналіз методів та критеріїв оцінки ефективності роботи МТА.....	16
2. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА РАЙОНОВАНИХ КУЛЬТУР.....	25
2.1. Методи покращення технологічних процесів виробництва продукції	26
2.2. Вибір критеріїв для оптимізації технологій та технічних засобів	33
2.3. Методика оптимізації роботи МТА.....	41
3. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОСІВНИХ КОМБІНОВАНИХ АГРЕГАТІВ.....	51
3.1. Обґрунтування швидкісних режимів комбінованого агрегату	51
3.2. Вплив параметрів на засоби оптимізації	58
4. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОМБІНОВАНИХ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ	63
4.1. Програма експериментальних досліджень	63
4.2. Обладнання для експериментальних досліджень	64
4.3. Енергетична та технологічна оцінка роботи комбінованих агрегатів.....	67
5. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ КОМБІНОВАНИХ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ	69
5.1. Комбінована машина КГПМ-1,8	69
5.2. Комбінована машина КГПМ-2,4	71
5.3. Агротехнічні вимоги якості роботи досліджуваних машин	74
5.4. Критерії ефективності технологій та досліджуваних технічних засобів	82
6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ДОСЛІДЖЕНЬ КОМБІНОВАНИХ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ	85
ВИСНОВКИ.....	90
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	92

ВСТУП

Зернове господарство традиційно відіграє вирішальну роль у розвитку аграрно-промислового комплексу України. Проте з кінця 90-х років у цій галузі було втрачено темпи зростання виробництва, вкрай критичними щодо обсягу виробництва зерна виявилися останні 10 років, що позначилось на економічному стані зерносіючих господарств. Водночас вкрай нестабільною є структура виробництва зернових, погіршилась матеріально-технічна база галузі, значно знизився рівень використання інтенсивних методів вирощування основних культур.

Сучасний стан енергетичного забезпечення аграрного сектору характеризується глобальним дефіцитом паливно-енергетичних ресурсів, що зумовлює необхідність системного перегляду концепцій їх раціонального використання. В умовах енергетичної кризи сформувалася наукова парадигма оптимізації енерговитрат, яка передбачає впровадження методів енергетичного аналізу технологічних процесів та розробку високоефективних технічних засобів. Зокрема, у сфері сільськогосподарського виробництва виникла потреба у створенні комбінованих агрегатів, здатних інтегрувати декілька операцій в єдиному технологічному циклі, що мінімізує питомі витрати енергії та підвищує продуктивність.

Теоретичні основи паливно-енергетичної оцінки технологій обробітку ґрунту та переробки продукції стали фундаментом для розробки алгоритмів оптимізації режимів роботи машинно-тракторних агрегатів. Подальший розвиток цієї теорії забезпечили дослідження вітчизняних і зарубіжних учених, спрямовані на формування енергозберігаючих технологічних схем та адаптивних систем управління технічними засобами. Сучасні підходи включають використання багатокритеріальної оптимізації, математичного моделювання енергетичних потоків та впровадження інтелектуальних систем моніторингу.

Ключовим чинником підвищення ефективності аграрного виробництва є вдосконалення конструкцій комбінованих агрегатів, обґрунтування раціональних режимів їх роботи та інтеграція наукових досягнень у виробничу практику. Своєчасне впровадження інноваційних технологій і технічних рішень забезпечує не лише економію енергетичних ресурсів, але й формує передумови для сталого

розвитку агропромислового комплексу.

Ґрунтово-рельєфні та кліматичні умови південного регіону України створюють передумови для формування високопродуктивних агроценозів за умови реалізації технологій прискореного передпосівного обробітку ґрунту, інтеграції цього процесу з посівом та забезпечення оптимального рівня вологості орного шару. Досягнення таких параметрів можливе лише шляхом розробки інноваційних технологічних систем польових робіт, що передбачають застосування комбінованих ґрунтообробно-посівних комплексів нового покоління.

Енергетична ефективність технологій виробництва сільськогосподарської продукції може бути досягнута шляхом впровадження концепцій енергозбереження та підвищення коефіцієнта корисної дії технічних засобів і технологічних матеріалів (мінеральні та органічні добрива, насіння, засоби захисту рослин, паливно-мастильні матеріали тощо). Особливе значення має оптимізація використання тракторів різних тягових класів, агрегування їх із ґрунтообробними та посівними машинами, а також підвищення ефективності технологічних процесів у різних ґрунтово-кліматичних зонах.

Аналіз наукових джерел свідчить, що питання раціоналізації енергетичних витрат, удосконалення конструкцій комбінованих агрегатів та оптимізації технологічних режимів є предметом досліджень багатьох вітчизняних і зарубіжних учених, що підтверджує стратегічну значущість даного напрямку для розвитку агропромислового комплексу.

Однак низький рівень енергоозброєності аграрного сектору, що проявляється у дефіциті ґрунтообробних, посівних та збиральних агрегатів, а також тракторів різних тягових класів, часто унеможлиблює виконання технологічних процесів у регламентовані терміни. Це обумовлює необхідність розробки інноваційних технічних рішень, зокрема комбінованих машинно-тракторних агрегатів, здатних інтегрувати декілька технологічних операцій в одному робочому циклі. Такий підхід забезпечує мінімізацію питомих витрат енергії, скорочення часу виконання робіт та підвищення продуктивності.

Актуальним напрямом сучасних досліджень є оптимізація послідовності агротехнічних операцій та формування ефективних комбінацій

сільськогосподарських машин і агрегатів. Це передбачає використання методів системного аналізу, математичного моделювання технологічних процесів та багатокритеріальної оптимізації, що дозволяє обґрунтувати раціональні конструктивні параметри комбінованих агрегатів і визначити оптимальні режими їх роботи.

Метою дослідження є підвищення ефективності обробітку - сільськогосподарських культур в умовах зрошуваного землеробства півдня України шляхом удосконалення технології та технічних засобів для посіву сільськогосподарських культур.

Об'єктами досліджень є технології та технічні засоби обробітку сільськогосподарських культур при посіві в умовах зрошуваного землеробства півдня України.

Предметом досліджень є закономірності процесів обробітку ґрунту та посіву зернових та просапних культур на зрошуваних площах півдня України ґрунтообробно-посівними комплексами на базі тракторів тягового класу 1,4.

Завдання дослідження:

- удосконалити методику вибору критеріїв та формування балансованої системи показників для оцінки ефективності технологій та технічних засобів в умовах зрошуваного землеробства України;

- розробити комбіновані технології обробітку ґрунту та посіву сільськогосподарських культур, експериментальні зразки ґрунтообробно-посівних комплексів на базі тракторів тягового класу 1,4 для одночасного обробітку ґрунту та посіву зернових та просапних культур;

- удосконалити методику розрахунку оптимальних параметрів та режимів роботи машинно-тракторних агрегатів (МТА) та візуалізації технологічних процесів;

- обґрунтувати теоретично та експериментально оптимальні режими роботи комбінованих ґрунтообробно-посівних комплексів з оцінкою їх якісного функціонування в умовах України.

1. СУЧАСНИЙ СТАН ПОСІВНОЇ КАМПАНІЇ В ПІВДЕННИХ РАЙОНАХ УКРАЇНИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для забезпечення продовольчих потреб населення України необхідно щорічно виробляти понад 5 млн. тонн пшениці, що визначає стратегічну важливість ефективного використання зрошуваних земель як ключового резерву нарощування виробництва продуктів харчування. Рациональне застосування зрошуваних площ сприяє підвищенню рівня продовольчої безпеки держави та стабільності агропромислового комплексу.

У південних регіонах України традиційно вирощуються культури з коротким періодом вегетації та високою температуростійкістю, що дозволяє завершити їх дозрівання до жовтня та отримати високі врожаї. До таких культур належать кукурудза, рис, соя, соняшник, гречка, квасоля, картопля та овочеві культури. Серед зернових культур провідне місце займає пшениця різних сортів, яка формує основу продовольчого балансу країни.

Розроблювані технології виробництва сільськогосподарських культур повинні бути адаптивними, тобто гнучкими та здатними до швидкої інтеграції в різні ґрунтово-рельєфні та кліматичні умови. Ступінь адаптованості технологій визначає їх енергетичну та економічну ефективність, а також рівень освоєння у виробничій практиці. Методологічні принципи створення адаптивних технологій рослинництва базуються на системному аналізі агротехнічних факторів, оптимізації режимів роботи машинно-тракторних агрегатів та впровадженні комбінованих технічних засобів, що забезпечують інтеграцію кількох операцій в єдиному технологічному циклі.

1.1. Аналіз досліджень технології виробництва районованих культур півдня країни

У сучасних рекомендаціях щодо організації посівів на зрошуваних землях України наведено систематизований перелік основних культур, технологічні схеми підготовки ґрунту, посіву, догляду за рослинами, режимів поливу та

збирання врожаю, а також комплекс технічних засобів і параметрів виконання польових операцій. Вітчизняні дослідження обґрунтували оптимальні прийоми виробництва зернових і зернобобових культур, визначили раціональні агротехнічні параметри, що забезпечують максимальну реалізацію потенціалу врожайності: терміни та способи висіву, норми висіву насіння, вік розсади, режими затоплення рисових систем та живлення культур.

Аналіз сучасних технологій свідчить, що їх основою є використання наявних технічних засобів господарств, які не завжди забезпечують досягнення максимальної продуктивності сортів. Це актуалізує необхідність розробки та вдосконалення технологій і технічних засобів вирощування сільськогосподарських культур, орієнтованих на інтеграцію кількох операцій у єдиному технологічному циклі.

Результати досліджень підтверджують ефективність поєднання передпосівного обробітку ґрунту, внесення добрив та висіву насіння в одному робочому процесі на ґрунтах із середнім і високим рівнем родючості та низьким ступенем засміченості бур'янами. Такий підхід забезпечує оптимізацію енергетичних витрат, скорочення часу виконання робіт та підвищення продуктивності машинно-тракторних агрегатів.

Освоєння інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур повинно базуватися на впровадженні найбільш енергоефективних агротехнічних прийомів. Обробіток ґрунту є однією з найбільш енергоємних і трудомістких операцій у рослинництві, що визначає його ключову роль у структурі енергетичних витрат аграрного виробництва. За останні 20–30 років простежується чітка тенденція до мінімізації обробітку ґрунту, спрямована на скорочення кількості технологічних операцій та зниження питомих енерговитрат.

Мінімізація обробітку ґрунту формує принципово інші умови для росту та розвитку рослин порівняно з традиційним відвальним обробітком. Найчастіше застосовуються комбіновані ґрунтообробні агрегати, оснащені культиваторними, плоскорізними або дисковими робочими органами, що дозволяє інтегрувати кілька операцій у єдиний технологічний цикл.

Проте мінімальний обробіток має специфічні агрохімічні наслідки. Збереження рослинних залишків на поверхні ґрунту знижує його температуру на 2–3 °С порівняно з відвальною оранкою, що уповільнює мінералізацію органічної речовини та знижує доступність фосфору. Через слабку нітрифікацію рослини відчувають дефіцит азоту. Основною причиною зниження вмісту гумусу при безвідвальному обробітку є відсутність загортання рослинних залишків у ґрунт, що погіршує їх контакт із ґрунтовим середовищем і уповільнює процеси гумусоутворення.

Надмірна кількість післяжнивних залишків ускладнює загортання насіння, перешкоджає проникненню гербіцидів у ґрунт та створює умови для розвитку хвороб і шкідників. При мініальному обробітку процеси нітрифікації активізуються у верхньому шарі (0–10 см), тоді як найбільш сприятливі умови для синтезу гумусу забезпечує оранка на глибину 20–30 см. Тривала мінімізація обробітку ґрунту та поверхнєве внесення добрив призводять до зміни агрохімічних властивостей ґрунту, зокрема до його підкислення, що потребує частішого проведення вапнування порівняно з традиційною оранкою.

Тривала мінімізація обробітку ґрунту, заснована на застосуванні безвідвальних способів, призводить до зниження мікробіологічної активності ґрунтового середовища, трансформації структури мікробіоценозу та зменшення кількості нітрифікуючих бактерій, що погіршує умови мінерального живлення рослин. Для запобігання деградаційним процесам необхідне періодичне проведення відвальної оранки (з інтервалом 3–4 роки), яка забезпечує закладення рослинних залишків у ґрунт. Удосконалення конструкцій плугів спрямоване на збільшення кута обороту ґрунтових пластів, що значно покращує загортання органічних решток і сприяє гумусоутворенню.

Поверхнева обробка ґрунту в умовах клімату формує оптимальну структуру посівного шару, сприяє збереженню вологи, забезпечує високу якість висіву та прискорений розвиток рослин у осінній період. Однак у зимовий час при різких коливаннях температури посіви озимих культур, закладені після поверхневої обробки, більш схильні до вимокання та утворення льодової кірки.

Сучасні технології та технічні засоби повинні забезпечувати формування оптимальної структури поверхневого, а особливо насінневого шару ґрунту. Ґрунтообробно-посівні комплекси нового покоління мають виконувати за один прохід інтегровану операцію: оптимізацію структурного складу ґрунту та висів насіння сільськогосподарських культур. Такий підхід дозволяє мінімізувати енергетичні витрати, скоротити кількість проходів по полю та забезпечити стабільність агротехнічних параметрів у різних ґрунтово-кліматичних умовах.

1.2. Дослідження та обґрунтування оптимальних режимів роботи МТА

Імовірнісний характер зовнішніх впливів на машинно-тракторний агрегат (МТА) зумовлює значні коливання його навантажувального режиму, що проявляється у зміні тягового зусилля та коливаннях крутного моменту на колінчастому валу двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ). До основних факторів, що визначають динаміку навантажень, належать рельєф місцевості, тип і стан ґрунту, його вологість, температура навколишнього середовища, ступінь кам'янистості поля, висота над рівнем моря та геометричні параметри ділянки. Сукупність цих факторів істотно впливає на експлуатаційні показники МТА, енергетичну ефективність та стабільність технологічного процесу.

Аналіз літературних джерел свідчить, що більшість наукових досліджень спрямовані на підвищення ефективності використання машин шляхом обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи в різних ґрунтово-кліматичних умовах. У працях вітчизняних і зарубіжних учених представлено методологію, яка дозволяє визначати оптимальні режими роботи МТА з різними типами ДВЗ, враховуючи стохастичні характеристики навантажень. Запропоновані методики широко застосовуються для розрахунку оптимальних експлуатаційних параметрів, граничних значень енергетичних показників та техніко-економічних характеристик агрегатів, що забезпечує підвищення їх продуктивності та зниження питомих витрат палива.

Особливості експлуатації надпотужних тракторів сільськогосподарського призначення з дизельними та газотурбінними двигунами, а також сучасні

тенденції розвитку механізації аграрного виробництва і перспективні напрями підвищення ефективності машинно-тракторних агрегатів (МТА) детально висвітлені у працях провідних учених. Наукові дослідження українських фахівців присвячені проблемам автоматизації мобільних МТА, обґрунтуванню конструктивних параметрів та методів технічної оснащення рослинницької галузі, а також оцінці якості роботи агрегатів в умовах стохастичного характеру їх функціонування.

У наукових працях сформовано методологічні основи підвищення ефективності роботи МТА на всіх етапах – від дослідження та розробки до обробки експериментальних даних у процесі механізації технологічних операцій. Значну увагу приділено методам зниження прямих витрат паливно-енергетичних ресурсів при виконанні технологічних процесів, а також пошуку шляхів оптимізації режимів роботи агрегатів.

На кафедрі технічного сервісу та інженерного менеджменту під керівництвом проф. І. І. Мельника та доц. В. П. Бабія запропоновано математичні моделі, що дозволяють визначати найбільш раціональні параметри та режими роботи МТА. Ці моделі базуються на багатокритеріальній оптимізації, враховують імовірнісний характер навантажень та забезпечують мінімізацію питомих енерговитрат при збереженні агротехнічних вимог.

Раціональну структуру машинно-тракторного парку обґрунтували за розробленою на кафедрі технічного сервісу та інженерного менеджменту НУБіП України і впровадженою у виробництво методикою і програмою „Комплексне машиновикористання”. Праці присвячені питанням підвищення ефективності МТА на основі технічних рішень з пропонованими методами оптимізації при їх експлуатації, які враховують ймовірнісний характер зовнішніх впливів, розподіл сільськогосподарських агрегатів за виконуваними операціями та підвищення якості агротехнічних робіт при обробітку ґрунту на прикладі південних районів України.

У наукових працях сформовано теоретичні засади паливно-енергетичної оцінки агротехнічних операцій, що дозволяють здійснювати прогнозування

ефективності різних технологій на основі використання блочно-модульних агрегатів, застосовуваних при вирощуванні сільськогосподарських культур. Розроблені методики є універсальними для широкого спектра операцій: основного та передпосівного обробітку ґрунту, посіву, міжрядного догляду за культурами в різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Важливе місце займають дослідження, присвячені вибору оптимальних експлуатаційних параметрів і режимів роботи енергетичних засобів, виконані проф. І. І. Мельником та доц. В. П. Бабієм. У роботах В. П. Бабія представлено класифікацію критеріїв для об'єктивної оцінки ефективності застосування машинно-тракторних агрегатів, а також розроблено програмний комплекс «Комплексне машиновикористання», що використовується для раціоналізації агротехнічних операцій та підвищення експлуатаційних показників МТА.

Проблематика енергозбереження в агротехнологічних процесах за рахунок раціонального комплектування комбінованих агрегатів є предметом досліджень науковців профільних науково-дослідних інститутів. Ці роботи спрямовані на мінімізацію питомих енерговитрат, підвищення коефіцієнта корисної дії технічних засобів та інтеграцію кількох технологічних операцій у єдиний робочий цикл.

На основі теорії ймовірностей та математичної статистики вдосконалено методи визначення енерговитрат для різних технологічних процесів у рослинництві. Розроблено низку математичних моделей, реалізація яких дозволяє отримувати оптимальні значення імовірісно-статистичних оцінок енергетичних параметрів та техніко-економічних показників машинно-тракторних агрегатів (МТА). Ці моделі враховують стохастичний характер навантажень і забезпечують підвищення точності прогнозування енергетичних витрат.

У наукових працях також обґрунтовано раціональну структуру паливно-енергетичних витрат на виробництво пшениці за типовими та енергозберігаючими технологіями в умовах Одеської області, що підтверджує ефективність застосування адаптивних технологічних схем.

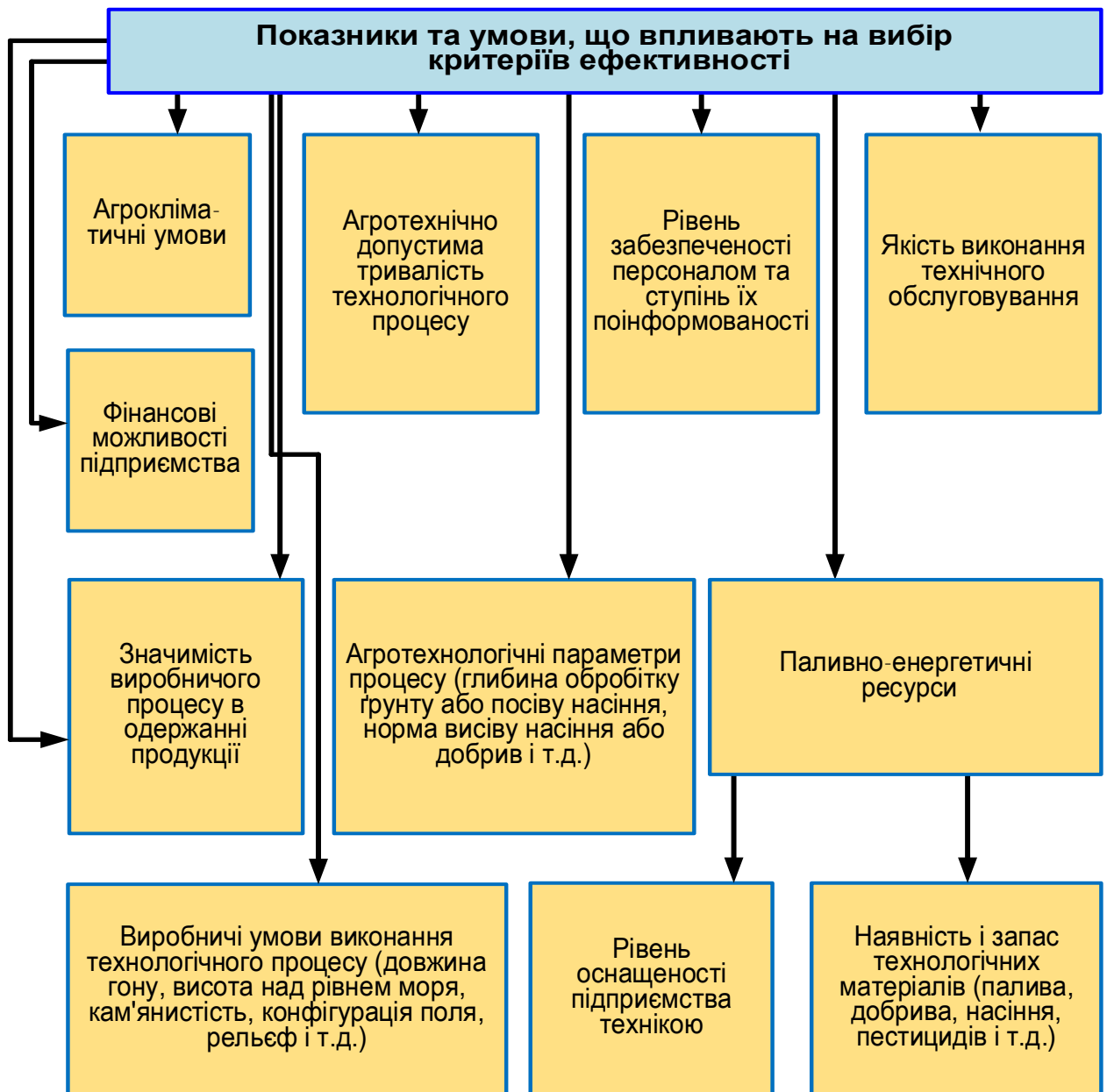


Рис. 1.1. Алгоритм вибору критеріїв ефективності технологічного процесу

Особливу увагу приділено шляхам скорочення енергетичних витрат при виконанні технологічних процесів глибокого обробітку ґрунту, які базуються на оптимізації режимів та параметрів роботи тракторів четвертого тягового класу. Оптимізація режимів роботи МТА передбачає постійний контроль інтенсивності зміни навантажувальних показників. Методологія ґрунтується на синтезі функціональних можливостей тракториста-машиніста та сучасних засобів експлуатаційного контролю, що дозволяє отримувати достовірну інформацію про значення та динаміку контрольованих параметрів.

Оптимізація експлуатаційних параметрів і режимів роботи МТА здійснюється із застосуванням системи критеріїв оцінки ефективності їх функціонування, серед яких ключовими є питомі енерговитрати, коефіцієнт використання тягового зусилля, продуктивність та економічна доцільність.

За інформацією з наукових джерел найчастіше використовують такі критерії ефективності:

- максимальна продуктивність МТА;
- максимальне значення ККД трактора;
- мінімальна енергоємність технологічного процесу;
- мінімальна питома витрата палива двигуна;
- максимальна ефективна потужність двигуна;
- мінімальна питома тягова витрата палива;
- максимальна тягова потужність трактора;
- максимальна врожайність;
- мінімальна погектарна витрата палива.

Поряд із зазначеними, ряд джерел рекомендує застосовувати інтегральні критерії: мінімальне значення наведених витрат; максимальний річний економічний ефект; мінімальна енергоємність технологічного процесу; мінімальне математичне очікування прямих паливно-енергетичних витрат.

До основних показників роботи, що визначають вибір того чи іншого критерію оцінки ефективності, належать:

- умови обов'язкового якісного виконання всіх технологічних операцій;
- наявність у необхідній кількості кваліфікованої робочої сили;
- якість утримання технічного обслуговування тракторів та сільськогосподарських машин;
- значимість і місце цієї роботи чи технологічної операції у технологічному процесі виробництва;
- погодні умови;
- максимально допустима тривалість робіт та ряд інших умов.

У технологіях виробництва сільськогосподарської продукції ефективність агротехнологічних операцій обмежена кількістю кваліфікованої робочої сили,

обсягом матеріально-технічних ресурсів тощо.

Для вибору критеріїв ефективності вченими запропоновано наступний алгоритм:

1. Необхідно провести аналіз умов, у яких МТА має виконувати технологічні операції.
2. Визначити місце та вагомість критеріїв оцінки ефективності роботи МТА та умов його функціонування.

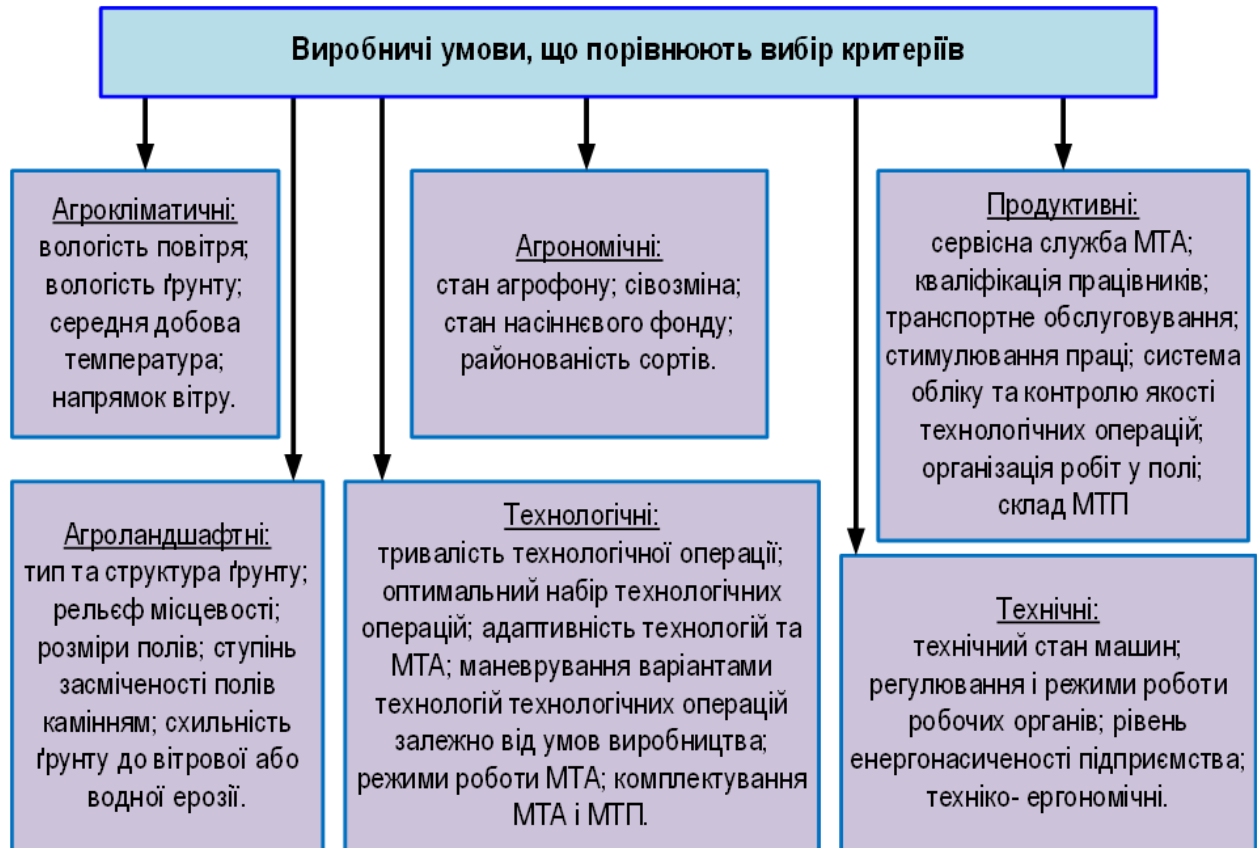


Рис. 1.2. Алгоритм формування вихідних показників для вибору критеріїв оцінки ефективності МТА та технологічних процесів

3. Вибрати основний показник оцінки ефективності серед критеріїв глобального, локального, інтегрального та приватного рівнів.
4. Визначити додаткові критерії, вибір яких визначається за основним показником.
5. З урахуванням обраних критеріїв скласти прогноз ефективності роботи МТА та виконання технологічного процесу.

1.3. Аналіз методів та критеріїв оцінки ефективності роботи МТА

Аналіз наукових праць, присвячених обґрунтуванню перспективних технологій виробництва сільськогосподарської продукції, сутності технологічних процесів та складу машинно-тракторних агрегатів (МТА), дозволяє виділити такі групи критеріїв ефективності:

- економічний критерій;
- паливно-енергетичний критерій;
- екологічний критерій;
- критерій якості виконання;
- критерій затребуваності технологій та застосовуваних технічних засобів;
- ергономічний критерій;
- критерій надійності.

Як відомо, зазначені критерії за ступенем значущості поділяються на:

Часткові – характеризують окремі параметри технологічного процесу (наприклад, глибина обробітку, точність висіву, питомі витрати палива).

Узагальнені – відображають комплексну оцінку ефективності технології або агрегату (наприклад, інтегральний показник енергетичної ефективності).

Локальні – застосовуються для оцінки ефективності в конкретних умовах (грунтово-кліматична зона, тип культури).

Глобальні – характеризують ефективність технології на рівні виробничої системи або галузі.

Для об'єктивної економічної оцінки ефективності різних технологій є кілька критеріїв.

1. Мінімальна питома витрата палива, $\bar{g}_{e.min}$. Його застосовують у тих випадках, коли необхідно знайти компроміс між витратою та ефективною потужністю двигуна: $G_{T.max}$ і $N_{e.max}$:

$$\bar{g}_e = \frac{C f_1(\overline{M_K})}{f_2(\overline{M_K})} \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

де $C = 10^3$ – поправочний коефіцієнт;

$G_T = f_1(M_k)$ – математичне очікування (або середнє значення) годинного витрати палива двигуна, кг/год;

$N_e = f_2(M_k)$ – математичне очікування ефективної потужності двигуна, кВт.

2. Мінімальна питома тягова витрата палива, $g_{кр.min}$. Його застосування обґрунтовано у тих випадках, коли стоїть вибір між годинною витратою палива ($G_{T.max}^i$) і тяговою потужністю трактора ($N_{кр.max}^i$):

$$\overline{g}_{кр} = \frac{C f_1(\overline{P}_{кр})}{f_2(\overline{P}_{кр})} \rightarrow \min, \quad (1.2)$$

де $C = 10^3$ – коефіцієнт апроксимації;

$N_{кр}^i = f(p_{кр})$ – математичне очікування тягової потужності трактора на i -й робочій передачі, кВт;

$G_T^i = f_1(p_{кр})$ – математичне очікування годинної витрати палива двигуна на i -й робочій передачі трактора, кг/год.

3. Максимальна продуктивність машинно-тракторного агрегату $\overline{W}_{г.max}$. Застосування цього узагальненого критерію обґрунтовано при вирішенні завдань з оптимізації завантаження двигуна та трактора, а також їх ефективної та тягової потужності двигуна:

$$\overline{W}_г = C_M^1 \overline{N}_e \rightarrow \max, \quad (1.3)$$

або

$$\overline{W}_г = C_M^2 \overline{N}_e \rightarrow \max, \quad (1.4)$$

де $C_M^1 = 0,36 \eta_T \tau K_a^{-1}$ – коефіцієнт; $C_M^2 = 0,36 \tau K_a^{-1}$ – коефіцієнт; τ – коефіцієнт використання часу зміни; K_a – питомий опір машини, кН/м; $N_e = f_1(M_k)$ – математичне очікування ефективної потужності двигуна, кВт; $N_{кр} = f_1(P_{кр})$ – математичне очікування тягової потужності трактора, кВт; η_T – тяговий ККД трактора у заданому робочому режимі.

Критерій, що визначає максимальну продуктивність, можна записати як функцію від швидкості руху та ширини захоплення агрегату:

$$W_г = 0,1 B_p V_p \rightarrow \max, \quad (1.5)$$

де B_p – робоча ширина захоплення машинно-тракторного агрегату, м;

V_p – швидкість його руху, м/с.

1. Для оцінки роботи МТА з урахуванням умов різних кліматичних та ґрунтових зон у роботах науковців пропонується запроваджувати інтегральний критерій – мінімальне значення наведених витрат за одиницю площі:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{га}} + E_{\text{н}}K' \rightarrow \min, \quad (1.6)$$

де $C_{\text{га}} = C_{\text{г}}/W_{\text{г}}$ – прямі експлуатаційні витрати, грн./га; $C_{\text{г}}$ – витрати грошових коштів на 1 годину роботи МТА, грн./год; $K' = K/W_{\text{год}}$ – питомі капітальні вкладення, грн./га; $W_{\text{год}}$ – продуктивність МТА за 1 годину змінного часу, га/год; $E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капвкладень ($E_{\text{н}} = 0,15$).

У свою чергу, у роботах Ю.К. Кіртбая для визначення мінімуму приведених витрат пропонується така формула:

$$C_{\text{пр}}^* = \sum_{i=1}^n C_{\text{пр}i} + F_i \rightarrow \min, \quad (1.7)$$

де $C_{\text{пр}i}$ – питомі витрати коштів у виконанні i – й технологічної операції, грн./га; n – загальна кількість технологічних операцій; F_i – напрацювання при виконанні i – й операції, га.

2. Річний економічний ефект. Це глобальний показник, і для ефективності роботи МТА його значення має бути максимальним. Його прийнято визначати як різницю ефективності порівнюваних машин:

$$E_2 = [(C_1 + E_{\text{н}}K_1) - (C_2 + E_{\text{н}}K_2)] A_2 \rightarrow \max, \quad (1.8)$$

або

$$E_2 = B_3(\Pi_6 - \Pi_{\text{н}} + E) \rightarrow \max, \quad (1.9)$$

де A_2 – річний обсяг роботи в натуральних одиницях після початку впровадження комплексу заходів з нової техніки, га; 1 і 2 – індекси, що відповідають новому та базовому варіантам технічних рішень; C_1 і C_2 – собівартість агротехнологічного процесу за базовим і новим варіантом, грн.;

$$E = (C_1 - C_2) / (K_2 - K_1) \quad (1.10)$$

де K_1 і K_2 – капітальні вкладення по порівняним варіантам, грн.; $\Pi_6, \Pi_{\text{н}}$ – наведені витрати на одиницю напрацювання за базовою і запропонованою технологіям (машинам) відповідно, грн./од. напрацювання; E – економічний ефект, грн./од. напрацювання; B_3 – річне напрацювання нової машини в умовах конкретної кліматичної зони, од. напрацювання/рік.

Лімітна ціна ($C_{л}$) пропонованого МТА визначається за такою формулою.

$$C_{л} = C_{\text{вл}} \sigma, \quad (1.11)$$

де $C_{\text{вл}}$ – верхня межа лімітної ціни, грн.; σ – коефіцієнт, що характеризує гарантію споживачеві економічного ефекту від застосування нової техніки (орієнтовно приймають $\sigma = 0,8-0,9$).

У свою чергу, верхню межу лімітної ціни визначають як:

$$C_{\text{вл}}^{\square} = \left[\frac{E_{г}}{(a+E_{н})} + C_{\text{оп}}^{\square} c \right] c^{-1}, \quad (1.12)$$

де $E_{г}$ – річний економічний ефект, грн.;

a – коефіцієнт амортизаційних відрахувань;

$E_{н}$ – коефіцієнт нормативної ефективності капіталовкладень ($E_{н} = 0,15$);

$C_{\text{оп}}$ – проект оптової ціни пропонованої техніки, грн.;

c – коефіцієнт переведення оптової ціни на балансову ($c = 1,2 - 1,3$).

Оптову ціну нової техніки визначають за формулою [155]:

$$C_{\text{оп}} = (C_{\text{оз}} \cdot M_{н}) M_{з}^{-1}, \quad (1.13)$$

де $C_{\text{оз}}$ – оптова вартість базової машини, грн.;

$M_{н}$, $M_{з}$ – маса базової та нової машини відповідно, кг.

Найчастіше ті методи, які застосовують з оцінки виробництва як рослинницької, і тваринницької продукції, неможливо дати точний прогноз щодо витрат енергії.

При паливно-енергетичній оцінці ефективності об'єктів досліджень, тобто розроблених ґрунтообробно-посівних машин, використані наступні критерії оптимізації.

1. Максимальний коефіцієнт корисної дії. Являє собою узагальнений критерій, що застосовується для оцінки ефективності машинно-тракторного агрегату.

Всі машини, що проектуються, повинні забезпечувати оптимальне - завантаження трактора по максимуму ККД $\eta_{Т\text{max}}$:

$$\eta_{Т}^{\square} = N_{\text{кр}}^{\text{max}} / N_{\text{ен}}, \quad (1.14)$$

де $N_{\text{кр}}^{\text{max}}$ – максимальне значення тягової потужності трактора, яка

функціонально залежить від зовнішнього навантаження, кВт; $N_{ен}$ – номінальна потужність ДВЗ, кВт.

2. Мінімальне значення математичного очікування за прямих паливно-енергетичних витрат. Ще один варіант узагальненого критерію, який здатний вказати на найбільш раціональні параметри та режими роботи МТА:

$$\bar{E}_{ПО}^{\square} = \frac{C_E f_1(\bar{M}_c)}{f_2(\bar{M}_c)} \rightarrow \min, \quad (1.15)$$

або

$$\bar{E}_{\Pi}^{\square} = \frac{(\bar{G}_T t_p \alpha_T)}{\bar{W}_{год}} + \frac{[(G_{TX} + G_{TO}) \alpha_T]}{\bar{W}_{год}} = \bar{E}_{ПО}^{\square} + E_{ПД} \rightarrow \min, \quad (1.16)$$

Прямі витрати палива та енергії при здійсненні технологічних операцій слід обирати в межах $E_{ПД} = (0,10 \dots 0,15) E_{ПО}$.

Узагальнений критерій $E_{ПО} \rightarrow \min$ є об'єктивним показником, що не залежить від ринкових коливань і відображає реальну енергоємність технологічного процесу. Він актуальний у контексті двох взаємопов'язаних критеріїв: максимуму G_T (продуктивності або виходу готової продукції); мінімуму відношення I/N_e , що еквівалентно максимуму ефективної потужності N_e .

Цей узагальнений критерій характеризує рівень технічної оснащеності та технологічності процесів, дозволяючи оцінити інтегральну ефективність роботи машинно-тракторних агрегатів. Не виключаючи вартісних показників, він вважається одним із ключових критеріїв для комплексної оцінки, оскільки забезпечує точне визначення енергоємності технологічного процесу та дає можливість порівнювати різні технології за об'єктивними енергетичними параметрами.

3. Критерій оцінки енергоефективності, тобто максимальний річний - енергетичний ефект при мінімальній кількості паливноенергетичних витрат, є найбільш стабільними показниками оцінки в часі.

З огляду на це найбільш показовим є такий глобальний показник, як розмір річного енергетичного ефекту від використання МТА.

Як глобальний критерій оцінки ефективності приймається розмір очікуваного річного енергетичного ефекту, який характеризує загальну

енергетичну ефективність МТА, і обчислюється з виразу:

$$\bar{E}_T^{\square} = (E_H - \bar{E}_i^*) t_T \bar{W}_i^* \rightarrow \max, \quad (1.17)$$

де \bar{E}_T^{\square} - математичне очікування річного енергетичного ефекту від експлуатації машинно-тракторного агрегату, МДж/агрегат; E_H ; \bar{E}_i^* - відповідно базове та найбільш раціональне (відповідне мінімальному) значення енергоємності агротехнологічного процесу, МДж/га; t_T - річне завантаження залежно від зони МТА, год; $\bar{W}_{год}^*$ - найбільш раціональне значення продуктивності МТА, га/год.

4. При тривалих термінах виконання технологічних операцій одним із ключових критеріїв оцінки ефективності є вибір режимів роботи машинно-тракторних агрегатів, що забезпечують мінімальну енергоємність технологічного процесу. Такий підхід ґрунтується на оптимізації швидкісних, тягових та конструктивних параметрів агрегату з урахуванням агротехнічних вимог і стохастичних характеристик навантажень. Мінімізація енергоємності дозволяє не лише знизити питомі витрати:

$$E_i = [g_T(\alpha_T + f_T) + g_e(\kappa_T + f_e) + g_k(\kappa_k + f_k)] W_{cm}^{-1} + g_y W_{cm}^{-1} + g_{yn} W_{cm}^{-1} \rightarrow \min, \quad (1.18)$$

де E_i - паливно-енергетичні витрати на i -й технологічний процес, МДж/га; g_T - кількість витраченого палива за одну зміну, кг; α_T - тепловміст палива, МДж/га; κ_e, κ_k - коефіцієнт переводу 1 кВт.год в 1 МДж ($\kappa_e = 3,6$) і 1 ккал в 1 МДж ($\kappa_k = 0,00419$); f_T, f_e, f_k - коефіцієнти, що враховують додаткові енерговитрати на виробництво палива (МДж/кг), електроенергії (МДж/кВт-год) та тепла (МДж/ккал); g_e, g_k - витрачені за зміну кількість електроенергії (МДж/кВт-год/см) і тепла (ккал/см); $g_y = \alpha_o q_a T_{cm} T_{OG}^{-1}$ - умовна частина енергетичних витрат; q_a - витрати технологічних матеріалів у вигляді насіння, добрив, пестицидів і т.п. на одиницю часу, кг/год; T_{cm} - час зміни, год; T_{OG} - термін дії технологічного матеріалу; g_{yn} - умовно постійна частина паливно-енергетичних витрат.

5. Для комплексної оцінки енергетичної ефективності машинно-тракторних агрегатів (МТА) доцільно враховувати показник металоємності,

оскільки в машинобудівній індустрії основним конструкційним матеріалом є метал. На етапах розробки, проектування та конструювання тракторів і сільськогосподарських машин орієнтація здійснюється не лише на мінімізацію витрат металу та інших матеріалів, але й на забезпечення функціональної придатності агрегату до виконання основних технологічних операцій. Важливим є досягнення балансу між конструктивною економічністю та технологічною ефективністю, що гарантує високу продуктивність, енергозбереження, а також зручність технічного обслуговування та ремонту/

6. Для енергетичної оцінки процесу виробництва одиниці продукції - застосовують показник енергетичної ефективності. Він є відношенням енергії, якою володіє кінцевий продукт, до енергії, витраченої на його отримання (виробництво):

$$R = П/E \quad (1.19)$$

Враховуючи специфіку виробництва у сільському господарстві, вираз (1.19) набуває наступного вигляду:

$$R = (\alpha_n \cdot H_y) / E, \quad (1.20)$$

де α_n – енергетичний еквівалент виробленої продукції, МДж/ц;

H_y – урожайність продукції, ц/га.

Для оцінки екологічної орієнтованості виробництва як критерії використовують показники екологічності та ґрунтозахисних властивостей машинно-тракторних агрегатів (МТА). Ці параметри враховують величину тиску на ґрунт, що створюється ходовою системою агрегатів, здатність застосовуваної технології знижувати ризики водної та вітрової ерозії, стабілізувати екологічний стан ґрунту та зберігати його мікрофауну. Крім того, вони відображають можливість технології запобігати мінералізації гумусу в орному шарі. Очевидно, що відповідність МТА цим вимогам не лише сприяє раціональному використанню природних ресурсів, але й підвищує ефективність виробництва.

У сучасних умовах екологічні аспекти набувають пріоритетного значення, тому при проектуванні або модернізації МТА встановлюються додаткові вимоги: конструкційні матеріали не повинні містити кадмію; свинець, ртуть і

шестивалентний хром допускаються лише у строго регламентованих кількостях. Наприклад, свинець у чистому вигляді може застосовуватися для внутрішнього покриття паливних баків, а в інших елементах його вміст обмежується: для сталі – не більше 0,35%, для алюмінієвих сплавів – не більше 0,4%, для мідних сплавів – не більше 4%. Шестивалентний хром дозволяється виключно як антикорозійне покриття у кількості не більше 2 г на машину.

Ґрунтозахист як локальний критерій передбачає оптимізацію маси МТА та мінімізацію кількості проходів по полю. Надмірний механічний вплив ходової системи енергетичних засобів, сільськогосподарських машин і транспортних агрегатів призводить до ущільнення ґрунту, порушення структури орного шару, розпилення та інших негативних змін фізичних властивостей. У результаті деградація ґрунту знижує його родючість, погіршує доступ поживних речовин, вологи та повітря до кореневої системи рослин, що неминуче призводить до зниження врожайності.

Численні дослідження показують, що продуктивність рослин - безпосередньо залежить від потужності гумусного шару, і його величина складає 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5 та 1,8 м відповідно оцінюється, як 35, 60, 75, 85, 95 та 100%.

Основним критерієм оцінки роботи машинно-тракторного агрегату (МТА) є якість виконання заданих технологічних операцій. Цей показник визначається конструктивними особливостями агрегату, зокрема розташуванням і регулюванням робочих органів. Відомо, що перед початком виконання будь-якої агротехнологічної операції необхідне налаштування робочих органів відповідно до її специфіки. Згідно з нормативами механізованих робіт, результати операцій підлягають обов'язковому контролю на предмет повноти та відповідності агротехнічним вимогам.

При оцінці пристосованості МТА до ефективної роботи оператора застосовуються критерії ергономічності, безпеки праці, транспортабельності та стійкості функціонування агрегату.

Ергономіка управління характеризує зручність і безпеку роботи тракториста-машиніста. Цей показник визначає адаптованість конструкції

машини до фізичних можливостей людини, швидкості її реакції на зміни робочого процесу та зовнішнього середовища. У літературі наведено конструктивні вимоги, що застосовуються до нових машин та технологій, дотримання яких має гарантувати: гігієну та безпеку праці; забезпеченість оператора простором для виконання допоміжних операцій; доступність органів управління та регулювання агрегатом; оглядовість; швидкість та точність виконання операцій; можливість управління агрегатом за рахунок фізичної сили оператора.

Створення ергономічного простору під час проектування та виробництва машин спрямоване на підвищення продуктивності та надійності роботи машинно-тракторних агрегатів (МТА) шляхом забезпечення безпечних умов праці, зниження стресових навантажень і фізичних зусиль оператора. Ергономічні принципи повинні реалізовуватися не лише під час виконання основних агротехнічних операцій, але й у процесах транспортування, технічного обслуговування, ремонту та регулювання.

Конструктори ґрунтообробних машин мають приділяти особливу увагу таким ергономічним аспектам:

- Виключення напружених поз та незручних рухів під час роботи та обслуговування машини.
- Доступність інструментів і допоміжних засобів при регулюванні та технічному обслуговуванні, що визначається антропометричними моделями.
- Відповідність зусиль при регулюванні елементів, а також відсутність операцій, що потребують обертання або нетипового положення суглобів та кінцівок.
- Мінімізація впливу шуму, вібрації та екстремальних температур на оператора.

Другим важливим критерієм є безпека праці, яка враховується при оптимізації параметрів МТА, дотримання яких у встановлених межах гарантує безпечну експлуатацію. Оптимізовані параметри повинні відповідати вимогам охорони праці та нормативним документам. Забезпечення безпеки передбачає обов'язкову сертифікацію та декларування відповідності технічних засобів державним стандартам, нормам безпеки та іншим регламентам, що узгоджені із законодавством.

2. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА РАЙОНОВАНИХ КУЛЬТУР

Проблема підвищення ефективності технології обробітку сільськогосподарських культур при посіві на зрошуваних землях Південного регіону України охоплює такі ключові напрями:

- Удосконалення технології посіву з урахуванням агротехнічних вимог та ґрунтово-кліматичних особливостей.
- Розробка нових комбінованих технічних засобів, здатних інтегрувати кілька операцій в єдиному технологічному циклі.
- Вибір оптимальних конструктивних параметрів та режимів роботи комбінованих агрегатів для забезпечення їх ефективного функціонування в заданих умовах.
- Вдосконалення методики визначення критеріальних показників та формування збалансованої системи оцінки ефективності технологій і технічних засобів.
- Розробка та оптимізація методики розрахунку конструктивно-технологічних параметрів, енергетичних характеристик і техніко-економічних показників, а також режимів роботи нових комбінованих агрегатів.

Наукова гіпотеза дослідження полягає в тому, що інтеграція посівної операції та супутніх процесів в одному робочому проході дозволяє скоротити витрати часу, зменшити кількість проходів техніки по полю, покращити умови розвитку рослин, а розробка та застосування комбінованих агрегатів при оптимальних режимах роботи істотно знизить питомі енерговитрати на виробництво.

2.1. Методи покращення технологічних процесів виробництва продукції

Аналіз технологій обробітку сільськогосподарських культур під час сівби в умовах зрошуваного землеробства України свідчить, що сукупні паливно-енергетичні витрати на їх реалізацію загалом становлять 20 000–35 000 МДж на 1 га. Зокрема, при вирощуванні пшениці за традиційною технологією в різних ґрунтово-кліматичних зонах витрати енергії коливаються в межах 24 000–26 000 МДж на 1 га.

Технологічний процес вирощування зернових культур умовно поділяється на чотири основні періоди: допосівний, посівний, догляд за посівами та збиральний. Аналіз показує, що частка енерговитрат у допосівний період становить близько 12–13 % від загальних витрат, у посівний – 27–28 %, на догляд за посівами припадає 40–41 %, а на збиральний період – 19–20 %.

Детальний аналіз технологічних карт виробництва сільськогосподарської продукції підтверджує, що з точки зору впливу техніко-технологічних рішень найбільше значення мають допосівний та посівний періоди. Це обумовлено можливістю істотного скорочення агротехнічних термінів обробітку ґрунту та сівби, що забезпечує ефективне використання суми позитивних температур рослинами і, як наслідок, підвищення врожайності.

Розглянемо технологію основного та передпосівного обробітку ґрунту, а також операцію висіву сільськогосподарських культур на прикладі зернових (зокрема пшениці). Згідно з традиційною технологією, що застосовується у вітчизняних господарствах, передпосівний та посівний періоди включають комплекс із восьми технологічних процесів (див. рис. 2.1).

Практика показує, що збирання попередника (переважно зернових культур) здійснюється у період з кінця травня до кінця червня. Важливо зазначити, що на етапі дозрівання врожаю в технології вирощування зернових не передбачено проведення поливу посівів, що впливає на подальші агротехнічні операції та строки їх виконання.

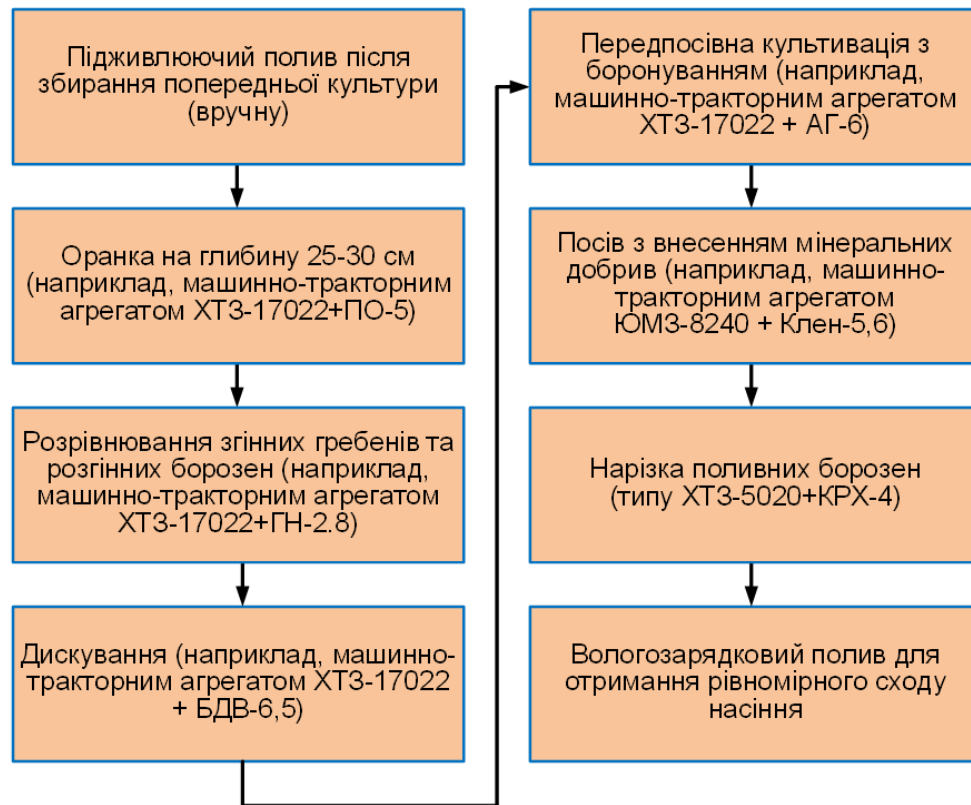


Рис. 2.1 – Схема та послідовність виконання технологічних процесів передпосівного та посівного періодів технології обробітку пшениці за традиційною технологією

Упродовж відносно тривалого періоду в умовах сухого та жаркого клімату зрошуваних зон Півдня України відбувається інтенсивна втрата ґрунтової вологи, що призводить до висушування ґрунту та ускладнює його механічну обробку. Для забезпечення якісної підготовки ґрунту до посіву виникає необхідність проведення підживлювального поливу. З метою зниження енерговитрат і трудових затрат у господарствах зазвичай виконують підживлювальний полив, після якого досягнення оптимальної вологості ґрунту (стану «дозрівання») потребує 5–8 днів. Лише після цього здійснюється обробіток ґрунту та посів насіння з нарізкою поливних борозен. Наприкінці посівного періоду проводиться вологозарядний полив для забезпечення рівномірних сходів. Загальна тривалість цього циклу становить у середньому 10–12 днів, що з точки зору агрономічної науки є нераціональним використанням часу та призводить до зниження

врожайності культур.

Підвищення ефективності технології обробітку ґрунту та посіву сільськогосподарських культур можливе на основі реалізації таких наукових принципів:

Принцип економії енергії у технологічних процесах та операціях.

Принцип підвищення енергоефективності технічних засобів і технологічних матеріалів.

Принцип вибору оптимальної структури технології.

Розробка технологій виробництва сільськогосподарської продукції передбачає виконання розрахунків для визначення та обґрунтування переліку технологічних процесів, відповідних технічних засобів з урахуванням їх продуктивності, взаємозамінності та можливості раціонального використання. При цьому враховуються організаційні умови безперервної роботи в межах агротехнічних термінів, вибір оптимальних технічних засобів та кількість обслуговуючого персоналу.

Ключовою умовою формування ефективної технології є забезпечення узгодженого функціонування всіх її складових елементів, включаючи готовність технічних засобів, наявність кваліфікованого обслуговуючого персоналу, а також організацію технічного та технологічного супроводу процесів. Раціональне поєднання та послідовність виконання операцій, безперебійне постачання технологічними матеріалами, а загалом оптимізований рух трьох основних потоків виробництва (див. рис. 2.2) повинні забезпечувати реалізацію наукових принципів підвищення енергоефективності технологій.

Наукові принципи формування та побудови енергоефективних технологій виступають базовими положеннями, на основі яких здійснюється розробка, впровадження та подальше вдосконалення технологічних процесів.

Принцип економії енергії. Принцип економії енергії ґрунтується на забезпеченні енергозбереження в технологічних процесах шляхом оптимального проектування сучасних машинно-тракторних агрегатів, обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів, експлуатаційних характеристик та вибору раціональних швидкісних і навантажувальних режимів їх роботи.

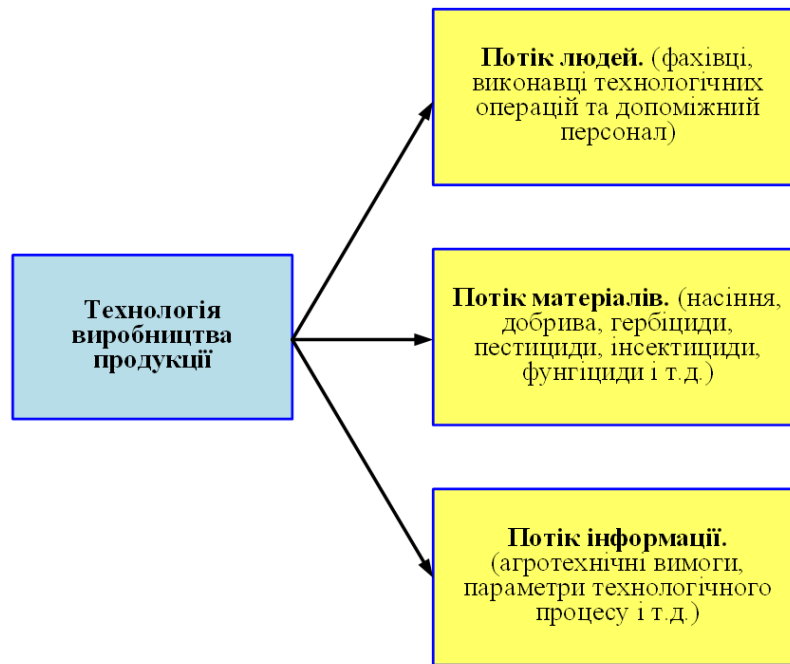


Рис. 2.2 – Структура технології виробництва сільськогосподарської продукції

Енергоефективність та енергозбереження у різних галузях народного господарства є стратегічними завданнями, закріпленими на законодавчому рівні в багатьох країнах світу. Енергозбереження розглядається як окремий випадок підвищення енергоефективності, коли витрати енергії на отримання корисного ефекту зменшуються, що, відповідно, підвищує загальну ефективність. Іншими словами:

Енергозбереження – це зниження витрат енергії при збереженні вихідного корисного продукту.

Енергоефективність – це збільшення корисного продукту при збереженні вихідних витрат енергії.

Енергетичну ефективність технологічних процесів можна досягти двома шляхами (рис. 2.3).

Енергозбереження у технологічних процесах можна забезпечити реалізацією заходів щодо оптимізації кількості операцій, параметрів та режимів роботи технічних засобів (рис. 2.4).

Принцип підвищення енергоефективності технічних засобів та технологічних матеріалів.

У системах агропромислового виробництва коефіцієнт корисної дії (ККД) виступає інтегральним показником енергетичної ефективності технічних засобів, що реалізують процеси перетворення та передачі енергії. З позицій теорії енергетичних потоків ККД визначається як відношення корисно реалізованої енергії до сумарного енергетичного ресурсу, залученого системою. Цей параметр характеризує ступінь термодинамічної досконалості агрегату та його здатність мінімізувати ентропійні втрати в процесі роботи.

Для енергетичного модуля, зокрема трактора, ККД можна інтерпретувати як частку тягової потужності $N_{зак}$, що безпосередньо використовується для виконання технологічних операцій, у загальній ефективній потужності N_e , генерованій двигуном. В умовах розробки комбінованих агрегатів, орієнтованих на оптимізацію енерговитрат, підвищення ККД досягається шляхом інтеграції функціональних вузлів, зменшення паразитних втрат та застосування адаптивних систем керування, що забезпечують раціональний розподіл енергетичних потоків між робочими органами: $\eta_T = N_{зак}/N_e$.

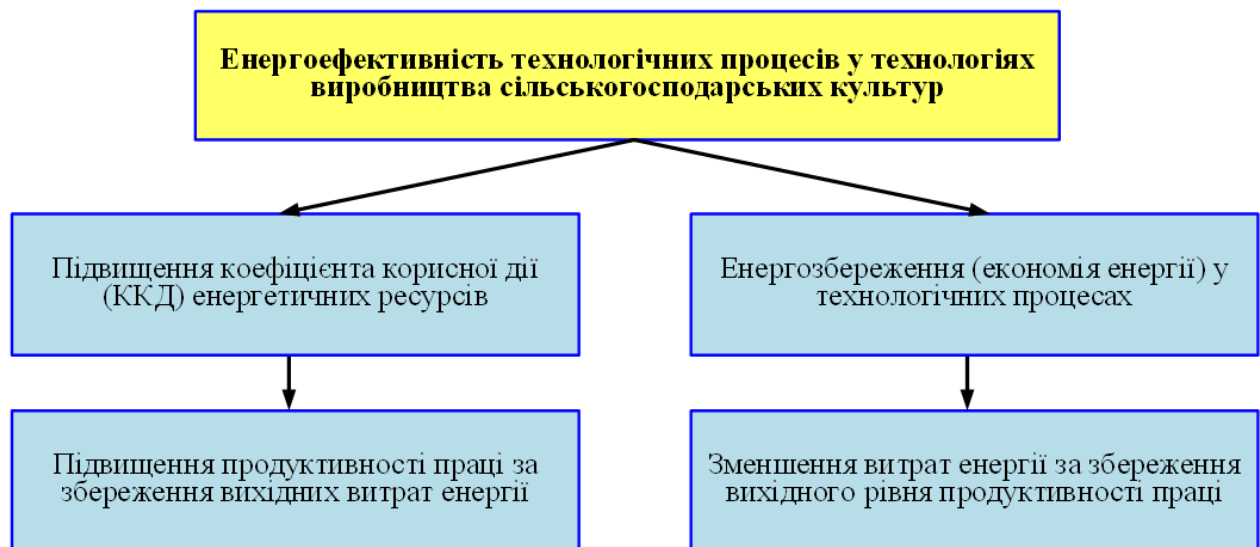


Рис. 2.3 – Шляхи підвищення енергоефективності технологічних процесів обробітку ґрунту

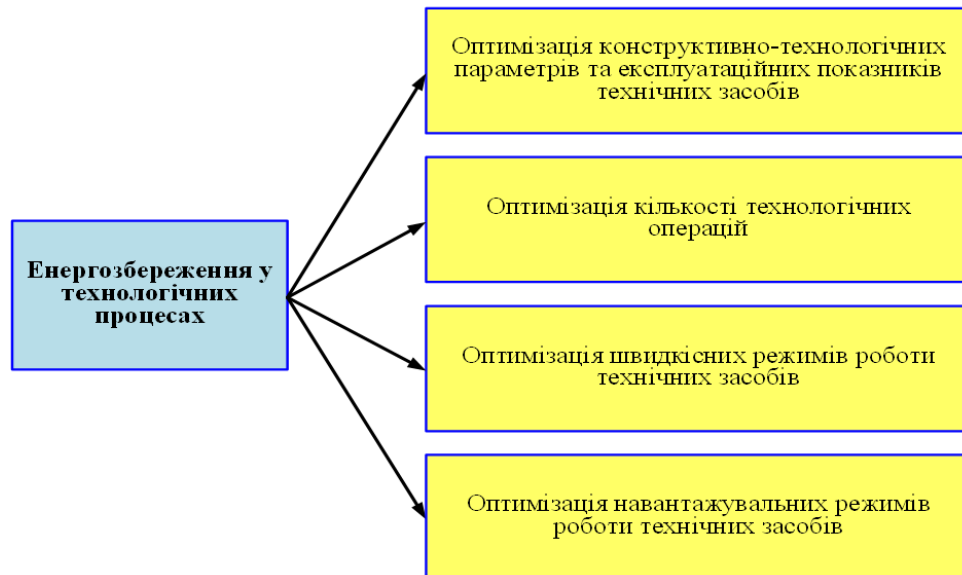


Рис. 2.4 – Шляхи енергозбереження в технологічних процесах обробітку ґрунту

Принцип оцінки коефіцієнта корисної дії (ККД) ґрунтується на визначенні рівня технічної та технологічної досконалості засобів у контексті передачі та трансформації енергетичних потоків. У розширеному трактуванні поняття ККД може бути застосоване не лише до машинно-тракторних агрегатів, але й до технологічних матеріалів (насіння, добрива, засоби захисту рослин), ефективність яких залежить від комплексу агротехнічних і ґрунтових факторів.

Рівень ККД технологічних матеріалів детермінується параметрами агрофізичного середовища: способами обробітку ґрунту, його механічним складом, фізико-хімічними та біологічними процесами, що визначають доступність поживних елементів. Мінеральна фракція ґрунту, яка становить до 55–60% об'єму та 90–97% маси, формує базові агрохімічні властивості, що впливають на потребу в добривах і вапнуванні. Механічний склад ґрунту є ключовим фактором, що визначає його водний режим, пористість, структурність, тепловий баланс і, як наслідок, ефективність використання добрив.

У зонах з нестійким або недостатнім зволоженням водні властивості ґрунту стають критичним параметром для оптимізації ККД добрив. Органічна речовина, як системоутворюючий компонент ґрунту, забезпечує його родючість і є основою для формування гумусового горизонту. Збереження та накопичення ефективних форм органічної речовини через застосування органічних добрив і багаторічних

травостоїв є стратегічним завданням підвищення енергетичної ефективності агротехнологій.

Поглиналина здатність і кислотність ґрунту виступають інтегральними характеристиками, що визначають ступінь засвоєння поживних речовин і, відповідно, ККД добрив. Оптимізація норм і способів внесення добрив, адаптованих до фізико-хімічних властивостей ґрунту, є ключовим напрямом підвищення енергетичної ефективності агротехнологічних процесів. У цьому контексті застосування комбінованих агрегатів, здатних інтегрувати операції обробітку ґрунту, внесення добрив та посіву, дозволяє мінімізувати енерговитрати, знизити ентропійні втрати та забезпечити раціональний розподіл енергетичних ресурсів у системі «ґрунт–рослина–технічний засіб».

Принцип вибору оптимальної структури технологій. Принцип вибору оптимальної структури технологій, спрямований на підвищення їхньої енергетичної та технологічної ефективності, базується на системному аналізі та синтезі технологічних процесів. Він передбачає реалізацію таких ключових прийомів:

Наукове обґрунтування інтеграції нових технологічних операцій або процесів у виробничий цикл, якщо їх впровадження забезпечує зниження сумарних енерговитрат або підвищення коефіцієнта корисної дії системи.

Аналіз доцільності скорочення або заміни існуючих операцій з метою мінімізації дублювання функцій, зменшення ентропійних втрат та оптимізації енергетичних потоків.

Коригування алгоритму виконання технологічних процесів на основі принципів адаптивного управління, що дозволяє забезпечити раціональний розподіл ресурсів і синхронізацію робочих органів агрегатів.

Оптимізація структури технології обробітку сільськогосподарських культур здійснюється з урахуванням раціонального поєднання трьох базових потоків: енергетичного, матеріального та інформаційного. Їх інтеграція в єдину систему дозволяє досягти синергетичного ефекту, знизити питомі енерговитрати та забезпечити стабільність технологічного процесу.

Оптимальна структура технології обробітку сільськогосподарських культур на посіві повинна відповідати вимогам трьох основних критеріїв – мінімуму енергоємності технологічних процесів $\bar{E}_i \rightarrow \min$, максимуму ККД технічних засобів $\eta_T \rightarrow \max$ і максимуму ККД технологічних матеріалів $\eta_{TM} \rightarrow \max$.

Удосконалення технології з урахуванням комплексних критеріїв, сформованих на основі наукових принципів енергозбереження та підвищення енергоефективності технічних засобів і технологічних матеріалів, передбачає реалізацію системного підходу до вибору оптимальної технологічної структури. Такий підхід має забезпечити не лише мінімізацію питомих енерговитрат, але й інтеграцію адаптивних рішень для раціонального використання водних, енергетичних та матеріальних ресурсів.

2.2. Вибір критеріїв для оптимізації технологій та технічних засобів

Оптимальні (або раціональні) режими роботи МТА є системою оптимальних значень експлуатаційних показників і ступенів їх використання, що відповідають вимогам критеріїв оцінки їх ефективності.

Аналіз значного обсягу науково-дослідних робіт свідчить, що проблема вибору критеріїв оцінки ефективності функціонування технічних засобів у агропромисловому виробництві залишається недостатньо формалізованою та носить переважно описовий характер. Це вказує на необхідність розробки методологічних основ, що базуються на принципах системного підходу та багатокритеріальної оптимізації.

У цьому напрямі були запропоновані наукові засади вибору критеріїв ефективності та формування збалансованої системи експлуатаційних показників машинно-тракторних агрегатів. Дослідження показали, що для оцінки ефективності агрегатів використовується широкий спектр показників – від енергетичних і технологічних до економічних та екологічних. Така багатокритеріальність ускладнює процес прийняття рішень, що зумовило необхідність створення методики науково обґрунтованого відбору та оптимізації

кількості найбільш значущих критеріїв.

Метою цієї методики є формування інтегрованої системи оцінки, яка враховує керовані параметри агрегатів і технологічних процесів, забезпечуючи баланс між продуктивністю, енергоефективністю та економічною доцільністю.

Вибір критеріїв оцінки ефективності технічних засобів детермінується комплексом істотних факторів, що формують умови функціонування машинно-тракторних агрегатів. До таких факторів належать: характер і складність технологічних операцій; наявність та кваліфікація робочої сили; рівень технічного обслуговування та ремонтпридатність машин; значимість конкретного виробничого процесу у формуванні кінцевої продукції; погоднокліматичні умови, що впливають на стабільність технологічного циклу; тривалість та інтенсивність польових механізованих робіт. (рис. 2.5).

Ефективність технологій, технологічних процесів та технічних засобів лімітуються наявністю матеріально-технічних ресурсів, робочої сили, інформації та іншими факторами (рис. 2.6).

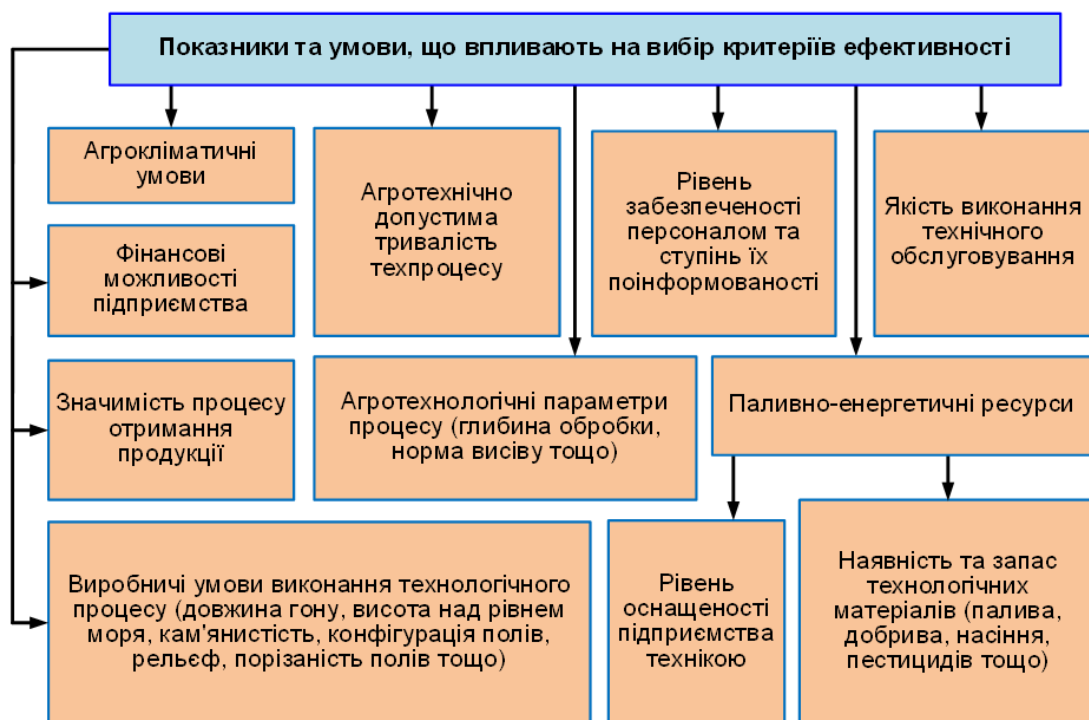


Рис. 2.5 – Показники та умови, що впливають на вибір критеріїв ефективності технологічного процесу (або МТА)

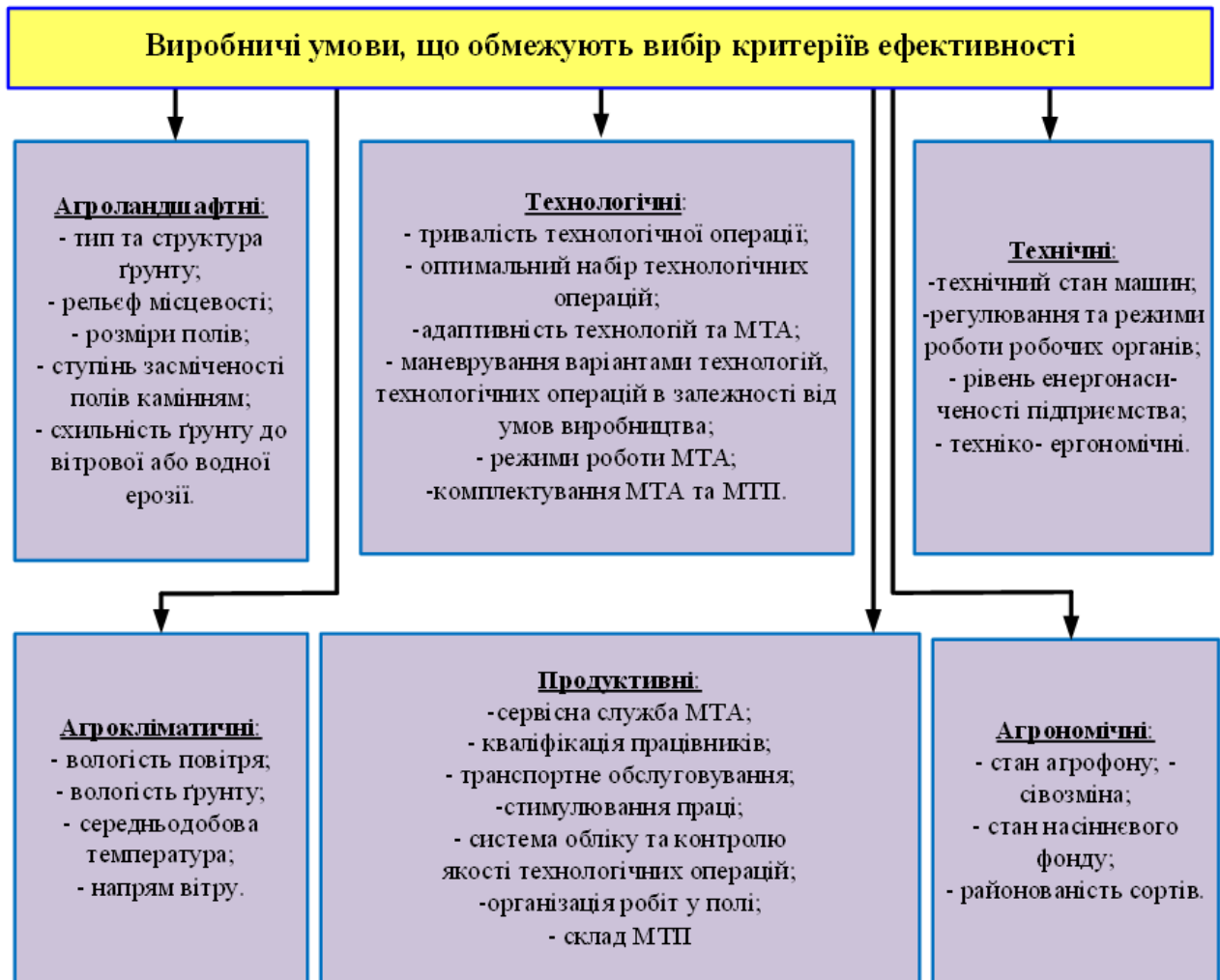


Рис. 2.6 – Принципова схема формування вихідних показників для обґрунтування вибору критеріїв ефективності

Класифікація критеріїв оцінки машинно-тракторних агрегатів (МТА), що застосовуються в рослинництві, представлена в наукових дослідженнях і базується на принципах системного аналізу. Запропонована структурна схема (рис. 2.7) дозволяє здійснити відбір найбільш значущих критеріїв та сформувати збалансовану систему технічних і експлуатаційних характеристик МТА. Така схема враховує багатокритеріальність оцінки, інтегруючи енергетичні, технологічні, економічні та екологічні параметри.

Аналіз численних досліджень свідчить, що при оцінці ефективності комбінованих агрегатів особливу увагу слід приділяти трьом базовим показникам: економічна ефективність (зниження собівартості виробництва, оптимізація витрат ресурсів); енергозбереження (мінімізація питомих

енерговитрат, підвищення ККД агрегатів); дотримання оптимальних термінів виконання агротехнічних операцій (забезпечення технологічної точності та своєчасності робіт для максимізації врожайності).

Формування системи критеріїв на основі цих показників дозволяє створити методику комплексної оцінки ефективності МТА, що відповідає сучасним вимогам ресурсозбереження та інтенсифікації виробництва.

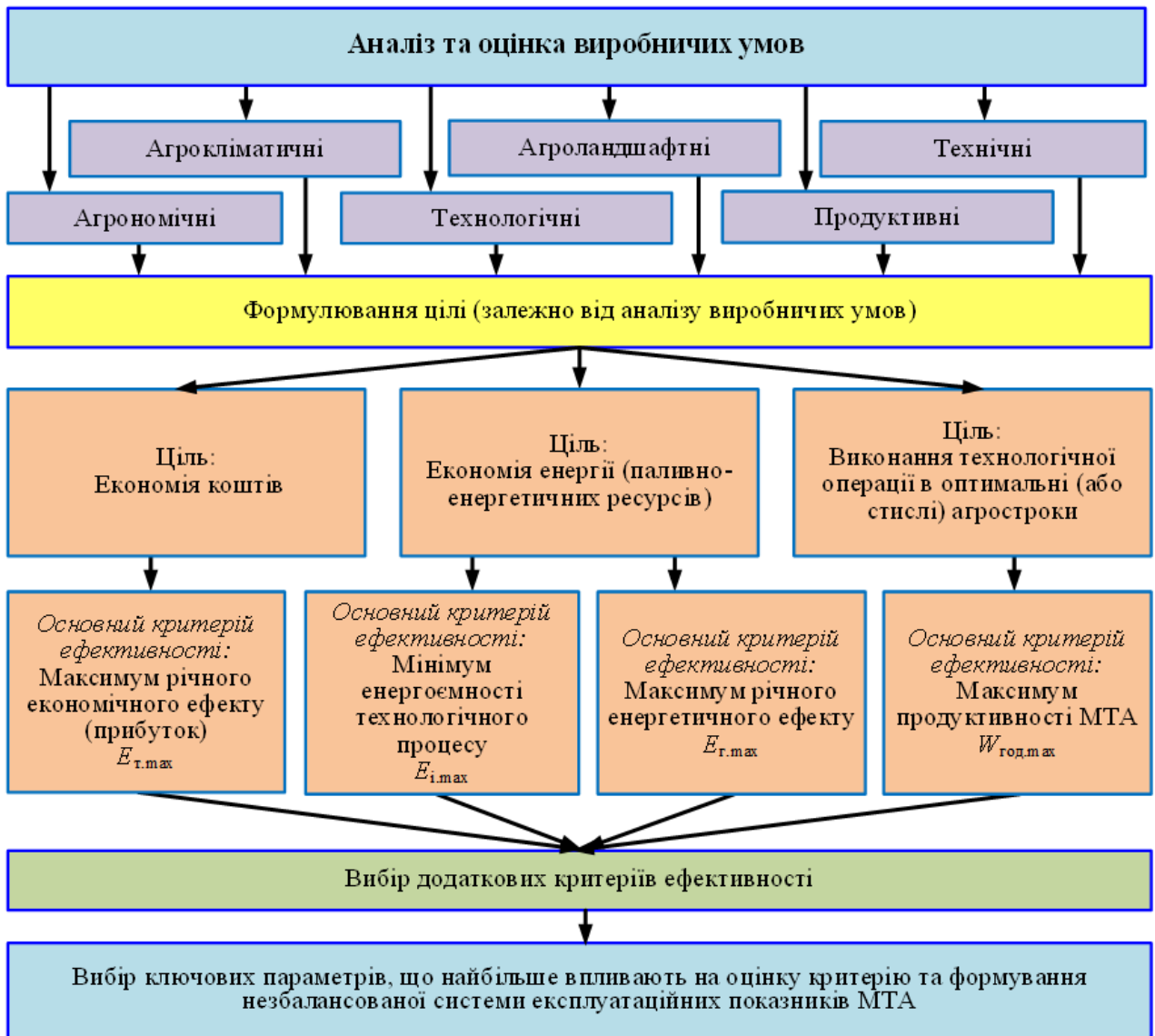


Рис. 2.7 – Принципова схема вибору показників для критеріальної оцінки ефективності та формування системи експлуатаційних показників МТА

Відповідно до вище зазначених цілей, як основні критерії ефективності слід розглядати

- максимум річного економічного ефекту;

- мінімум енергоємності технологічного процесу;
- максимум річного енергетичного ефекту;
- максимум продуктивності МТА.

Після визначення основного критерію оцінки ефективності виникає необхідність збору вихідної інформації для обґрунтування додаткових критеріїв. Формування збалансованої системи експлуатаційних показників та оптимальних режимів роботи машинно-тракторних агрегатів (МТА) має базуватися на системному підході, що забезпечує максимальну ефективність технологічного процесу або операції.

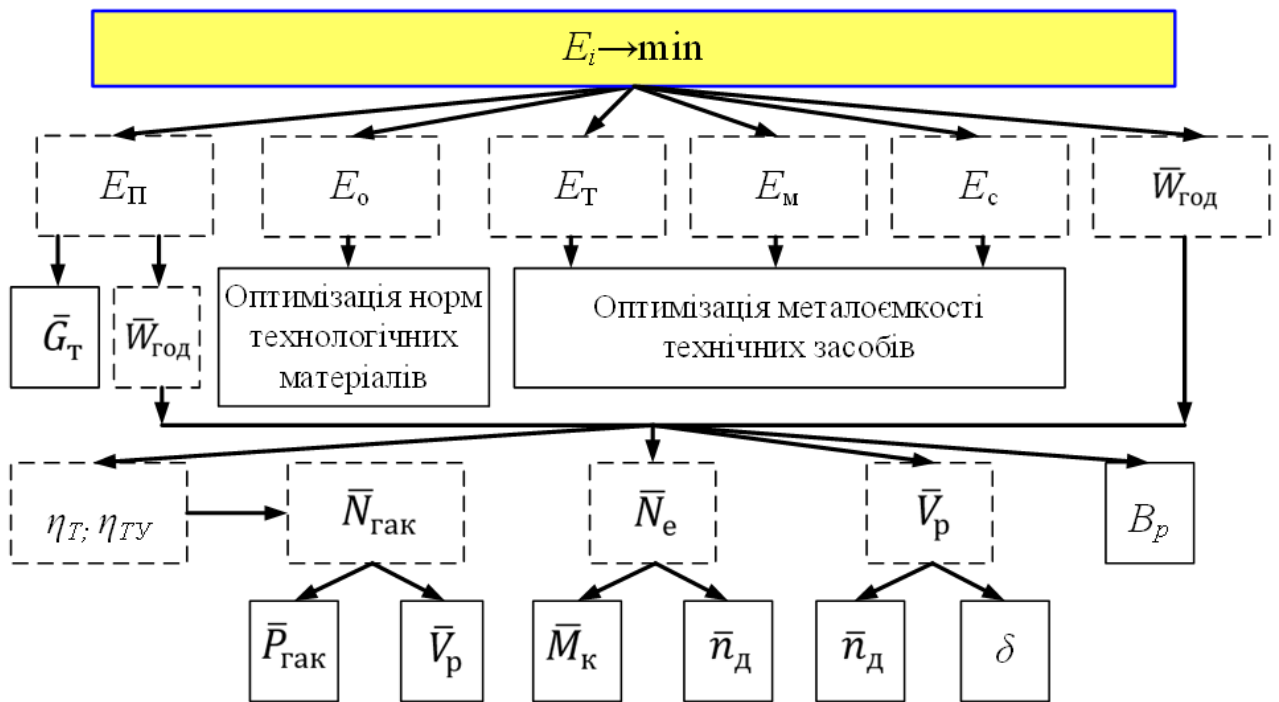
У дослідженні детально представлено методику вибору основного та додаткових критеріїв оцінки ефективності, яка передбачає: аналіз виробничих умов і ресурсних обмежень; визначення пріоритетного критерію, що відображає ключову мету технологічного процесу; інтеграцію додаткових критеріїв для забезпечення комплексної оцінки.

Основним критерієм у більшості випадків виступає максимум продуктивності МТА, однак аналіз вихідних даних щодо збільшення площ посівів зернових і просапних культур у регіоні показує доцільність використання критерію мінімальної енергоємності технологічного процесу: $E_t \rightarrow \min$

Цей критерій відображає принцип енергозбереження та оптимізації енергетичних потоків, що є ключовим для підвищення економічної та технологічної ефективності виробництва.

Формування збалансованої системи експлуатаційних показників на основі цього критерію дозволяє визначити раціональні режими роботи агрегатів, мінімізувати питомі енерговитрати та забезпечити синхронізацію технологічних операцій у межах агротехнічних термінів.

На рисунках 2.8 показано структурну схему критеріїв оцінки ефективності – мінімум енергоємності технологічного процесу. Вибір додаткових критеріїв оцінки ефективності та формування збалансованої системи експлуатаційних показників машинно-тракторних агрегатів виробляються на основі результатів аналізу чутливості оціночних критеріїв до керованих (контрольованих) параметрів.



$\bar{W}_{\text{год}}$ – годинна продуктивність МТА; η_T – коефіцієнт корисної дії; η_{TY} – умовний тяговий ККД трактора; \bar{N}_e – ефективна потужність двигуна; $\bar{N}_{\text{гак}}$ – тягова потужність трактора; B_p – робоча ширина захоплення МТА; \bar{V}_p – швидкість руху МТА; \bar{M}_k – крутний момент на колінчастому валу двигуна; \bar{n}_d – частота обертання колінчастого валу двигуна; $\bar{P}_{\text{гак}}$ – тягове зусилля трактора; δ – буксування рушіїв трактора; E_n – прямі паливно-енергетичні витрати; E_o – витрати енергії, що міститься у технологічних матеріалах; E_M, E_c – енергоємність машин, зчіпок на одиницю змінного часу; E_T – енергоємність трактора на одиницю часу роботи агрегату; \bar{G}_T – годинна витрата палива.

Рис. 2.8 – Вплив критерію «Мінімальна енергоємність технологічного процесу» на експлуатаційні показники МТА.

При аналізі чутливості оціночних критеріїв до контрольованих параметрів ступінь зміни окремо взятого параметра ΔY (%) щодо вихідного його значення може бути розрахована за формулою :

$$\Delta Y = [(\bar{Y}_i^* - Y_6)100]/Y_6, \quad (2.1)$$

де ΔY – ступінь зміни керованого параметра, %;

\bar{Y}_i^* - оптимальне значення параметра Y ;

Y_6 – номінальне (або базове) значення параметра.

Величина $\text{tg} \alpha$ кута нахилу α також характеризує ступінь чутливості - експлуатаційного показника від вхідного параметра X , яку можна визначити з

виразу:

$$tg\alpha = \frac{y_6 - \bar{y}_i}{X_6 - X_i}, \quad (2.2)$$

де Y_6 – базове (або номінальне) значення експлуатаційного показника МТА Y ; \bar{Y}_i^* – вихідне значення експлуатаційного показника Y ; X_6 – базове (або номінальне) значення вхідного параметра X , що відповідає базовому (або номінальному) значенню експлуатаційного показника Y ;

X_i – значення вхідного параметра X , що відповідає вихідному значенню \bar{Y}_i^* – експлуатаційного показника Y .

Формула (2.2) показує, що чим більше значення $tg\alpha$ кута нахилу експлуатаційного показника Y , тим даний показник Y більше чутливий до змін вхідного параметра X . Тобто нахил лінії регресії Y і X показує, наскільки чутлива цільова функція Y до змінної X .

Зіставляючи між собою отримані лінії регресії функції Y і змінної X , можна визначити ключові (найсуттєвіші) параметри, які найбільше впливають на значимість критерію оцінки ефективності МТА.

Залежності енергоємності технологічного процесу обробітку ґрунту від експлуатаційних параметрів машинно-тракторного агрегату трактора кл. 1,4 та машини КГПМ-1,8 представлені на рис. 2.9 та 2.10.

За наявності такої кількості енергетичних параметрів і агротехнічних і техніко-економічних показників МТА з імовірнісним характером, збалансована їх система є раціональною кількістю параметрів і показників за рівнем їх значущості.

Аналіз показує, що критерій мінімум енергоємності технологічного - процесу $E_i \rightarrow \min$ найбільш чутливий до наступних параметрів, які в сукупності є збалансованою системою: продуктивність МТА $W_{\text{год}}$; коефіцієнт корисної дії η_T трактора; тягова потужність N_{kr} трактора; ефективна потужність N_e двигуна; годинна витрата G_T палива двигуна; швидкість руху V_p МТА; частота обертання n_d колінчастого валу двигуна; крутний момент M_k колінчастому валу двигуна; тягове зусилля $P_{\text{зак}}$ трактора.

Для безперервного контролю оптимальних режимів роботи МТА в умовах виробництва цілком достатньо оптимізувати перераховані вище параметри та показники та рівні їх реалізації.

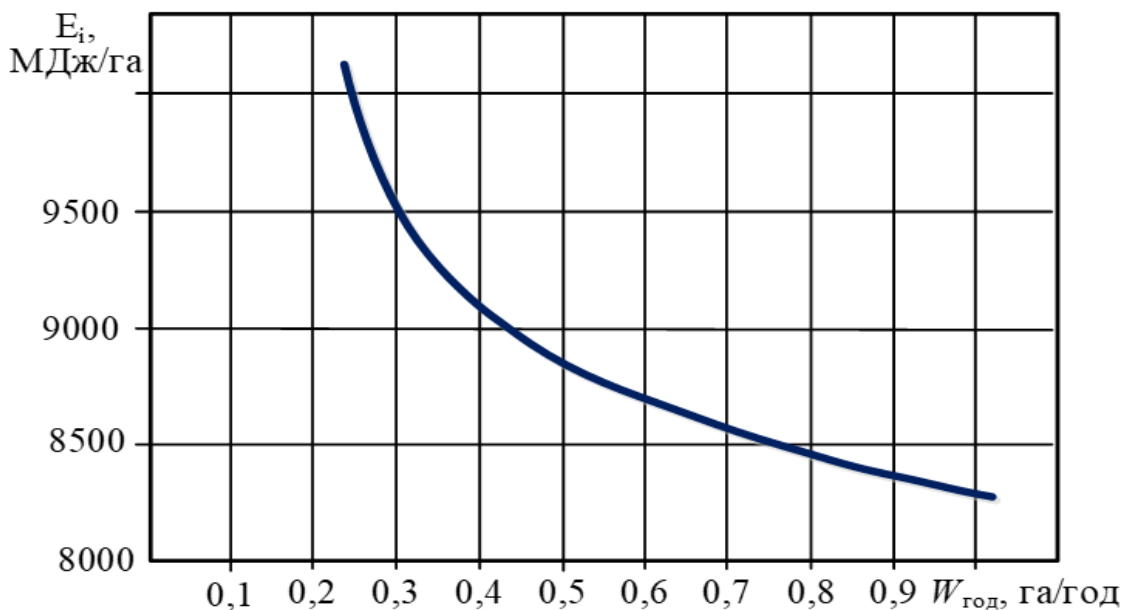


Рис. 2.9 – Залежність енергоємності технологічного процесу E_i одночасного обробітку ґрунту, внесення мінеральних добрив та посіву зернових культур від продуктивності $W_{\text{год}}$.

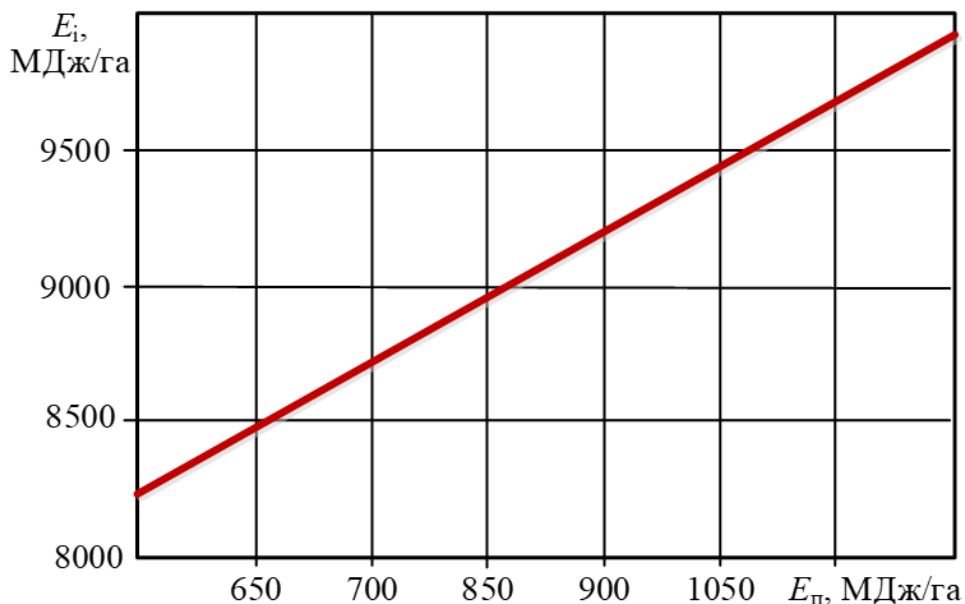


Рис. 2.10 – Залежність енергоємності технологічного процесу E_i одночасного обробітку ґрунту, внесення мінеральних добрив та посіву зернових культур від прямих паливно-енергетичних витрат $E_{\text{п}}$.

2.3. Методика оптимізації роботи МТА

Оцінка ефективності роботи машинно-тракторних агрегатів (МТА) під час виконання технологічних операцій здійснюється на основі збалансованої системи експлуатаційних показників, що відображають енергетичні, технологічні та економічні параметри функціонування агрегату.

Для визначення кількісних характеристик математичних очікувань експлуатаційних показників МТА при реалізації технологічних процесів застосовуються спеціалізовані методики статистичного аналізу та моделювання. У рамках системного підходу математична модель МТА розглядається як багатовимірна динамічна система з множиною вхідних (керованих) та вихідних (результативних) параметрів, що описують взаємозв'язки між енергетичними потоками, режимами роботи та якістю виконання операцій.

Однак для практичних цілей допустиме використання спрощеної одномірної моделі, коли кожен вхідний вплив (наприклад, швидкість руху, навантаження на робочі органи) корелює з одним вихідним параметром (продуктивність, енергоємність, якість обробітку). Такий підхід дозволяє знизити складність розрахунків і забезпечити оперативне прийняття рішень щодо оптимізації режимів роботи агрегату.

Аргументами (вхідними параметрами) є крутний момент $M_{кр}$ на колінчастому валу двигуна або тягове зусилля $P_{кр}$ трактора, щільність розподілу ймовірностей яких дорівнює:

$$\varphi(M_k) = (\sigma_M \sqrt{2\pi})^{-1} \exp\left[-(M_k - \bar{K}_k^{\square}) / (2\sigma_M^2)\right], \quad (2.3)$$

$$\varphi(P_{кр}) = (\sigma_P \sqrt{2\pi})^{-1} \exp\left[-(P_{кр} - \bar{P}_{кр}^{\square}) / (2\sigma_P^2)\right], \quad (2.4)$$

де M_k - Математичне очікування (або середнє значення) крутного моменту на колінчастому валу двигуна;

σ_M - середньоквадратичне відхилення крутного моменту на колінчастому валу двигуна;

$P_{кр}$ - математичне очікування (або середнє значення) тягового зусилля трактора;

σ_p – середньоквадратичне відхилення тягового зусилля $P_{зак}$ трактора.

Функціями зв'язку $f(M_k)$ служать навантажувальна (стендова) характеристика, отримана при лабораторних випробуваннях двигуна;

Функціями зв'язку $f(p_{зак})$ служать тягові характеристики трактора, отримані в процесі його тягових випробувань.

Імовірісно-статистичні оцінки енергетичних та техніко-економічних параметрів МТА при випадкових аргументах M_k і $P_{зак}$ визначаються за такими виразами.

Математичне очікування:

$$\bar{Y} = \int_{-\infty}^{\infty} Y\varphi(Y) dY = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\varphi(x) dx, \quad (2.5)$$

де $\varphi(Y)$ - щільність розподілу ймовірностей випадкової величини Y ;

$\varphi(x)$ - густина розподілу ймовірностей випадкової величини X (аргументу).

Дисперсія:

$$D(Y) = \int_{-\infty}^{\infty} [Y - \bar{Y}]^2 \varphi(Y) dY = \int_{-\infty}^{\infty} [f(x) - \bar{Y}]^2 \varphi(x) dx, \quad (2.6)$$

де \bar{Y} – математичне очікування вихідного параметра МТА.

Середньоквадратичне відхилення та коефіцієнт варіації вихідного параметра:

$$\sigma_y = [D(Y)]^{1/2}; \nu_y = \frac{\sigma_y}{\bar{Y}} \quad (2.7)$$

де $D(Y)$ – дисперсія вихідного параметра МТА;

ν_y – коефіцієнт варіації вихідного параметра Y .

Постійні величини та кутові коефіцієнти енергетичних параметрів двигуна трактора визначаються за формулами відомої методики.

Годинна витрата палива двигуна. Математичне очікування годинної витрати палива двигуна можна визначити з виразу:

$$\bar{G}_T = 0,5(a + b\bar{M}_k) - (a_1 + b_1\bar{M}_k)\Phi(t_H) + b_1\varphi(t_H)\bar{M}_k V_M^{\square}, \quad (2.8)$$

де \bar{M}_k – значення моменту на валу двигуна, що відповідає вибраному критерію \bar{G}_{Tmax} ;

a, a_1, b і b_1 - постійні величини, і кутові коефіцієнти, розрахункові формули для яких встановлюються шляхом апроксимації стендової характеристики двигуна.

Ефективна потужність двигуна. Математичне очікування ефективної потужності дизельного двигуна, що залежить від випадкового аргументу – крутного моменту – M_k і диференційоване від міри розсіювання навантаження, визначається за формулою:

$$\bar{N}_e = c\{0,5(a^* + b^*\bar{M}_k + b^*\bar{M}_k^2(1 + v_M^2)) - [a_1^*\bar{M}_k^{\square} + b_1^*\bar{M}_k^2(1 + v_M^2)\Phi(t_H) + b_1^*\varphi(t_H)\bar{M}_k^2V_M^{\square}]\}, \quad (2.9)$$

де a^* , a_1^* , v^* і v_1^* - постійні величини і кутові коефіцієнти, що встановлюються за стендовою характеристикою двигуна (таблиця 2.1);

V_M^{\square} - коефіцієнт варіації (або міра розсіювання) навантаження M_k .

$$V_M^{\square} = \sigma_M/\bar{M}_k \quad (2.10)$$

де σ_M - середньоквадратичне відхилення параметра M_k ;

$$t_H^{\square} = (M_H - \bar{M}_k) \sigma_M \text{ або } t_H^{\square} = (M_H - \bar{M}_k) \bar{M}_k v_M \quad (2.11)$$

Тягова потужність трактора. Тягова потужність залежить від швидкості руху трактора і зусилля, що розвивається на гаку $P_{\text{гак}}$. Для обчислення математичного очікування тягової потужності тракторів з дизельними двигунами застосовується формула

$$\bar{N}_{\text{гак}} = 0,5[a_1^*\bar{P}_{\text{кр}} + b_1^*\bar{P}_{\text{кр}}^2(1 + v_M^2)] - [a_1^*\bar{P}_{\text{кр}} + b_1^*\bar{P}_{\text{кр}}^2(1 + v_M^2)]\Phi(t_{\text{р.н}}) + b_1^*\varphi(t_{\text{р.н}})\bar{P}_{\text{кр}}^2V_{\text{р}}^{\square}, \quad (2.12)$$

де a^* , a_1^* , v^* і v_1^* - швидкісні та кутові коефіцієнти, наведені в таблиці 2.2;

$V_{\text{р}}^{\square}$ - міра розсіювання тягового зусилля;

$\bar{P}_{\text{кр}}$ – математичне очікування тягового зусилля.

Швидкість руху МТА. Математичне очікування швидкості руху МТА на заданому агрофоні та певній передачі трактора, оснащеного звичайним дизельним двигуном, визначається з виразу:

$$\bar{V}_M^i = 0,5(a^* + b^*\bar{P}_{\text{гак}}^i) - (a_1^* + b_1^*\bar{P}_{\text{гак}}^i)\Phi(t_H^*) + b_1^*\varphi(t_H^*)\bar{P}_{\text{гак}}^iV_{\text{р}}^{\square} \quad (2.13)$$

де a^* , a_1^* , v^* і v_1^* - постійні величини та кутові коефіцієнти (таблиця 2.2);

$V_{\text{р}}^{\square}$ - міра розсіювання навантаження $P_{\text{гак}}$;

$\Phi(t_H^{\square})$, $\varphi(t_H^{\square})$ - відповідно інтегральна функція Лапласа і щільність розподілу

ймовірностей аргументу t_n .

$$V_p^{\square} = \sigma_p / \bar{P}_{\text{гак}} \quad (2.14)$$

де σ_p - середньоквадратичне відхилення тягового зусилля трактора $P_{\text{гак}}$.

$$t_n^{\square} = (P_{\text{гак.н}} - \bar{P}_{\text{гак}}) / \bar{P}_{\text{гак}} V_p^{\square} \quad (2.15)$$

Тяговий ККД трактора. Тяговий ККД трактора на певному робочому режимі можна визначити з формули:

$$\eta_T^{\square} = \bar{N}_{\text{гак}} / \bar{N}_e \quad (2.16)$$

де $\bar{N}_{\text{гак}}$ – математичне очікування тягової потужності трактора;

\bar{N}_e – математичне очікування ефективної потужності двигуна.

Як техніко-економічні показники в даній роботі розглядаються продуктивність МТА $W_{\text{год}}$ (за площею) за 1 годину змінного часу і енергоємність E_i технологічного процесу обробітку ґрунту з одночасним внесенням мінеральних добрив і посівом насіння, що виконується ґрунтообробно-посівним агрегатом).

Продуктивність МТА. Математичне очікування продуктивності МТА $W_{\text{год}}$ за 1 годину експлуатаційного часу визначається за формулою:

$$\bar{W}_{\text{год}} = 0,36 \eta_T \tau \bar{N}_e / K_a \quad (2.17)$$

де τ - Коефіцієнт використання часу зміни;

\bar{N}_e – математичне очікування ефективної потужності двигуна;

η_T - тяговий ККД трактора;

K_a - питомий тяговий опір агрегату.

Енергоємність технологічного процесу. Математичне очікування - енергоємності технологічного процесу визначається з виразу:

$$\bar{E}_i = [g_T(\alpha_T + f_T) + g_e(\kappa_e + f_e) + g_K(\kappa_T + f_K)] \bar{W}_{\text{см}}^{-1} + g_y \bar{W}_{\text{см}}^{-1} + g_{yc} \bar{W}_{\text{см}}^{-1} \quad (2.18)$$

де \bar{E}_i - математичне очікування енергоємності технологічного процесу (паливно-енергетичних витрат), МДж / га; g_T – кількість витраченого палива за зміну, кг; α_T - тепломісткість палива, МДж/кг;

κ_e і κ_T - коефіцієнт переведення 1 кВт·год електроенергії в 1 МДж ($\kappa_e = 3,6$) і 1 ккал в 1 МДж ($\kappa_T = 0,00419$);

f_t , f_e та f_k - коефіцієнти, що враховують додаткові витрати енергії на виробництво палива (МДж/кг), електроенергії (МДж/кВт*год) та тепла (МДж/ккал);

g_e і g_k - витрачена за зміну кількість електроенергії (МДж/кВт*год./см) та тепла (ккал/см);

g_y - умовна частина енергетичних витрат, пропорційна витраті матеріалів - (насіння, мінеральних добрив, отрутохімікатів і т.д.) при виконанні технологічного процесу;

g_{yc} - умовно стала частина паливно-енергетичних витрат.

$$g_T = G_{T.p.} T_p + G_{T.x.} T_x + G_{T.o.} T_o \quad (2.19)$$

де $G_{T.p.}$, $G_{T.x.}$, $G_{T.o.}$ - годинна витрата палива двигуна відповідно при робочому ході, на неодружених переїздах і поворотах і під час зупинок агрегату з працюючим двигуном, кг/год;

T_p , T_x , T_o - відповідно чистий робочий час, час на холості переїзди і повороти і час зупинок агрегату з працюючим двигуном, год.

$$g_T = \alpha_o q_a T_{cm} T_{o.g}^{-1} \quad (2.20)$$

де α_o - енергетичний еквівалент (витрати енергії на виробництво одиниці даного виду технологічного матеріалу, в даному випадку мінеральних добрив та насіння пшениці), МДж/кг;

q_a - витрата насіння, добрив, пестицидів (тобто технологічних матеріалів) в одиницю часу, кг/год;

T_{cm} - час зміни, год;

$T_{o.g}^{-1}$ - термін дії технологічного матеріалу.

$$g_{уп} = E_{ж} + E_T + E_M + E_3, \quad (2.21)$$

де $E_{ж}$ - енергетичні витрати живої праці, МДж/см;

E_T , E_M , E_3 - енергоємність відповідно трактора, машини та зчіпки.

Оптимальне значення експлуатаційних показників МТА можна визначити відповідно до заданих критеріїв оптимальності класичним методом оптимізації або методом послідовного наближення.

Визначення оптимальних значень параметрів та показників МТА методом

послідовного наближення є найбільш сучасним та точним. У зв'язку з цим, надалі при оптимізації параметрів будемо застосовувати метод послідовного наближення, обчислюючи оптимальні параметри та режими роботи МТА за виразами (2.8) - (2.21).

Для визначення найбільш енергоємних статей витрат та розробки цільових заходів щодо їх мінімізації необхідно сформувавши детальну структуру паливно-енергетичних витрат, що характеризує технологічний процес або комплексну технологію обробітку сільськогосподарських культур. Така структура повинна відображати: питомі витрати палива та енергії на кожну операцію (оранка, культивування, посів, внесення добрив, зрошення тощо); частку енергетичних витрат на допоміжні процеси (транспортування, технічне обслуговування); втрати, пов'язані з нераціональними режимами роботи агрегатів.

Аналіз цієї структури дозволяє ідентифікувати найбільш напружені енергетичні статті та розробити комплекс заходів для їх оптимізації: вибір агрегатів з підвищеним ККД; інтеграція комбінованих операцій для зменшення кількості проходів; застосування енергоощадних технологічних матеріалів та адаптивних систем управління.

Структурну схему енергоємності технологічних процесів загалом можна представити у наступному вигляді (рис. 2.11).

Структурна схема енергоємності технологічного процесу обробітку ґрунту, внесення мінеральних добрив та посіву насіння сільськогосподарських культур комбінованим ґрунтообробно-посівним агрегатом представлена на рис. 2.12.

Формування обґрунтованої структури енергоємності технологічного процесу із зазначенням частки енергетичних витрат (у відсотках) на кожну складову операцію дозволяє ідентифікувати найбільш енергоємні статті та сфокусувати заходи на їх оптимізації. Такий підхід є ключовим для реалізації принципів енергозбереження та забезпечує суттєве зниження сумарних витрат енергії при виконанні механізованих польових робіт.

Оптимальні (раціональні) режими роботи машинно-тракторних агрегатів (МТА) визначаються як система оптимальних значень експлуатаційних показників (швидкість руху, навантаження на робочі органи, частота обертання

ВВП тощо) та ступенів їх використання, що відповідають вимогам обраних критеріїв ефективності – мінімальної енергоємності, максимального ККД та дотримання агротехнічних термінів.



Рис. 2.11 – Структурна схема енергоємності технологічних процесів

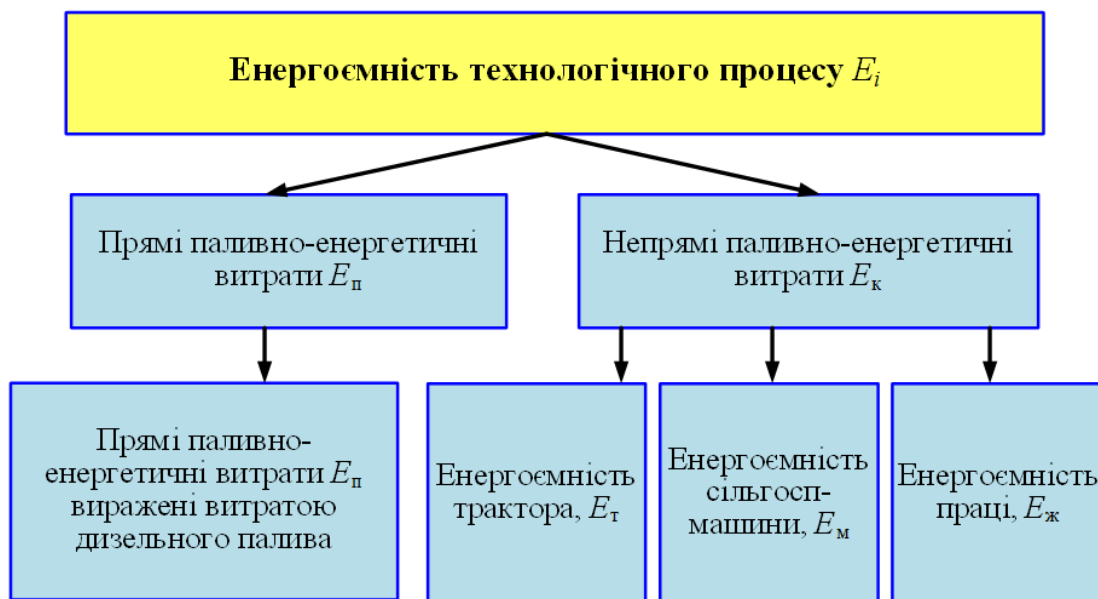


Рис. 2.12 - Структурна схема енергоємності технологічного процесу обробітку ґрунту, внесення мінеральних добрив та посіву насіння сільськогосподарських

Оптимальні режими роботи ґрунтообробно-посівного агрегату трактора кл. 1,4 та машини КГПМ-1,8 (з урахуванням обґрунтованої збалансованої системи експлуатаційних показників) являють собою оптимальні значення математичних очікувань частоти обертання колінчастого валу \bar{n}_d^* , годинної витрати палива \bar{G}_T^* , ефективної потужності \bar{N}_e^* двигуна, тягової потужності $\bar{N}_{\text{гак}}^*$ і тягового ККД $\bar{\eta}_T^*$ трактора, швидкості руху \bar{V}_p^* та продуктивності $\bar{W}_{\text{год}}^*$ агрегату, крутного моменту \bar{M}_K^* на валу двигуна, тягового зусилля $\bar{P}_{\text{кр}}^*$ трактора, а також оптимальні рівні їх реалізації, що відповідають критеріям якості роботи та мінімуму енергоємності $\bar{E}_i^{\square} \rightarrow \min$ технологічного процесу.

Оптимальний рівень реалізації $\lambda_{\bar{n}}^*$ частоти обертання колінчастого валу двигуна визначається за формулою:

$$\lambda_{\bar{n}}^* = \bar{n}_d^* / n_n^{\square} \quad (2.22)$$

де \bar{n}_d^* - оптимальне значення частоти обертання колінчастого валу двигуна;

n_n - номінальне значення частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Оптимальний рівень реалізації ефективної потужності двигуна можна визначити за формулою:

$$\lambda_{\bar{N}_e}^* = \bar{N}_e^* / N_{en}^{\square} \quad (2.23)$$

де \bar{N}_e^* – оптимальне значення ефективної потужності двигуна;

N_{en} - базове (чи номінальне) значення ефективної потужності двигуна.

Оптимальний рівень реалізації тягової потужності $\lambda_{\bar{N}_{\text{гак}}}^*$ трактора визначається з виразу:

$$\lambda_{\bar{N}_{\text{гак}}}^* = \bar{N}_{\text{гак}}^* / N_{\text{гак.н}}^{\square} \quad (2.24)$$

де $\bar{N}_{\text{гак}}^*$ – оптимальне значення тягової потужності трактора;

$N_{\text{гак.н}}^{\square}$ - базове (номінальне) значення тягової потужності трактора на заданому робочому режимі.

Оптимальний рівень реалізації $\lambda_{\bar{V}_p}^*$ швидкості руху МТА можна визначити з виразу:

$$\lambda_{\bar{V}_p}^* = \bar{V}_p^* / V_{p,n}^{\square} \quad (2.25)$$

де \bar{V}_p^* – оптимальне значення швидкості руху МТА;

$V_{p,n}^{\square}$ - номінальне значення швидкості руху МТА на даному робочому режимі.

Оптимальний рівень реалізації $\lambda_{\bar{W}_{год}}^*$ продуктивності МТА можна вирахувати з виразу:

$$\lambda_{\bar{W}_{год}}^* = \bar{W}_{год}^* / W_{год,n}^{\square} \quad (2.26)$$

де $\bar{W}_{год}^*$ - оптимальне значення продуктивності МТА, що відповідає критерію оптимальності $\bar{E}_i^{\square} \rightarrow \min$;

$W_{год,n}^{\square}$ - номінальне (чи базове) значення продуктивності МТА.

Оптимальне значення рівня завантаження двигуна $\lambda_{\bar{M}_k}^*$ визначається з виразу:

$$\lambda_{\bar{M}_k}^* = \bar{M}_k^* / M_n^{\square} \quad (2.27)$$

де \bar{M}_k^* - екстремальне (або оптимальне) значення крутного моменту на колінчастому валу двигуна;

M_n - номінальне (базове) значення крутного моменту на колінчастому валу двигуна.

Оптимальний рівень завантаження трактора $\lambda_{\bar{P}_{гак}}^*$ визначається з формули:

$$\lambda_{\bar{P}_{гак}}^* = \bar{P}_{гак}^* / P_{гак,n}^{\square} \quad (2.28)$$

де $\bar{P}_{гак}^*$ - екстремальне (або оптимальне) значення тягового зусилля трактора;

$P_{гак,n}^{\square}$ - номінальне (базове) значення тягового зусилля трактора на цьому робочому режимі.

Коефіцієнт енергетичної ефективності $K_{ТСР}$ є новим інтегральним показником, що вводиться для комплексної оцінки взаємодії технічних засобів і технологічного процесу. Методика його визначення базується на аналізі енергетичного балансу системи «трактор–агрегат–технологія» та буде детально викладена в наступних роботах.

З урахуванням динамічних характеристик енергетичних засобів нами розроблено та створено експериментальні зразки універсальних комбінованих

грунтообробних і грунтообробно-посівних агрегатів КГПМ-1,8 та КГПМ-2,4. Результати досліджень показали високу енергетичну ефективність цих агрегатів при виконанні технологічних процесів: значення коефіцієнта K_{TSP} знаходилися в межах 0,88–0,98, що свідчить про мінімальні енергетичні втрати та оптимальну реалізацію потужності.

Таким чином, при проектуванні машин із підвищеними експлуатаційними характеристиками, що забезпечують енергоефективність агрегатів і технологічних процесів, необхідно враховувати динамічні властивості енергетичних засобів та робочих органів. Сільськогосподарські агрегати слід розглядати як динамічну систему з багатофакторними стохастичними впливами, що потребує застосування методів системного аналізу та оптимізації.

3. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОСІВНИХ КОМБІНОВАНИХ АГРЕГАТІВ

3.1. Обґрунтування швидкісних режимів комбінованого агрегату

У традиційних технологіях обробітку сільськогосподарських культур, де застосовуються прості польові операції, робочі швидкості виконання кожної операції, як правило, не корелюють між собою. Їх вибір здійснюється або на основі енергетичних можливостей тягового засобу, або з урахуванням впливу швидкості на якість виконання операції. У першому випадку домінує тяговий розрахунок агрегату, у другому – експериментальні дані та виробничий досвід, що визначають агротехнічні показники якості роботи.

При роботі комбінованого агрегату, який виконує одночасно кілька операцій, вибір раціональної швидкості руху значно ускладнюється через виникнення протиріч та взаємозалежності між приватними агротехнічними вимогами. Ступінь складності зростає пропорційно кількості операцій, що комбінуються в одному робочому проході. У розробленій нами технології комбіновані агрегати виконують одночасно шість або сім польових операцій (див. рис. 3.1 та 3.2).

За такої багатофункціональності розрахунок робочої швидкості лише за потужністю тягового засобу стає другорядним, оскільки отримане значення майже напевно порушить агротехнічні рекомендації хоча б для однієї з операцій. Тому необхідно враховувати взаємозалежність вимог і застосовувати компромісний підхід. Можливі два методи:

Найпростіший – розрахунок середньої швидкості на основі агротехнічних вимог для кожної операції.

Більш прогресивний – використання методів багатокритеріальної оптимізації, що враховують енергетичні, технологічні та якісні параметри для досягнення оптимального режиму роботи агрегату.

У загальному випадку середню швидкість руху МТА при виконанні окремих технологічних операцій із застосуванням одноопераційних машин у технологічному процесі можна розрахувати за формулою:

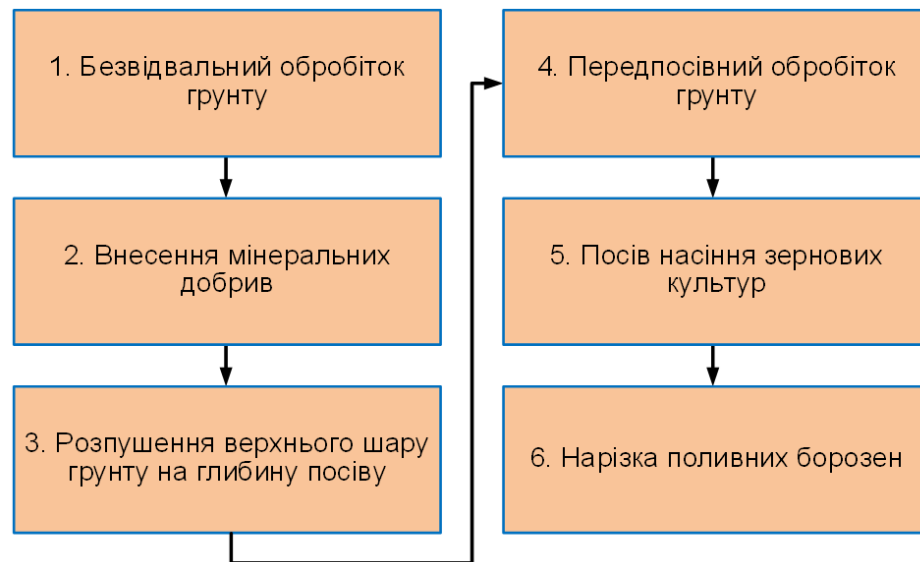


Рис. 3.1 - Схема технологічного процесу посіву зернових культур одночасним проходом МТА (перший варіант)

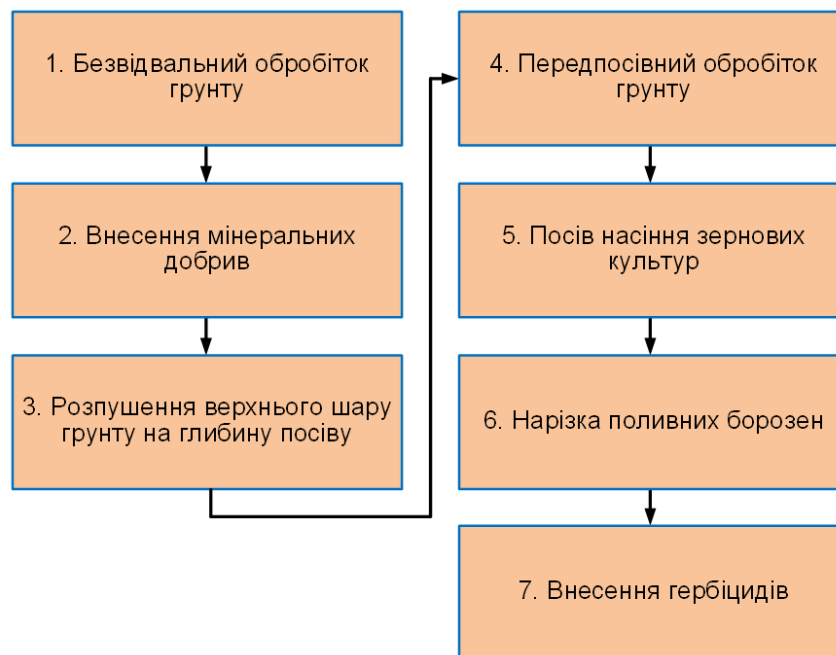


Рис. 3.2 - Схема технологічного процесу посіву просапних культур одночасним проходом МТА (другий варіант)

$$\bar{V}_p^{\text{од.м}} = \frac{\frac{v_{p.1}^{\min} + v_{p.1}^{\max}}{2} + \frac{v_{p.2}^{\min} + v_{p.2}^{\max}}{2} + \dots + \frac{v_{p.n}^{\min} + v_{p.n}^{\max}}{2}}{n} \quad (3.1)$$

де n - кількість технологічних операцій у технологічному процесі;

$v_{p.1}^{\min}, v_{p.2}^{\min}, \dots, v_{p.n}^{\min}$ - нижні межі агротехнічних допустимих швидкостей

виконання i -ї технологічної операції;

$V_{p.1}^{max}, V_{p.2}^{max}, \dots, V_{p.n}^{max}$ - верхні межі агротехнічних допустимих швидкостей виконання i -ї технологічної операції.

Вираз (3.1) дозволяє визначити середнє значення робочої швидкості руху агрегату, що є прийнятним для роздільного виконання технологічних операцій окремими машинно-тракторними агрегатами (МТА) із заданими швидкісними та навантажувальними режимами. При цьому передбачається, що всі операції рівнозначні за критеріями оцінки ефективності.

Однак застосування цього виразу для комбінованих агрегатів є небажаним, оскільки середнє значення швидкості, отримане таким способом, може істотно відрізнятись від оптимальної швидкості, що забезпечує дотримання агротехнічних вимог та інших критеріїв ефективності (енергоємність, якість виконання операцій). У випадку комбінованих агрегатів необхідно враховувати взаємозалежність вимог і застосовувати методи компромісного вибору швидкості, наприклад, багатокритеріальну оптимізацію з ваговими коефіцієнтами для кожної операції.

Приклад розрахунку середнього значення швидкості для одноопераційних машин при виконанні технологічного процесу обробітку ґрунту та посіву зернових культур може базуватись на агротехнічних допустимих межах швидкостей для кожної операції (в км/год):

- безвідвальний обробіток ґрунту – 6-12;
- внесення мінеральних добрив – 6-12;
- розпушування верхнього шару ґрунту – 6-12;
- вирівнювання поверхні поля – 6-15;
- посів насіння зернових культур – 7-14;
- нарізка поливних борозен – 6-9.

Використовуючи вираз (3.1) можна визначити середню швидкість виконання технологічного процесу:

$$\bar{V}_p^{од.м} = \frac{\frac{V_{p.1}^{min} + V_{p.1}^{max}}{2} + \frac{V_{p.2}^{min} + V_{p.2}^{max}}{2} + \dots + \frac{V_{p.n}^{min} + V_{p.n}^{max}}{2}}{n}, \text{ км/год}$$

В результаті розрахунку швидкість складе 9,25 км/год.

Отримане середнє значення швидкості є прийнятним лише для рівнозначних операцій. Другий підхід до вибору робочої швидкості враховує значимість кожної операції в технологічному процесі. При одночасному виконанні обробітку ґрунту та підготовки його до посіву зернових культур комбінованим ґрунтообробно-посівним агрегатом необхідно визначити найбільш критичну операцію та встановити швидкість, що забезпечує її оптимальну якість.

У цьому випадку на якість процесу впливають не лише швидкість руху МТА, а й скорочення міжопераційного часу та сукупний ефект робочих органів на ґрунт. Практика показує, що зменшення міжопераційного часу знижує втрати вологи, а комбінований вплив робочих органів підвищує ступінь кришення ґрунту. Оптимальна швидкість руху агрегату при цьому може бути нижчою за середню швидкість одноопераційних машин, оскільки вона обмежується найбільш значущою операцією.

Незначне зниження швидкості хоч і зменшує продуктивність агрегату, але забезпечує високу ефективність технології за рахунок скорочення загального часу виконання процесу та економії енергетичних і трудових ресурсів. У посушливих умовах, коли вологість ґрунту становить 12–14%, його обробка ускладнюється, що потребує застосування активних робочих органів, наприклад фрезерних. Згідно з агротехнічними вимогами, робочі швидкості фрезерних ґрунтообробних машин становлять 4–6 км/год. При одночасному виконанні шести операцій найбільш значущими є ступінь кришення ґрунту та якість посіву, причому ключовим фактором стає розпушування ґрунту, яке визначає якість усього процесу. Таким чином, швидкість руху комбінованого агрегату обмежується допустимими швидкостями роботи ґрунтової фрези.

Математичну залежність межі допустимих швидкостей виконання - технологічного процесу, що складається з декількох технологічних операцій, що одночасно виконуються комбінованим ґрунтообробно-посівним агрегатом, можна представити в якості функції багатьох операцій та ступеня їх значущості:

$$V_p^D = \frac{\sum_i^n V_p^{D,i} K_3^i}{n} \quad (3.2)$$

де V_p^D - межа допустимих робочих швидкостей виконання технологічного - процесу, що складається з декількох технологічних операцій, що одночасно виконуються комбінованим ґрунтообробно-посівним агрегатом; n - кількість технологічних операцій на технологічному процесі; $V_p^{D,i}$ - агротехнічно допустима межа швидкості i -ї технологічної операції процесу; K_3^i - коефіцієнт значимості i -ї технологічної операції.

Коефіцієнт значущості K_3^i технологічних операцій залежить від факторів, що впливають на його значення (рис. 3.3).

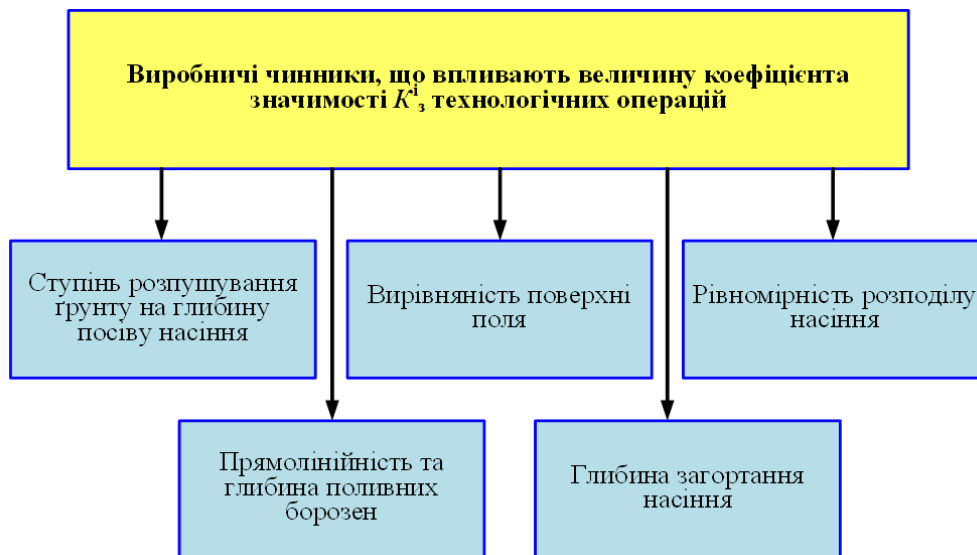


Рис. 3.3 - Схема визначення найбільш значимих технологічних операцій виробничого процесу (з прикладу одночасного обробітку ґрунту та посіву зернових культур)

З рис. 3.3 випливає, що коефіцієнт значущості K_3^i технологічної операції залежить від 5 основних факторів. З урахуванням цього, значення коефіцієнта K_3^i можна визначити за формулою:

$$K_3^i = \frac{B_{ст}^{рихл} + B_{вир}^{поля} + B_{рівн}^{нас} + B_{пр.гл}^{бор} + B_{глиб.зар}^{нас}}{5} \quad (3.3)$$

де $B_{ст}^{рихл}$ - кількість оціночних балів, одержаних за показник ступеня розпушування ґрунту на глибину посіву насіння;

$B_{вир}^{поля}$ - кількість оціночних балів, отриманих за показник вирівняності

поверхні поля;

$B_{\text{рівн}}^{\text{нас}}$ - кількість оціночних балів, отриманих за показник рівномірності - розподілу насіння;

$B_{\text{пр.гл}}^{\text{бор}}$ - кількість оціночних балів, отриманих за показник прямолінійності та глибини поливних борозен;

$B_{\text{глиб.зар}}^{\text{нас}}$ - кількість оціночних балів, одержаних за показник глибини закладення насіння.

Відповідно до Правил виконання механізованих робіт та інших нормативних документів, оцінка якості роботи проводиться за трибальною системою:

- гарна якість – 3 бали;
- задовільна якість – 2 бали;
- незадовільна якість – 1 бал.

З урахуванням викладеного, а також згідно з виразом (3.3), максимальне значення коефіцієнта значимості операції дорівнює $K_3^i = 3$.

Мінімальне значення коефіцієнта значимості операції становить $K_3^i = 1$

Їх значимість за показниками якості, показаними на рис. 3.3, коефіцієнт значимості K_3^i рихлення верхнього шару ґрунту фрезерними знаряддями приймає найбільше значення, тобто $K_3^i = 3$.

Безвідвальний обробіток ґрунту здійснюється за допомогою чизельних знарядь, а також робочих органів у вигляді розпушувальних або стрічастих лап, закріплених на жорстких чи пружних стійках. Такі робочі органи забезпечують первинне розпушування ґрунту зі зниженою вологістю на задану глибину, проте ступінь кришення при цьому залишається нижчим за агротехнічні вимоги для передпосівної підготовки (менше 70–80%).

Попри це, первинне розпушування створює сприятливі умови для вторинної обробки ґрунту наступними робочими органами, зокрема фрезерними, а також для внесення добрив. Сукупне застосування трьох типів робочих органів у межах одного технологічного процесу забезпечує високий рівень

розпушування, що відповідає агротехнічним нормам і підвищує якість передпосівної підготовки. Така комбінована технологія дозволяє оптимізувати енергетичні витрати за рахунок зменшення кількості проходів і інтеграції операцій в одному агрегаті.

Значення коефіцієнта K_3^i для безвідвального обробітку ґрунту та внесення мінеральних добрив буде $K_3^i < 3$, оскільки окремо ці операції не зможуть забезпечити високий ступінь розпушування ґрунту.

Якість розпушування ґрунту є визначальним фактором для подальшого вирівнювання поверхні, якості посіву насіння та нарізки борозен. Таким чином, найбільш значущою операцією в технологічному процесі є розпушування ґрунту на глибину посіву, що виконується фрезерними робочими органами комбінованого агрегату. Ця операція накладає загальне обмеження на робочу швидкість агрегату, оскільки від неї залежить якість усього процесу.

Обґрунтування структури технології та оптимізація робочої швидкості виконання операцій є основою для вибору необхідної потужності трактора, що забезпечує ефективну роботу високопродуктивних комбінованих агрегатів. Комплексне дослідження взаємодії робочих органів, що інтенсивно діють на ґрунт зі зниженою вологістю, способів обробітку, типів технологічних процесів, виробничих факторів, конструктивних параметрів робочих органів, показників якості та швидкісних режимів дозволяє розробити агрегати, які забезпечують оптимальне поєднання енергетичної ефективності та агротехнічних вимог.

Встановлена розрахунком робоча швидкість комбінованого агрегату протягом проходу не є постійною – вона змінюється під впливом змінного опору ґрунту, складності мікрорельєфу та інших факторів. Розкид значень раціональної швидкості можна визначити лише експериментальним шляхом, використовуючи хронометражні спостереження та безпосередні вимірювання. Це дозволяє встановити допустимі межі її коливань для оптимізації енергетичних витрат і забезпечення агротехнічних вимог до якості роботи.

3.2. Вплив параметрів на засоби оптимізації

Завдання дослідження полягає в обґрунтуванні режимів роботи комбінованих ґрунтообробно-посівних комплексів із оцінкою їх якісного функціонування. На основі аналізу мінливості вхідних параметрів необхідно визначити допустимі межі швидкості руху агрегату, а також оціночні показники – продуктивність, витрату палива – і обґрунтувати оптимальні режими роботи за енергетичними параметрами з гарантією дотримання агротехнічних вимог до якості виконання операцій.

Дослідження мінливості вхідних параметрів потребує проведення великої кількості польових експериментів із вимірюванням контрольованих показників для отримання статистичних залежностей. Це дозволяє побудувати ймовірнісні моделі, що враховують стохастичний характер впливу факторів на продуктивність і енергоефективність агрегату.

У рамках теоретичного обґрунтування можна розглянути приклад впливу випадкового характеру тривалості окремих складових комбінованої операції посіву на змінну продуктивність агрегату. Такий підхід демонструє, що продуктивність є функцією не лише швидкості руху, але й часу виконання допоміжних операцій, які мають стохастичну природу. Це вимагає застосування методів математичної статистики та моделювання для визначення оптимальних режимів роботи.

За хронометражними спостереженнями посівної операції комбінованим агрегатом КГПМ-1,8 при посіві пшениці найбільш мінливими виявилися такі параметри як витрати часу (t_1) на повороти, пов'язані з необхідністю очищення робочих органів, тривалість (t_2) технологічних зупинок для технологічних зупинок (t_3) на проведення ранкового техобслуговування, переїзду до поля та обідньої перерви. Витрати часу t_1 змінювалися в межах від 0,5 до 2,6 хвилин, t_2 – від 3,6 до 9 хвилин, t_3 – від 11 до 36 хвилин. Фактична тривалість зміни (T) змінювалася від 8 годин 40 хвилин до 9 годин 50 хвилин. Середні значення цих витрат часу можна прийняти за математичні очікування випадкової величини. Виражаючи їх у годиннику, маємо: $M_{t_1} = 0,026$ год; $M_{t_2} = 0,096$ год; $M_{t_3} = 0,376$ год; $M_T = 9,132$ год.).

Середні квадратичні відхилення цих витрат часу можуть бути визначені із співвідношення

$$\sigma_{t.i}^{\square} = \frac{t_{i.max}^{\square} - t_{i.min}^{\square}}{6} \quad (3.4)$$

де $t_{i.max}^{\square}, t_{i.min}^{\square}$ - максимальне та мінімальне значення випадкової величини.

$$\sigma_{t.1}^{\square} = 0,007 \text{ год}; \sigma_{t.2}^{\square} = 0,014 \text{ год}; \sigma_{t.3}^{\square} = 0,070 \text{ год}; \sigma_{t.4}^{\square} = 0,182 \text{ год.}$$

Визначимо числові характеристики випадкової величини-змінної виробки агрегату, що обчислюється за виразом (3.16). Оскільки ця величина залежить від робочої швидкості, її числові характеристики будуть змінюватися за кожного фіксованого значення швидкості. Тоді, відповідно до теорем про складання і множення математичних очікувань некорельованих випадкових величин, математичне очікування змінного виробітку виражається залежністю, аналогічною формулою (3.16):

$$M_{W.cm} = \frac{BVL_1(M_T - M_{t.3})}{L_1 + M_{t.2}V + M_{t.1}\frac{VL_1}{L}} \quad (3.5)$$

Для прийнятих вихідних даних ця залежність графічно виглядає також висхідною кривою (рис. 3.4).

Дисперсія лінійної функції кількох некорельованих випадкових величин

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i X_i + b, \quad (3.6)$$

де a_i, b - не випадкові величини, що виражається формулою

$$D_y = D[\sum_{i=1}^n a_i X_i + b] = \sum_{i=1}^n a_i^2 D[X_i], \quad (3.7)$$

Щоб визначити дисперсію або середнє квадратичне відхилення змінної виробітку (вираз (3.16)), представимо цей вираз у вигляді частки від поділу випадкової величини X на випадкову величину Y :

$$W_{cm} = \frac{X}{Y}, \quad (3.8)$$

Математичні очікування обох випадкових величин дорівнюють:

$$M_X = BVL_1(M_T - M_{t.3}); \quad (3.9)$$

$$M_Y = L_1 + \frac{VL_1}{L}M_{t.1} + M_{t.2}V, \quad (3.10)$$

а їх дисперсії

$$D_X = (BVL)^2(D_T - D_{t.3}); \quad (3.11)$$

$$D_Y = \left(\frac{VL_1}{L}\right)^2 D_{t.1} + D_{t.2}V^2, \quad (3.12)$$

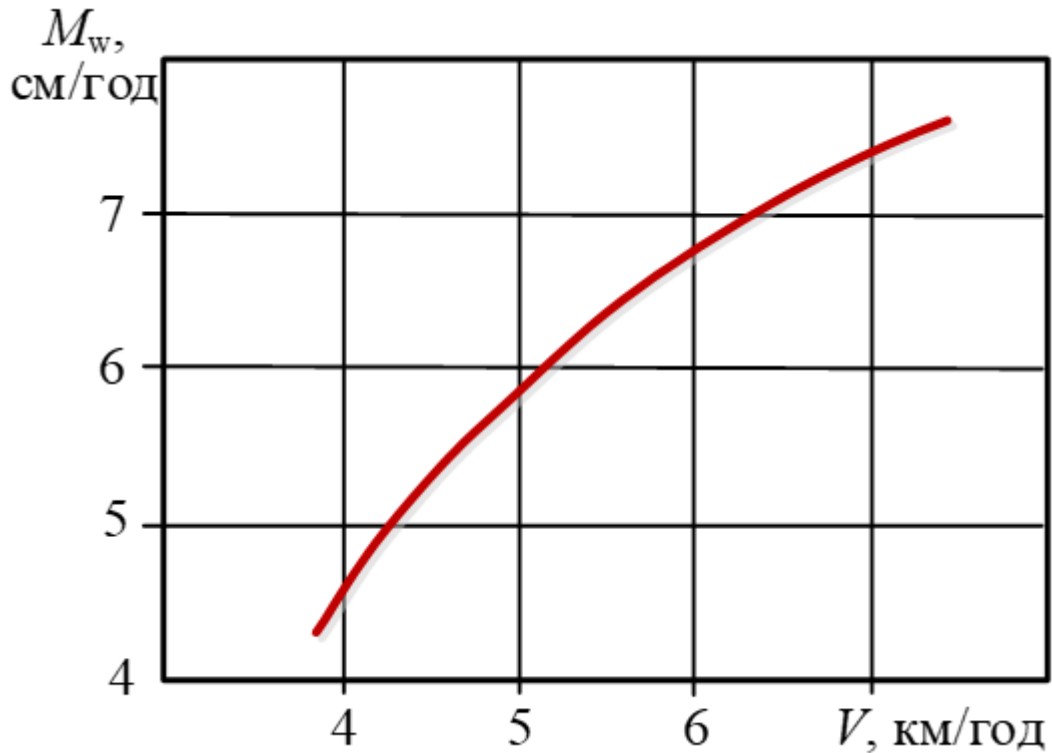


Рис. 3.4 - Математичне очікування змінного вироблення функції від робочої швидкості

Дисперсію частки від розподілу двох незалежних випадкових величин можна визначити, користуючись правилом «трьох сігма»: для нормально розподіленої випадкової величини розсіювання (з точністю до частки відсотка) укладається на ділянці $M \pm 3\sigma$. Тоді діапазони можливих значень величин X і Y укладаються в межах

$$X_{min} = M_X - 3BVL\sqrt{D_T - D_{t.3}}; \quad (3.13)$$

$$X_{max} = M_X + 3BVL\sqrt{D_T - D_{t.3}} \quad (3.14)$$

$$Y_{min} = M_Y - 3V\sqrt{\left(\frac{L_1}{L}\right)^2 D_{t.1} + D_{t.2}}; \quad (3.15)$$

$$Y_{max} = M_Y + 3V\sqrt{\left(\frac{L_1}{L}\right)^2 D_{t.1} + D_{t.2}} \quad (3.16)$$

Максимальне значення змінної виробітку агрегату вийде при $X=X_{max}$ і $Y=Y_{min}$, а мінімальне - при $X=X_{min}$ і $Y=Y_{max}$. Тоді середнє квадратичне відхилення цього показника можна обчислити за виразом

$$\sigma_{W.cm}^{\square} = \frac{1}{6} \left(\frac{M_X + 3BVL\sqrt{D_T - D_{t.3}}}{M_Y - 3V\sqrt{\left(\frac{L_1}{L}\right)^2 D_{t.1} + D_{t.2}}} - \frac{M_X - 3BVL\sqrt{D_T - D_{t.3}}}{M_Y + 3V\sqrt{\left(\frac{L_1}{L}\right)^2 D_{t.1} + D_{t.2}}} \right)$$

Цей вираз можна подати більш коротким записом:

$$\sigma_{W.cm}^{\square} = \frac{\sigma_Y M_X + \sigma_X M_Y}{(M_Y)^2 - 9(\sigma_Y)^2} \quad (3.17)$$

Невизначеність середнього виробітку зростає в міру підвищення робочої швидкості агрегату (рис. 3.5). На графіку залежності (3.17) смуга можливих значень функції в межах $M_{W.cm}^{\square} \pm 3\sigma_{W.cm}^{\square}$ розширюється зі збільшенням аргументу. Видозмінюються і щільності ймовірності змінної виробітку під впливом зростаючого розкиду значень цієї випадкової величини (рис. 3.6).

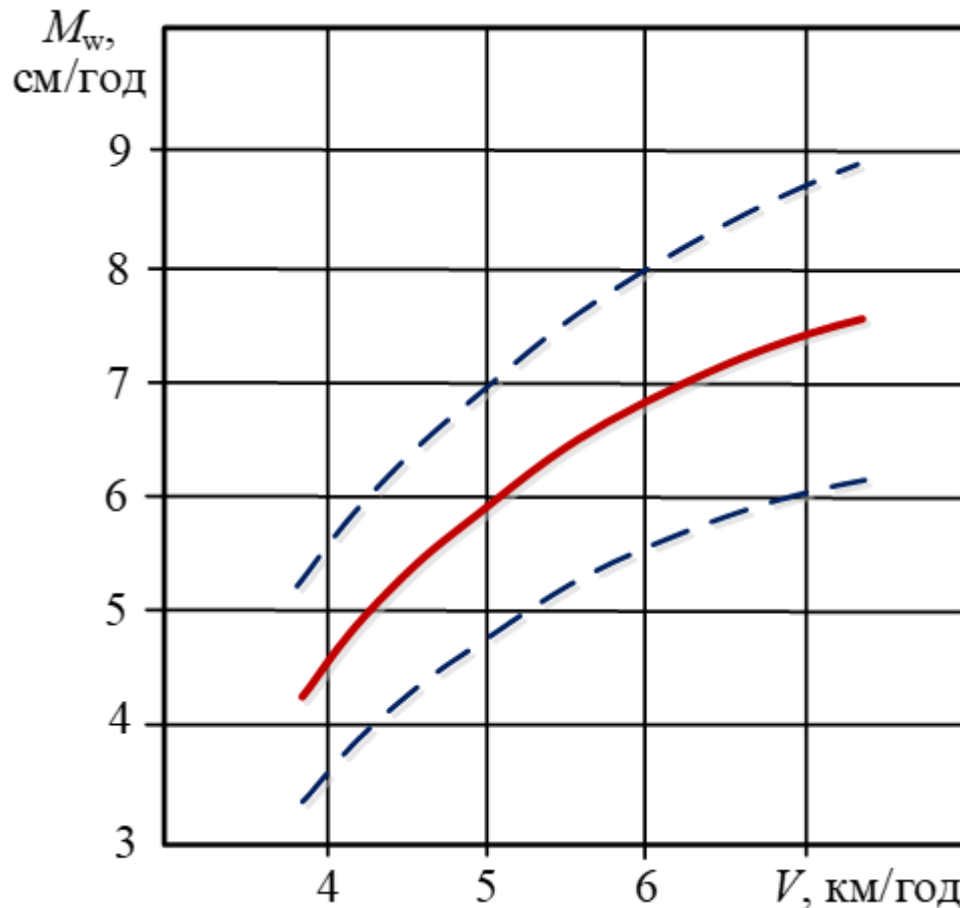


Рис. 3.5 - Змінне вироблення агрегату з урахуванням середнього квадратичного відхилення функції від робочої швидкості

Якщо при робочій швидкості 4 км/год математичне очікування змінного виробітку дорівнює $M_{W.cm}^{\square} = 4,85$ га, середнє квадратичне відхилення $\sigma_{W.cm}^{\square} = 0,32$

га і коефіцієнт варіації $V_{W.cm}^{\square} = 0,064$, то при швидкості 7 км/год ці показники відповідно дорівнюють 7,38 га, 0,56 га та 0,076.

Висновки

1. Вибір раціональної робочої швидкості комбінованого агрегату, що виконує кілька польових операцій одночасно, здійснюється розрахунковим шляхом на основі агротехнічних допустимих швидкостей для кожної операції з урахуванням коефіцієнта значущості операції в комбінованому технологічному процесі. Такий підхід дозволяє забезпечити компроміс між якістю виконання найбільш критичних операцій (наприклад, розпушування ґрунту) та загальною продуктивністю агрегату.

2. Зі збільшенням робочої швидкості агрегату коефіцієнт використання часу змінюється через зростання частки непродуктивних зупинок і технологічних пауз. Це призводить до того, що змінна виробітку та годинна продуктивність агрегату відхиляються від лінійної залежності від швидкості у бік зменшення. Непродуктивні зупинки агрегату, обумовлені технологічними та організаційними причинами, є випадковими величинами. Їх математичні очікування та середні квадратичні відхилення негативно впливають на контрольований параметр – змінну продуктивність агрегату, що є ключовим показником якісного виконання комбінованої операції.

Таким чином, оптимізація швидкісного режиму повинна враховувати не лише агротехнічні вимоги, але й стохастичний характер непродуктивних простоїв, що потребує застосування методів ймовірнісного моделювання та статистичного аналізу для визначення допустимих меж швидкості та прогнозування продуктивності.

4. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОМБІНОВАНИХ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ

4.1. Програма експериментальних досліджень

Складена програма дала можливість чітко вирішити намічені завдання, що включала наступні елементи дослідження:

- визначення умов випробувань та критеріїв оцінки ефективності роботи комбінованих ґрунтообробно-посівних машин КГПМ-1,8 та КГПМ-2,4 в агрегаті з тракторами класу 1,4;

- проведення польових дослідів з метою визначення експлуатаційних показників комбінованих ґрунтообробно-посівних машин КГПМ-1,8 та КГПМ-2,4 в агрегаті з тракторами класу 1,4;

- облік припливу та витрати енергії на технологію виробництва сільськогосподарської продукції на посівах у встановлених умовах.

Загальний вид об'єктів досліджень показано на рис. 4.1-4.5.

На рис. 4.6 показаний агрофон до та після функціонування комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату трактора кл. 1,4 та машини КГПМ-1,8 .



Рис. 4.1. Ґрунтообробно-посівний агрегат (КГПМ-1,8)



Рис. 4.3. Ґрунтообробно-посівний агрегат (КППМ-2,4)

4.2. Обладнання для експериментальних досліджень

При експлуатаційно-технологічній оцінці роботи ґрунтообробно-посівних агрегатів трактора кл. 1,4 та машини КППМ-1,8 та трактора кл. 1,4 та машини КППМ-2,4 застосовувалися наступні прилади:

- вимірювання витрати палива двигуна проводилося двопоршневим - витратоміром палива;
- лінійно-кутові параметри вимірювалися штангенциркулем з похибкою вимірювань до 0,05 мм, інструментальною лінійкою з похибкою до 0,5 мм;
- вимірювання та облік часу проводилися секундоміром;
- мікрорельєф поля вимірювався комплектом лінійок;
- вологість ґрунту визначалася ваговим методом із застосуванням електронних ваг та сушильної шафи;
- твердість ґрунту визначалася твердоміром Рев'якіна та пенетрометром.
- кришення ґрунту (ступінь розпушування) визначалося ваговим методом із застосуванням ваг;
- для вимірювання ширини захоплення агрегату використовували

рулетку;

- габаритні розміри МТА визначалися за допомогою металевої рулетки;
- для визначення маси технічних засобів використовували ваги.

Для вимірювання тягового зусилля застосовували метод буксирування трактором з тензометричною тяговою ланкою. Крутний момент двигуна вимірювався методом тензометрування на первинному валу коробки.

На рис. 4.7 показано загальний вигляд витратоміра палива, встановлений у системі живлення двигуна трактора.

До початку експериментів і після їх завершення були проведені тарування вимірювальної апаратури. Вимірювання енергетичних параметрів та агротехнічних показників роботи агрегатів, їх обробка та оцінка проводилися за відомими методиками. У лабораторних умовах було проведено тарування витратоміру палива (рис. 4.8).

Під час проведення експериментальних досліджень визначалися та оцінювалися агротехнологічні показники якості технологічного процесу. Вимірювалися кількісні значення глибини обробітку ґрунту, профілю поверхні поля, гребенистості поверхні, ступеня розпушування (кришення) ґрунту, глибини загортання насіння тощо.



Рис. 4.7- Витратомір палива, встановлений у системі живлення двигуна трактора



Рис. 4.8 - Тарування витратоміра палива марки

Рис. 4.9 та 4.10 відображають процес та монтаж витратоміра палива на трактор.



Рис. 4.10 - Монтаж витратоміра палива

Рис. 4.11 та 4.12 представляють процес вимірювання глибини борозни після проведення технологічного процесу.



Рис. 4.12 - Вимірювання глибини поливної борозни

4.3. Енергетична та технологічна оцінка роботи комбінованих агрегатів

Експлуатаційно-технологічна оцінка роботи комбінованих ґрунтообробно-посівних машин КГПМ-1,8 та КГПМ-2,4 в агрегаті з трактором кл. 1,4 проводилася відповідно до експлуатаційно-технологічної методики та типової операційної технології механізованих робіт.

Загальна схема вимірюваних параметрів та показників роботи об'єктів досліджень, що визначаються у процесі їх експериментальних досліджень, показано на рис. 4.13.

Під час проведення експериментальних досліджень реєструвалися такі показники:

- кількість витраченого двигуном палива;
- маса насіння;
- маса мінеральних добрив;
- обсяг роботи, що виконується ґрунтообробно-посівним агрегатом за зміну;
- час роботи МТА;

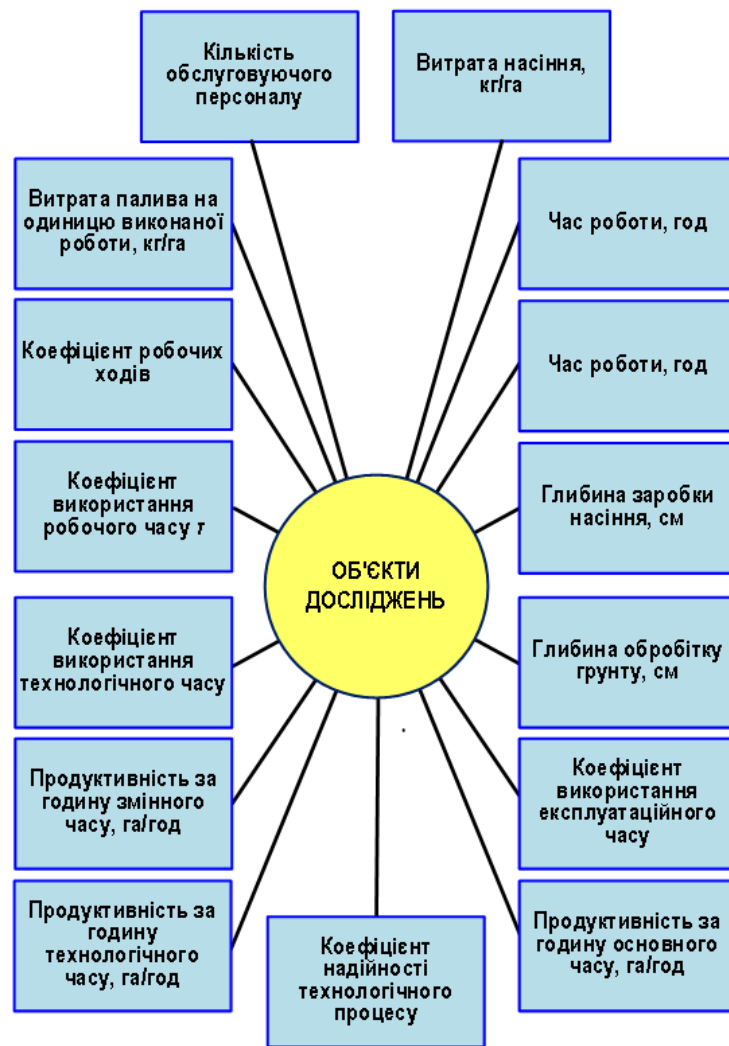


Рис. 4.13 - Перелік параметрів та показників роботи МТА, значення яких визначаються в ході експерименту

- час, витрачений на повороти, переїзди агрегатів із ділянки на ділянку тощо;
- витрати часу на відпочинок та особисті потреби основного та допоміжного персоналу.

Відповідно до правил виробництва механізованих польових робіт, проводилися вимірювання та контроль якості функціонування ґрунтообробно-посівних агрегатів з трактором кл. 1.4 та с.г. машин КГПМ-1,8 та КГПМ-2,4 .

5. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ КОМБІНОВАНИХ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ

5.1. Комбінована машина КГПМ-1,8

Недоліки існуючого комбінованого агрегату КГПМ-1,8:

Надмірні габаритні розміри по довжині, що на відносно невеликих полях фермерських господарств Півдня України (Одещина) ускладнюють якісне виконання технологічних процесів. Особливо на розворотах залишаються значні необроблені ділянки (огріхи), що знижує ефективність використання агрегату.

Висів мінеральних добрив та насіння зернових культур на одному рівні зерною сівалкою, що суперечить агротехнічним вимогам, оскільки оптимальна глибина для добрив і насіння різна.

Відсутність пристрою для нарізування поливних борозен, що є критично важливим для зрошуваних зон.

Немає необхідності в ущільненні ґрунту котками після посіву для ґрунтово-рельєфних та кліматичних умов Одеської області, але конструкція агрегату не враховує цю особливість.

На рис. 5.1 представлено загальну схему КГПМ-1,8 .

Комбінована ґрунтообробно-посівна машина КГПМ-1,8 призначена для суцільного обробітку ґрунту та посіву зернових культур. Конструкція агрегату включає кілька послідовно змонтованих вузлів на одній рамі: Рама з навісним механізмом (1); Культиватор з робочими органами (2, 3) для поверхневого обробітку ґрунту та внесення добрив (у два ряди); Ґрунтообробна фреза (4); Вирівнювач ґрунту (5); Бороздорізи (7) перед сім'япроводами для формування борозен; Насінневий ящик (8) з висівними апаратами та сім'япроводами; Туковий ящик (9) з висівними апаратами та тукопроводами; Трансмісія, що складається з кінцевого редуктора (10), ланцюгової передачі (11), проміжних карданних валів (12, 13) від ВВП трактора; Опорно-привідне колесо (14) з механізмами регулювання глибини обробітку та передачі руху висівним апаратам.

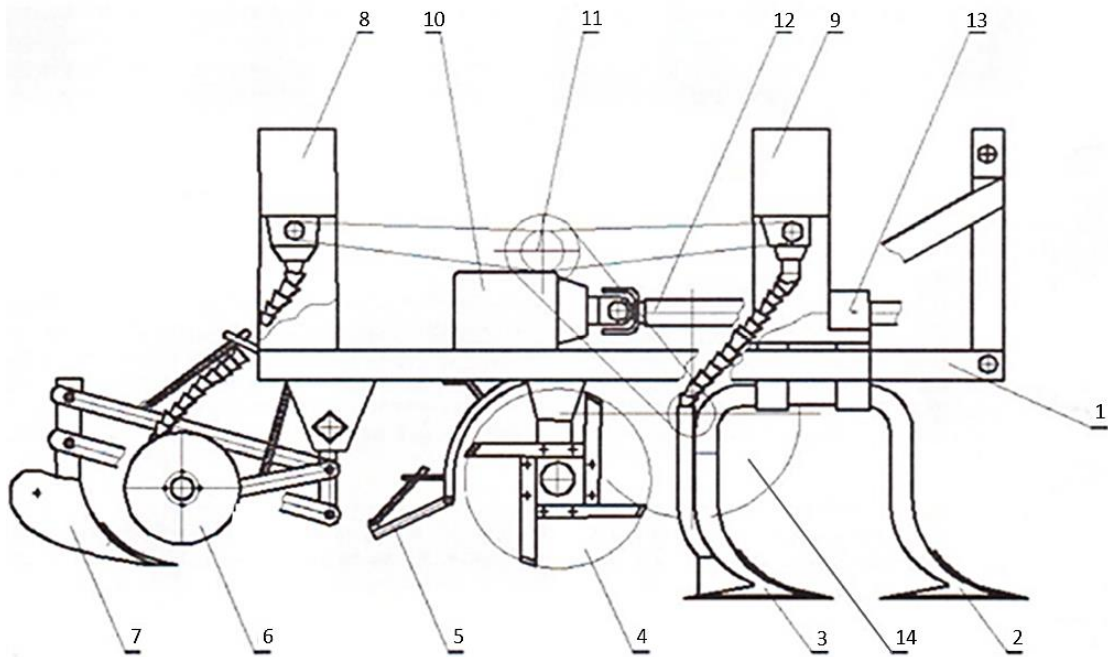


Рис. 5.1 - Принципова схема комбінованої ґрунтообробної посівної машини КГПМ-1,8

Комбінована ґрунтообробно-посівна машина КГПМ-1,8 функціонує наступним чином. Агрегат навішується на трактор за допомогою навісного механізму (1). Під час руху агрегату поверхня ґрунту піддається первинному обробітці стрілочастими робочими органами (2, 3), які забезпечують розпушування та внесення мінеральних добрив на глибину до 20 см. Утворені грудки надалі потрапляють під дію робочих органів ґрунтообробної фрези (4), що здійснює вторинне розпушування на глибину до 15 см, забезпечуючи високий ступінь кришення ґрунту.

Привід фрези реалізується через проміжний карданний вал (12), конічний редуктор (10) та редуктор фрези, що отримує потужність від ВВП трактора. Вирівнювач ґрунту (5) розрівнює поверхню по всій ширині захвату агрегату, створюючи оптимальні умови для посіву. Опорно-привідне колесо (14) через ланцюгову передачу (13) передає обертання висівним апаратам насінневого ящика (8) та тукового ящика (9), а також виконує функцію регулювання глибини обробітці ґрунту, закладення насіння та добрив.

Ключовою перевагою КГПМ-1,8 є інтеграція кількох технологічних

операцій в одному робочому проході: суцільний обробіток ґрунту з внесенням добрив, фрезерування та вирівнювання поверхні, посів зернових культур і нарізка борозен для поливу. Це забезпечує високу технологічну ефективність, скорочення міжопераційного часу, зниження енергетичних витрат та підвищення якості виконання процесу. Конструкція агрегату характеризується відносно компактними габаритами, що покращує маневреність і робить його придатним для умов невеликих полів фермерських господарств Півдня України.

5.2. Комбінована машина КГПМ-2,4

Відомий ряд комбінованих машин для поверхневого обробітку ґрунту та посіву зернових культур має низку конструктивних обмежень:

Висівні апарати призначені лише для насіння зернових та овочевих культур, що знижує універсальність агрегату;

Сошнікова група забезпечує виключно рядковий посів, що не відповідає вимогам для просапних культур;

В конструкції машин відсутній механізм для внесення гербіцидів на поверхню поля, що ускладнює боротьбу з бур'янами.

Для усунення зазначених недоліків розроблено комбіновану ґрунтообробно-посівну машину КГПМ-2,4, призначену для просапних культур. На одній навісній рамі агрегату встановлено: робочі органи культиватора для суцільного обробітку ґрунту з внесенням мінеральних добрив; ґрунтообробну фрезу для інтенсивного розпушування; вирівнювач ґрунту з пружинним механізмом регулювання притискного зусилля; сошникову групу для посіву насіння просапних культур; механізми для обприскування гербіцидами поверхні поля; борознорізи для нарізки поливних борозен.

Загальна схема КГПМ-2,4 (рис. 5.2) включає: Раму з навісним механізмом (1); Опорно-привідні колеса (3) з механізмами регулювання глибини ходу (2); Культиваторні лапи (4, 5) для поверхневого обробітку та внесення добрив (у два ряди); Ґрунтообробну фрезу (6); Вирівнювач ґрунту (7) з пружинним механізмом (8); Сошникову групу (9–13, 16) для посіву насіння; Борозноріз (14) з замком (17)

і пружинним механізмом (18) для регулювання тиску; Трубопровід (19) з наконечником (15) для внесення гербіцидів; Насінневі ємності (23) з плаваючими прапорцями (24) для контролю витрати насіння; Висівні апарати (22) та сім'япроводи (21); Тукові ємності (29) з прапорцями (30) для контролю витрати добрив; Карданний вал (26) для підключення до ВВП трактора.

Комбінована ґрунтообробно-посівна машина КГПМ-2,4 функціонує наступним чином. Під час руху агрегату поверхня ґрунту піддається первинному обробітку стрілочастими робочими органами (лапами) 4 і 5, які забезпечують розпушування та внесення мінеральних добрив на глибину до 20 см. Утворені грудки подрібнюються ґрунтообробною фрезою (6), що працює на глибину до 15 см і приводиться в дію від ВВП трактора (25). Вирівнювач (7) розрівнює поверхню ґрунту по ширині захвату машини, створюючи оптимальні умови для посіву.

Опорно-привідне колесо (3) через ланцюгову передачу приводить у дію висівний апарат (28) насінневого ящика (29) та туковий апарат (22) тукового ящика (23), а також забезпечує регулювання глибини обробітку ґрунту, закладення насіння просапних культур і мінеральних добрив.

Ключовою перевагою КГПМ-2,4 є інтеграція кількох технологічних операцій в одному проході агрегату: суцільний обробіток ґрунту з внесенням мінеральних добрив; посів насіння просапних культур; внесення гербіцидів; нарізка поливних борозен.

Мінеральні добрива вносяться передніми робочими органами нижче рівня роботи ґрунтообробної фрези та розташування насіння, що покращує їх засвоюваність рослинами. Конструкція машини належить до типу навісних агрегатів, має відносно компактні габарити, що забезпечує високу маневреність, підвищує якість та ефективність обробітку просапних культур і знижує енергетичні витрати за рахунок скорочення кількості проходів.

Мінеральні добрива вносяться смугами, розташованими під осьовими лініями рядів насіння. На рис. 5.3 представлений загальний вигляд комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату з використанням КГПМ-1,8 під час роботи

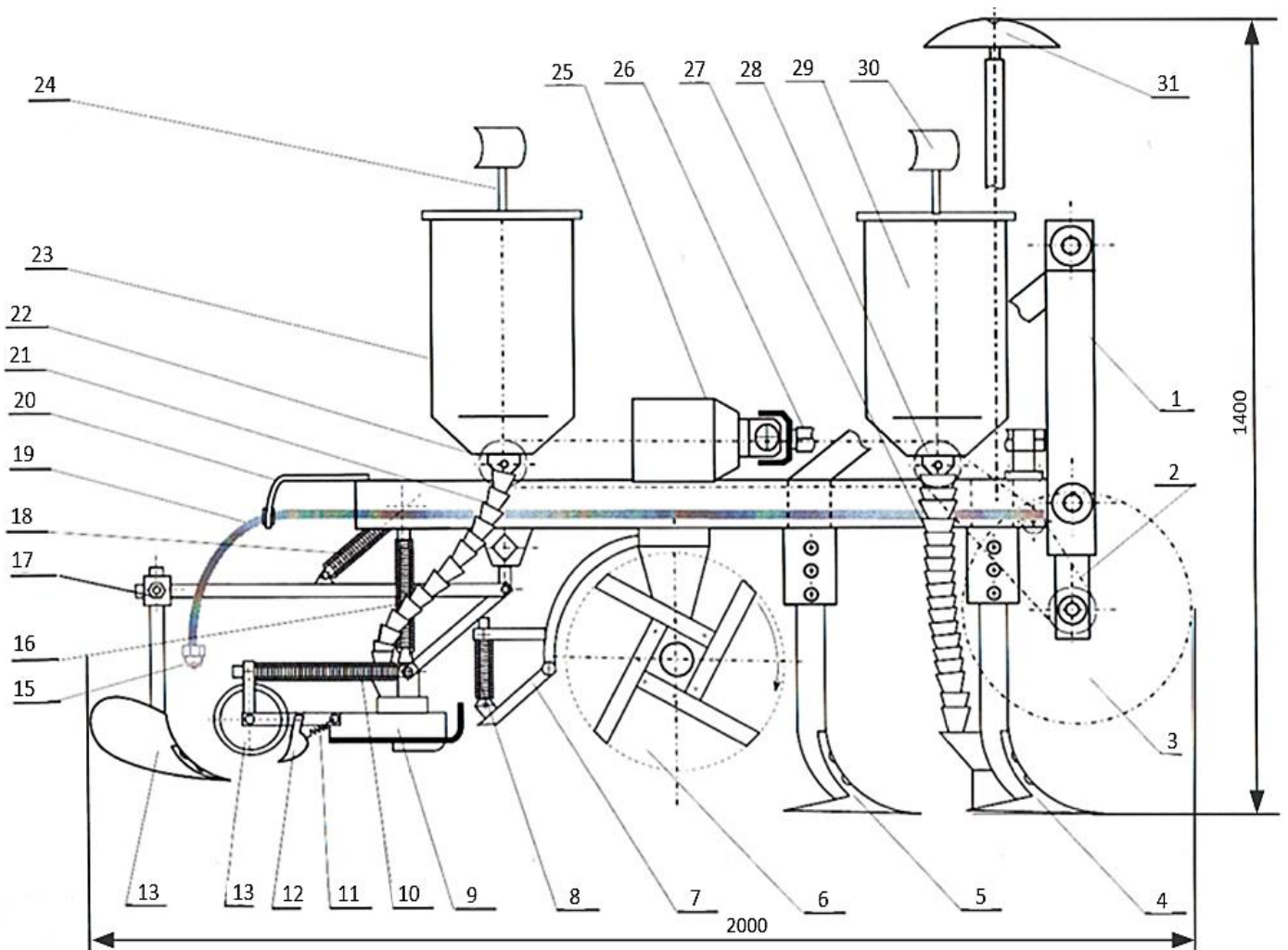


Рис. 5.2 – Схема КГПМ-2,4

Загальний вигляд комбінованої ґрунтообробної посівної машини КГПМ-2,4 в агрегаті з трактором кл. 1.4 показаний на рис.



Рис. 5.3 - Комбінований ґрунтообробно-посівний агрегат ЮМЗ-8244+КГПМ-1,8 у процесі експлуатації



Рис. 5.4 - Комбінована ґрунтообробна посівна машина КГПМ-2,4 в агрегаті з трактором кл. 1.4

5.3. Агротехнічні вимоги якості роботи досліджуваних машин

До технологічних операцій висуваються встановлені агротехнічні вимоги, що визначають нормативи якості виконання механізованих польових робіт. Ці вимоги виражаються у вигляді агротехнологічних показників, які є критеріями оцінки точності та ефективності процесу.

Перевірочний контроль якості технологічного процесу здійснюється як у ході його виконання, так і після завершення. Оцінка якості роботи машинно-тракторного агрегату (МТА) проводиться із застосуванням спеціалізованих інструментів та пристроїв. Результати вимірювань параметрів і показників заносяться до облікового листа виконавця. У випадку виявлення недоброякісного виконання операції вона бракується та підлягає повторній обробці.

При оцінці показників якості технологічних операцій важливе значення мають не лише методи та засоби контролю, але й кількість вимірювань та їх повторність для забезпечення достовірності результатів. Кожна технологічна операція характеризується комплексом показників, що відображають різні параметри процесу (глибина обробітку, рівність поверхні, точність висіву тощо).

Встановлення технологічних допусків (агротехнічних нормативів) та оцінка якості роботи МТА базуються на ймовірнісно-статистичних

характеристиках показників їх роботи та процесів, що виконуються. Це передбачає використання методів математичної статистики для визначення середніх значень, дисперсій, коефіцієнтів варіації та побудови довірчих інтервалів, що гарантують відповідність технологічних параметрів нормативам. До цих характеристик відносяться середнє значення агротехнологічних показників \bar{X} , дисперсія $D(X)$ або середньоквадратичне відхилення σ_x , коефіцієнт варіації v_x , або ступінь нерівномірності δ_x . У процесі функціонування МТА показники якості технологічних процесів коливаються шляхом і часом, змінюючись за випадковими законами. У цьому випадку додатково розглядають параметри кореляційних функцій $R_x(t)$ та спектральних щільностей $S_x(\omega)$ досліджуваних показників.

У виробничих умовах для оцінки якості технологічних операцій переважно застосовується бальна система, яка дозволяє визначати рівень виконання процесу за середнім балом, сумою балів, з урахуванням або без урахування «вагомості» окремих показників. Такий підхід забезпечує комплексну оцінку якості роботи агрегату, враховуючи значимість кожного параметра (глибина обробітку, точність висіву, рівність поверхні тощо).

За результатами середніх оцінок, використання комбінованих та багатоопераційних машин і агрегатів у порівнянні з одноопераційними забезпечує значні переваги: зниження витрат праці на 30–35%; зменшення витрати палива на 10–30%; зниження питомої металомісткості на 20–25%; підвищення врожайності окремих сільськогосподарських культур на 10–15%.

Спроектвані комбіновані ґрунтообробно-посівні машини КГПМ-1,8 та КГПМ-2,4 належать до класу багатоопераційних агрегатів, що дозволяє інтегрувати кілька технологічних операцій в одному проході, забезпечуючи високу енергетичну та економічну ефективність виробництва.

Комбінована ґрунтообробно-посівна машина КГПМ-1,8 за один прохід виконує 6 технологічних операцій:

- безвідвальну обробку ґрунту стрілочастими лапами,
- внесення мінеральних добрив на глибину до 20 см,

- поверхневу обробку ґрунту фрезою,
- вирівнювання поверхні ґрунту,
- посів насіння,
- нарізування поливних борозен.

Комбінована ґрунтообробно-посівна машина КГПМ-2,4 за один прохід виконує 7 технологічних операцій:

- безвідвальне обробіток ґрунту стрілочастими лапами,
- внесення мінеральних добрив на глибину до 20 см,
- поверхневу обробку ґрунту фрезою,
- вирівнювання поверхні ґрунту,
- посів насіння,
- нарізку поливних борозен,
- внесення гербіцидів на поверхню поля.

У правилах виконання механізованих робіт та інших джерелах для кожної технологічної операції пред'являються відповідні агротехнічні вимоги, які наводимо нижче.

Безвідвальний обробіток ґрунту

До безвідвального обробітку ґрунту висуваються такі агротехнічні вимоги:

Робоча швидкість агрегатів: допустимий діапазон 7–12 км/год, що забезпечує стабільність ходу робочих органів та якість розпушування.

Збереження стерні: не менше 90% за один прохід при глибині обробітку до 16 см і не менше 80% при глибині до 30 см.

Точність глибини розпушування: відхилення від заданої глибини допускається в межах ± 1 см при обробці до 16 см і ± 2 см при глибині до 30 см.

Коливання глибини ходу робочих органів: не більше 3–4 см при глибині до 16 см і 4–5 см при глибині до 30 см.

Стан поверхні поля: після обробітку не допускаються глибокі роз'ємні борозни та високі гребені. На стиках проходів лап допускаються гребені висотою до 5–6 см, а борозни від стійок – шириною не більше 15–20 см.

Знищення бур'янів: коріння повинні бути повністю зрізані на глибину ходу

робочих органів; огріхи на стиках проходів не допускаються.

Обробка поворотних смуг: виконується після оранки загону у встановлені агротехнічні терміни.

Оптимальна вологість ґрунту: 16–22%, що забезпечує стійкість робочих органів по глибині та ширині захвату, мінімальне розпилення ґрунту та відсутність дрібних фракцій, схильних до дефляції.

Дотримання цих нормативів гарантує високу якість безвідвального обробітку, збереження структури ґрунту, оптимальні умови для наступних технологічних операцій та зниження ризику ерозійних процесів.

Внесення мінеральних добрив

Допустимий діапазон швидкостей руху агрегатів при внесенні добрив – 12-18 км/год.

Вологість підготовлених до внесення добрив, залежно від їх виду, повинна бути в межах 2-15 %. Діаметр гранул при подрібненні – не більше 5 мм.

Нерівномірність висіву добрив для тукових сівалок – не більше $\pm 15\%$, для розкидачів – не більше $\pm 25\%$. Відхилення середньої фактичної дози внесення – не більше $\pm 10\%$.

Перекрыття в стикових проходах повинні бути не більше 5 % від ширини захоплення МТА.

Необроблені поворотні лінії не допускаються. Час між розкиданням та закладенням добрив – не більше 12 год.

Посів

Робоча швидкість посівних агрегатів є критичним фактором енергетичної оптимізації та забезпечення рівномірності висіву. Для зернових сівалок допустима швидкість становить до 12 км/год, тоді як для сівалок-культиваторів – не більше 8 км/год, що обумовлено конструктивними особливостями робочих органів та вимогами до точності загортання насіння.

Посів необхідно здійснювати в оптимальні агротехнічні терміни, визначені на основі ґрунтово-кліматичних параметрів та біологічних особливостей культури. Норма висіву повинна відповідати встановленим стандартам з

допустимим відхиленням не більше ± 3 % (для трав – до 4 %). Ключовим є забезпечення рівномірного розподілу насіння по площі та в рядках, при цьому середня нерівномірність не повинна перевищувати 4 %. Допустиме коливання норми висіву кожним апаратом – до 2 % від середнього значення.

Глибина загортання насіння має бути стабільною, з відхиленням не більше ± 1 см, що гарантує оптимальні умови проростання. Забороняється залишення незаробленого насіння, оскільки це призводить до порушення густоти стояння рослин та зниження продуктивності агроценозу.

Відхилення міжрядь між сошниками не повинні перевищувати 1 см, стикових міжрядь суміжних агрегатів – 2 см, а між проходами – 5 см. Недопустимі огріхи, спричинені забиванням сошників, сім'япроводів або перекриттям робочих зон. Поворотні смуги засіваються з тією ж нормою висіву, а поверхня поля повинна залишатися рівною, без ущільнення чи гребенистості.

Дотримання зазначених параметрів залежить від точного регулювання посівних агрегатів, вибору оптимального режиму роботи та систематичного контролю технічного стану машин. Для інтенсивних технологій передбачено спеціальну підготовку агрегатів із формуванням технологічних колій, що забезпечує раціоналізацію руху енергетичних засобів та зниження питомих енерговитрат.

Посівні комплекси доцільно комплектувати маркерами, а для вирівнювання поверхні ґрунту – легкими боронами або волокушами. У посушливих умовах для стимуляції дружних сходів застосовують котки, що оптимізує капілярний підйом вологи. Перед початком робіт проводиться ретельний огляд та регулювання сівалки на спеціальних майданчиках: встановлюється єдина норма висіву для всіх котушкових апаратів, глибина загортання та загальна норма висіву.

Для зниження негативного впливу ущільнення ґрунту слідами коліс мобільних енергетичних засобів застосовують легкі борони або лапи культиватора. Вал висівних апаратів при закріпленому важелі регулятора повинен зберігати стабільність положення, що є умовою точності дозування.

Рекомендовано використовувати протруєне насіння першого класу зі схожістю не менше 80 %. Маса 1000 зерен має відповідати нормативам: для

озимої та твердої ярої пшениці, ячменю – не менше 40 г, для м'якої ярої пшениці – 35–40 г, для вівса – не менше 35 г. Одночасно з посівом доцільно вносити мінеральні добрива, що підвищує ефективність використання техніки та скорочує енергетичні витрати на окремі операції. Інтервал між підготовкою ґрунту та посівом не повинен перевищувати 24 години, що мінімізує втрати вологи та забезпечує оптимальні умови для проростання. В основному, показники, що визначають якість технологічного процесу зернових культур, представлені в таблицях 5.1.

Таблиця 5.1

Критерії якості польових робіт

Показник	Норматив	Бал	Метод визначення
Норма висіву	Відповідає заданій	1	За фактичною витратою насіння на всю площу ділянки
	Відхиляється від заданої не >3%	2	
	Відхиляється від заданої >3%	3	
Рівномірність розподілу насіння (рослин)	Середня нерівномірність 1-2%	1	Підрахунок насіння (рослин) на 1 м ² у 10 місцях по діагоналі ділянки та розрахунок
	Середня нерівномірність не >4%	2	
	Середня нерівномірність не >4%	3	
Глибина загортання насіння	Відповідає заданій	1	20-30 вимірювань після кожної сівалки по діагоналі ділянки в 10 місцях
	Відхиляється від заданої не > ±1 см	7	
	Відхиляється від заданої >±1 см	3	
Розмір міжрядь між сошниками і стикових міжрядь	Відповідає заданій	1	Шляхом накладання рулетки по всій ширині захвату агрегату в 10 місцях по діагоналі
	Відхилення не більш допустимих	2	
	Відхилення більше допустимих	3	
Прямолінійність рядків	Рядки прямолінійні	1	Огляд поля при проході по діагоналі
	Прямолінійність рядків порушено рідко	2	
	Прямолінійність рядків порушена часто	3	
Огріхи та пересіви	Огріхів та пересівів нема	1	Огляд поля та обмір огріхів та пересівань
	Сумарна площа огріхів та пересівань не більше 0.1 % засіяної площі	2	
	Сумарна площа огріхів та пересівів більше 0.1 % засіяної площі	3	

Нарізка поливних борозен

Глибина поливних борозен має відповідати агротехнічним вимогам. По глибині поливні борозни ділять на дрібні (12-18 см), середні (18-20 см), глибокі (18-22) см. Полив по борознах застосовують на ділянках з ухилами до 0,02-0,03.

При середніх ухилах (від 0,02 до 0,05) та середньої водопроникності ґрунту борозни нарізають довжиною 60-90 м. При невеликих ухилах (до 0,02) та на легких, добре водопроникних ґрунтах борозни роблять довжиною 25-30 м.

При великих ухилах борозни роблять дрібними (до 12 см). На невеликих ухилах борозни нарізають глибиною до 20 см. На ділянках із середнім ухилом борозни нарізають глибиною 12-15 см. Відхилення глибини борозни від заданої не повинно перевищувати ± 2 см.

Внесення гербіцидів

Рівномірність розподілу гербіцидів має бути оцінена відповідно до заданої норми. Нерівномірність розподілу частинок гербіциду чи крапель рідини лежить на поверхні визначається око. Нерівномірність розподілу частинок гербіциду або крапель рідини виражається у відсотках і визначається як середнє арифметичне на поверхні.

Контроль якості роботи комбінованих машин за наведеними вище - вимогами агротехніки для одноопераційних машин було б неправильним. Комбінація кількох технологічних операцій та одночасне їх виконання однією машиною в сукупності може забезпечити результати, що відрізняються від відомих у літературі агро вимог.

У зв'язку з цим виникла необхідність розробки системи агротехнічних - вимог для оцінки якості роботи розроблених комбінованих ґрунтообробно-посівних машин КГПМ-1,8 та КГПМ-2,4. Якщо аналізувати технологічні операції, що виконуються одноопераційними машинами, якість кожної операції оцінюється певним переліком показників оцінки (таблиця 5.3).

У новій системі показників оцінки якості роботи комбінованих ґрунтообробно-посівних машин КГПМ-1,8 та КГПМ-2,4 залишилися лише найбільш значущі та доступні контролю параметри (таблиці 5.4 та 5.5).

Система показників оцінки якості роботи комбінованих ґрунтообробно-посівних машин (таблиці 5.4 і 5.5) являють собою раціональну кількість агротехнічних показників, що підлягають контролю.

Обґрунтована система технологічних показників та допустимих відхилень є ключовим інструментом інженерного контролю якості роботи комбінованих

грунтообробно-посівних машин. Вона дозволяє здійснювати оперативний моніторинг параметрів технологічного процесу, забезпечуючи стабільність режимів роботи та мінімізацію енергетичних і матеріальних витрат.

Таблиця 5.4
Система показників якості роботи комбінованого агрегату КГПМ-1,8

Показник	Відхилення	Бал	Спосіб заміру
Відхилення від заданої глибини обробки, см	Менш ± 1 ± 2 Більш ± 2	3 1 0	15-20 вимірів по діагоналі поля (двома лінійками)
Відхилення від заданої глибини закладення здохрив, см	Менш ± 1 ± 2 Більш ± 2	3 1 0	15-20 вимірів з діагоналі поля (двома лінійками)
Грудкуватість (розміри грудок), см	Не більше 3 Не більше 5 Більше 5	3 2 1	Візуально
Відхилення від норми висіву насіння, %	$\pm 1,5$ ± 2 Більш ± 2	4 2 1	У 5 місцях за довжиною висіву підрахувати кількість насіння на 1 п.м.
Відхилення від необхідної глибини закладення насіння, см	± 1 $\pm 1,5$ Більше $\pm 1,5$	3 2 1	15-20 вимірів з діагоналі поля (двома лінійками)
Відхилення ширини стикових міжрядь, см	± 5 ± 6 Більш ± 6	2 1 0	У трьох-п'яти місцях ділянки поперек напрямку посіву рулеткою 5 м
Прямолінійність борозен у межах ширини захвату машини, см	Менш 5 10 Понад 10	3 2 1	У трьох-п'яти місцях ділянки по напрямку посіву рулеткою 10 м

Таблиця 5.5
Система показників якості роботи комбінованої ґрунтообробно-посівної машини КГПМ-2,4

Показник	Відхилення	Бал	Спосіб заміру
Відхилення від заданої глибини обробки, см	Менш ± 1 ± 2 Більш ± 2	3 1 0	15-20 вимірів по діагоналі поля (двома лінійками)
Відхилення від заданої глибини загортання, см	Менш ± 1 ± 2 Більш ± 2	3 1 0	15-20 вимірів по діагоналі поля (двома лінійками)
Грудкуватість (розміри грудок), см	Не більше 3 Не більше 5 Більше 5	3 2 1	Візуально

Відхилення від норми висіву насіння, %	$\pm 1,5$	4	У 5 місцях за довжиною висіву підрахувати кількість насіння на 1 п.м.
	± 2	2	
	Більш ± 2	1	
Відхилення від необхідної глибини закладення насіння, см	± 1	3	15-20 вимірів по діагоналі поля (двома лінійками)
	$\pm 1,5$	2	
	Більше $\pm 1,5$	1	
Відхилення ширини стикових міжрядь, см	± 5	2	У трьох-п'яти місцях ділянки поперек напрямку посіву рулеткою 5 м
	± 6	1	
	Більш ± 6	0	
Прямолінійність борозен у межах ширини захвату машини, см	Менш 5	3	У трьох-п'яти місцях ділянки по напрямку посіву рулеткою 10 м
	10	2	
	Понад 10	1	
Рівномірність розподілу частинок гербіциду або крапель рідини, %	Менш 15	2	Помітити час заповнення стакана (вимірюють спеціальним мірним стаканом об'ємом 0,25 л)
	15-18	1	
	Понад 15	0	

Забезпечення високої точності виконання операцій – від підготовки ґрунту до висіву та загортання насіння – формує оптимальні агрофізичні умови для проростання та розвитку рослин, що безпосередньо впливає на інтенсивність фотосинтетичної діяльності, формування кореневої системи та продуктивність агроценозу. Це, у свою чергу, сприяє зростанню врожайності та підвищенню рентабельності виробництва.

Використання комбінованих агрегатів, які інтегрують функції розпушування, вирівнювання, висіву та внесення добрив, дозволяє знизити кількість проходів по полю, що веде до зменшення ущільнення ґрунту, скорочення витрат пального та трудових ресурсів. Такий підхід відповідає принципам енергоощадних технологій і сприяє оптимізації виробничого циклу.

5.4. Критерії ефективності технологій та досліджуваних технічних засобів

Комбінована ґрунтообробно-посівна машина КГПМ-1,8: концепція енергоощадної технології

Комбінована ґрунтообробно-посівна машина КГПМ-1,8 розроблена для реалізації інтегрованого технологічного процесу, що включає одночасне виконання кількох операцій: поверхневий обробіток ґрунту та його підготовка до посіву; внесення мінеральних добрив; висів насіння зернових культур із забезпеченням оптимальної глибини загортання.

Такий підхід відповідає принципам ресурсозбереження та інтенсифікації виробництва, оскільки дозволяє зменшити кількість проходів по полю, скоротити питомі енерговитрати та мінімізувати ущільнення ґрунту.

В умовах південної зони землеробства одним із ключових лімітуючих факторів урожайності є вологість ґрунту. Накопичення та збереження вологи в посівний період тісно пов'язані з необхідністю проведення технологічних операцій у стислі агротехнічні терміни, що вимагає високої оперативності та енергоефективності машинно-тракторних агрегатів.

Аналіз сучасних умов функціонування аграрного виробництва, зокрема дефіциту енергоресурсів у посівний період, дозволяє сформулювати основний критерій ефективності технологічного процесу $E_i \rightarrow \min$.

Мінімізація цього показника досягається шляхом: інтеграції технологічних операцій в одному агрегаті (обробіток, внесення добрив, посів); оптимізації робочих швидкостей та режимів роботи; застосування енергетично збалансованих мобільних засобів; використання системи контролю якості виконання операцій для запобігання повторним проходом.

Таблиця 5.6

Найбільш раціональне співвідношення експлуатаційних параметрів роботи МТА для мінімальної енергоємності процесу (КГПМ-1,8)

Експлуатаційні показники МТА	Позначення	Одиниця виміру
Продуктивність	$W_{\text{год}}$	га/год
ККД трактора	η_T	-
Тягова потужність трактора	$N_{\text{гак}}$	кВт
Ефективна потужність двигуна	N_e	кВт
Годинна витрата палива двигуна	G_T	кг/год
Швидкість руху агрегату	V_p	м/с
Частота обертання колінчастого валу двигуна	n_d	хв ⁻¹
Крутний момент на колінчастому валу двигуна	M_k	Нм

Для того щоб аналізувати сприйнятливість основного критерію $E_i \rightarrow \min$ до інших експлуатаційних показників ґрунтообробних посівних агрегатів, були побудовані діаграми. Аналіз цих діаграм дозволив встановити рівень чутливості критерію $E_i \rightarrow \min$ енергоємності технологічного процесу, до зміни окремо

взятого експлуатаційного параметра агрегатів.

За результатами аналізу було сформульовано збалансовану систему експлуатаційних показників МТА трактора кл. 1,4 та машини КГПМ-1,8 за критерієм мінімум $E_i \rightarrow \min$ енергоємності технологічного процесу (таблиця 5.6).

Система експлуатаційних показників ґрунтообробного посівного агрегату з КГПМ-1,8 є раціональною кількістю контрольованих експлуатаційних параметрів, які підлягають оптимізації на предмет досягнення мінімальних паливно-енергетичних витрат технологічного процесу обробітку ґрунту, внесення мінеральних добрив та посіву сільськогосподарських.

Для аналізу чутливості основного критерію - мінімуму енергоємності технологічного процесу $E_i \rightarrow \min$ до інших експлуатаційних показників роботи МТА з КГПМ-2,4 було побудовано відповідні діаграми.

Результати аналізу діаграм дав можливість встановити ступінь чутливості енергоємності технологічного процесу одночасного обробітку ґрунту, внесення мінеральних добрив та посіву сільськогосподарських культур до зміни інших експлуатаційних параметрів та показників ґрунтообробно-посівного агрегату з машиною КГПМ-2,4.

В результаті сформульовано збалансовану систему експлуатаційних показників МТА з машиною КГПМ-2,4 за критерієм мінімум $E_i \rightarrow \min$ енергоємності технологічного процесу (таблиця 5.7).

Таблиця 5.7

Найбільш раціональне співвідношення показників роботи МТА за мінімальної енергоємності процесу (КГПМ-2,4)

Експлуатаційний показник МТА	Позначення	Одиниця з - міряння
Продуктивність МТА	$W_{\text{год}}$	га/год
ККД трактора	$\eta_{\text{т}}$	-
Тягова потужність трактора	$N_{\text{гак}}$	кВт
Ефективна потужність двигуна	$N_{\text{е}}$	кВт
Годинна витрата палива двигуна	$G_{\text{т}}$	кг/год
Швидкість руху агрегату	$V_{\text{р}}$	м/с
Частота обертання колінчастого валу двигуна	$n_{\text{д}}$	хв ⁻¹
Крутний момент на колінчастому валу двигуна	$M_{\text{к}}$	Нм

6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ДОСЛІДЖЕНЬ КОМБІНОВАНИХ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ

Техніко-економічна оцінка ефективності використання комбінованих - ґрунтообробно-посівних агрегатів з машинами КГПМ-1,8 та КГПМ-2,4 визначалася порівнянням величини прямих паливно-енергетичних витрат на одиницю виконаної роботи за двома.

Розмір очікуваного річного енергетичного ефекту від застосування розробок визначається за формулою:

$$\bar{E}_Г^* = (\bar{E}_i^{TT} - \bar{E}_i^{PT}) \bar{W}_{год}^* t_p \quad (6.1)$$

де \bar{E}_i^{TT} - витрати енергії на технологічний процес за типовою технологією, МДж/га;

\bar{E}_i^{PT} - витрати енергії на технологічний процес за рекомендованою технологією, МДж / га;

$\bar{W}_{год}^*$ - оптимальне значення продуктивності агрегату, га/год;

t_p - зональне річне завантаження агрегату, год.

Типова технологія підготовки ґрунту в основних зонах землеробства України передбачає виконання послідовних операцій: оранка на глибину 25–30 см; розрівнювання звальних гребенів та розвальних борозен; передпосівна культивуація з боронуванням; посів насіння.

Ця технологія є ресурсоемною, оскільки потребує кількох проходів агрегатів, що призводить до збільшення паливно-енергетичних витрат, ущільнення ґрунту та втрати вологи.

Розроблена енергозберігаюча технологія передбачає інтеграцію технологічних операцій в одному робочому циклі за допомогою комбінованих агрегатів КГПМ-1,8 та КГПМ-2, що забезпечують: одночасний обробіток ґрунту; внесення мінеральних добрив; посів насіння; нарізку поливних борозен.

Такий підхід відповідає принципам інтенсифікації виробництва та оптимізації енерговитрат, оскільки зменшує кількість проходів по полю, скорочує час виконання робіт і знижує питомі енергетичні витрати.

Аналіз результатів розрахунків (таблиця 6.1) показує, що використання

запропонованої технології забезпечує: зниження прямих паливно-енергетичних витрат (витрата палива) більш ніж на 2100 МДж/га; зменшення повних паливно-енергетичних витрат понад 910 МДж/га порівняно з типовою технологією.

Це свідчить про високу енергоефективність комбінованих агрегатів, що дозволяє не лише знизити витрати пального, а й мінімізувати негативний вплив на ґрунтову структуру, зберегти вологу та підвищити продуктивність агроценозу.

Таблиця 6.1

Економічність та енергоємність основних операцій типової та рекомендованої технологій обробітку ґрунту.

Вид технологічного процесу, МТА	Величина прямих паливно-енергетичних витрат \bar{E}_{II}^{\square} , МДж/га	Розмір повних паливно-енергетичних витрат \bar{E}_i^{\square} , МДж/га
Типова технологія		
Оранка	1595,28	1989,56
Дискування	479,14	671,33
Передпосівна культивування з боронуванням	233,89	308,43
Посів із внесенням мінеральних добрив та нарізкою поливних борозен	238,47	6566,37
Усього	2546,78	9535,69
Рекомендована технологія		
Обробка ґрунту, внесення мінеральних добрив, посів, нарізка поливних борозен	664,54	8742,12
Усього	664,54	8742,12

Зниження витрат енергії при застосуванні комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату КГПМ-1,8 досягається завдяки забезпеченню раціональних швидкісних та навантажувальних режимів роботи машинно-тракторного агрегату (МТА). Оптимізація параметрів руху та робочих органів дозволяє мінімізувати питомі енерговитрати на виконання технологічних операцій.

Очікувана річна економія енергії, обумовлена застосуванням оптимальних режимів роботи МТА (трактор класу 1,4 + КГПМ-1,8), визначається шляхом порівняння паливних та енергетичних витрат на обробіток 1 га при використанні базової технології (послідовне виконання операцій); нової енергозберігаючої

технології (інтегрований процес з комбінованим агрегатом).

Розрахунок проводиться з урахуванням рекомендованих швидкісних режимів та навантажувальних параметрів МТА, що наведені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2

Значення показників ефективності роботи комбінованого агрегату

Схема машинно-тракторного агрегату	$\bar{W}_{\text{год}}^*$, га/год	\bar{E}_i^* , МДж/га	\bar{E}_T^* , МДж/агр.
ЮМЗ-8244+КГПМ-1.8	0.670*	8575.521	-
	0.695**	8569.164	784,791

* - типовий варіант при $\lambda_{M_k}^* = 0,850$.
 ** - пропонується варіант $\lambda_{M_k}^* = 0,981$ при коефіцієнті варіації навантаження $\vartheta_M = 0,167$,

Аналіз отриманих результатів показує, що при використанні нової технології, яка передбачає оптимальні параметри та режими роботи комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату, величина енергетичного ефекту становить 784,79 МДж на 1 га. Це свідчить про суттєве зниження питомих енерговитрат порівняно з традиційною технологією.

Проведена енергетична оцінка спроектованих комбінованих агрегатів у технологіях обробітку зернових культур (результати наведені в таблицях 6.1 та 6.2) підтверджує, що запропоновані техніко-технологічні рішення забезпечують: зниження питомих енерговитрат на одиницю продукції; оптимізацію технологічного циклу за рахунок інтеграції операцій; раціональне використання енергетичних ресурсів у посівний період.

У таблиці 6.3 наведено дані для порівняльного аналізу ефективності обробітку пшениці за: типовою технологією (послідовне виконання операцій); рекомендованою енергозберігаючою технологією (інтегрований процес із застосуванням КГПМ-1,8 та КГПМ-2).

Дані таблиці 6.3 свідчать, що для обробітку пшениці за рекомендованою енергозберігаючою технологією необхідно 21 770,51 МДж/га, що на 2 571,82 МДж менше, ніж при застосуванні типової технології.

Структура економії енергії: прямі енерговитрати (паливо, робота агрегатів): -1 982,57 МДж/га; непрямі енерговитрати (додаткові операції, втрати часу): -683,43 МДж/га.

Розмір паливно-енергетичних витрат за порівнюваними технологіями -
вирощування пшениці

Енергетичні витрати	Типова - технологія	Рекомендована (енергозберігаюча) технологія	
		МДж/га	%
Прямі енергетичні витрати. МДж/га	4272,11	2289,54	53,86
Непрямі енергетичні витрати. МДж/га	19864,22	19180,79	96,80
Сукупні енергетичні витрати. МДж/га (з урахуванням 10% неврахованих витрат)	24342,33	21770,51	88,99

Застосування рекомендованої технології, що передбачає удосконалення процесів обробітку ґрунту та посіву і використання комбінованих агрегатів КГПМ-1,8 та КГПМ-2, забезпечує не лише зниження питомих енерговитрат, але й підвищення врожайності за рахунок: збереження ґрунтової вологи; зменшення ущільнення ґрунту; оптимізації агротехнічних термінів.

У таблиці 6.4 наведено питомі витрати енергії на виробництво пшениці за двома технологіями: типова технологія – вища енергоємність через багатопрхідність та додаткові операції; рекомендована технологія – зниження питомих витрат завдяки інтеграції операцій та оптимізації режимів роботи МТА.

Таблиця 6.4

Енергетичні витрати за порівнюваними технологіями виробництва пшениці

Енергетичні витрати	Типова технологія	Рекомендована (енергозберігаюча) технологія
Питома пряма, МДж/ц	151,12	61,32
Питомі непрямі, МДж/ц	669,35	508,46
Питомі сукупні, МДж/ц (з урахуванням 10% неврахованих витрат)	837,45	578,45

Дані таблиці 6.4 свідчать про те, що освоєння рекомендованої технології обробітку пшениці на посіві забезпечує зниження питомих енергетичних витрат

з 837,45 МДж/ц до 578,45 МДж/ц, тобто на 29-30 % порівняно з типовою технологією, яка застосовується в даний час.

Рекомендована енергозберігаюча технологія передбачає комплексне вдосконалення процесів обробітку ґрунту та посіву шляхом застосування нових технічних засобів – комбінованих ґрунтообробно-посівних машин КГПМ-1,8 та КГПМ-2,4.

Ключові принципи технології: інтеграція технологічних операцій (розпушування, вирівнювання, внесення добрив, посів) в одному робочому циклі; використання раціональних режимів роботи МТА та дотримання оптимальних агротехнічних термінів; зниження енергетичних та трудових витрат за рахунок скорочення кількості проходів по полю та мінімізації непродуктивних витрат часу; збереження ґрунтової вологи та зменшення ущільнення ґрунту, що позитивно впливає на врожайність.

Ця технологія відповідає сучасним вимогам ресурсозбереження та енергоефективності, забезпечує зниження питомих енерговитрат на одиницю продукції та підвищує рентабельність виробництва.

ВИСНОВОК

1. З метою зниження енергетичних витрат та підвищення якості польових робіт доведено необхідність розробки комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів, що забезпечують одночасне виконання кількох технологічних операцій. Це дозволяє: скоротити кількість проходів техніки по полю; зменшити ущільнення ґрунту; забезпечити проведення сівби у стислі агротехнічні терміни.

2. Удосконалено методику оцінки ефективності. Розроблено збалансовану систему експлуатаційних параметрів та показників ефективності комбінованих агрегатів, яка базується на таких принципах:

Математичне моделювання для визначення головного критерію ефективності та техніко-економічних показників з урахуванням навантаження;

Оптимізація параметрів з урахуванням якості технологічних операцій;

Аналіз структури цільової функції для виявлення найбільш енергоємних складових і пошуку шляхів економії енергії.

3. Запропонована технологія забезпечує одночасне виконання 6–7 операцій (розпушування, вирівнювання, внесення добрив, посів, нарізка борозен тощо), що дає: суттєву економію робочого часу; збереження ґрунтової вологи; реалізацію наукових принципів: економія енергії в технологічних процесах; підвищення енергоефективності технічних засобів; оптимальна структура технології..

4. Запропонована методика розрахунку оптимальних параметрів і режимів роботи комбінованих ґрунтообробно-посівних комплексів враховує випадкові зміни навантаження на агрегати, розподілені за законом нормальної щільності випадкової величини, використовує збалансовану систему агротехнічних показників, адаптовану до комбінованих агрегатів, і передбачає параметра.

5. При робочій швидкості руху комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату трактора кл. 1,4 та машини КГПМ-1,8 від 0,52 до 1,65 м/с середнє квадратичне відхилення глибини обробітку ґрунту не перевищує 2,22 см в порівнянні з допусканим, рівним 3,36 см. Агрегат - трактор кл. 1,4 та машина

КГПМ-2,4 при швидкості руху від 0,91 до 1,98 м/с середнє квадратичне відхилення глибини обробітку ґрунту не перевищує 1,13 см, що свідчить про якісну роботу агрегатів за показником стабільності глибини обробітку.

6. Оптимальне значення енергоємності технологічного процесу, який виконує агрегат трактора кл. 1,4 та машини КГПМ-1,8, дорівнює 8742,12 МДж/га, ККД трактора дорівнює 0,53. При максимально можливому ККД, що дорівнює 0,66, енергоємність може знизитися до 7589,0 МДж/га. Коефіцієнт енергетичної ефективності агрегату дорівнює 0,88.

7. Запропонована технологія та розроблені ґрунтообробно-посівні машини забезпечують зменшення прямих енерговитрат на 47%, повних витрат – на 11% та приріст урожаю за рахунок кращої якості робіт – на 17-27 %.

8. З урахуванням приросту врожайності за рахунок поліпшення якості робіт у оптимальні агротехнічні терміни рекомендована технологія обробітку пшениці на посіві забезпечує зниження питомих енергетичних витрат з 837,45 МДж/ц до 578,45 МДж/ц, тобто на 29-30 %. Реалізація оптимальних режимів роботи комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату трактора кл. 1,4 та машини КГПМ-1,8 дозволяє отримати додатковий енергетичний ефект у розмірі 784,79 МДж на один агрегат. Загалом реалізація оптимальних і допустимих режимів роботи комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів трактора кл. 1,4 та машини КГПМ-1,8 та КГПМ-2,4 забезпечує отримання річного енергетичного ефекту у розмірі 75166-86120 МДж на 1 га.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтюк В.Д., Шатров Р.В., Опалко В.Г. Проектування і розрахунок технологічних систем. К. НУБіП України. 2020. 326 с.
2. Мельник І.І., Бабій В.П. та ін. Оптимізація управління машинно-тракторним парком. К. НАУ, 2000 –238с.
3. Мельник І.І., Бабій В.П. та ін. Сітьове планування механізованих сільськогосподарських робіт. К.НАУ, 2000 –222с.
4. Нагірний Ю. П. Аналіз технологічних систем і обґрунтування рішень / Ю. П. Нагірний, І. М. Бендера, С. Ф. Вольвак // За ред. Ю. П. Нагірного. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2013. – 264 с.
5. Аналіз технологічних систем і обґрунтування рішень. Практикум : навч. пос. / [Ю. П. Нагірний, І. М. Бендера, С. Ф. Вольвак та ін.]. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О. В., 2013. – 240 с.
6. Павліський В. М. Проектування технологічних систем рослинництва: навч. посіб. / В. М. Павліський, Ю. П. Нагірний, І. І. Мельник – Тернопіль : Збруч, 2003. – 264 с.
7. Типові задачі машиновикористання в землеробстві: навч. посіб. / [Ю. П. Нагірний, Б. І. Затхей, П.В. Шолудько та ін.] За ред. Ю. П. Нагірного. – Львів : ЛДАУ, 2001. – 180 с.
8. Мельник І.І., Демидко М.О., Фришев С.Г. та ін. Планування ефективного використання техніки: Навчальний посібник.- Ніжин. Тов “Видавництво Аспект-поліграф”. 2005. 80с.
9. Сидорчук О. Науково-методичні підстави синтезу комбінованих ґрунтообробних машин / О. Сидорчук, В. Залужний // Вісн. ЛДАУ: Агроінженерні дослідження. - Львів, 2004. - №8. - С.224-230.
10. Камінський В.Ф., Сайко В.Ф., Шевченко І.П. та ін. Сучасні системи землеробства і технології вирощування сільськогосподарських культур. К.: ВП «Едельвейс», 2022. 196 с.
11. О. Burlaka, О. Slynko Main characteristics of on-board computer system for crop yield measurement in combine-harvester // Microprocessor systems in agriculture. – Poland: Plock, 2001 – С. 17-20.

12. Ахмадов Б.Р. Вдосконалення технології і технічних засобів для повторного посів сільськогосподарських культур у республіці Таджикистан. Дис. на здобуття вченого ступеня д.т.н. Душанбе – 2017.
13. Бурлака О.А., Слинько О.П. Спосіб визначення траєкторії руху робочого органу просапного культиватора за допомогою “імітатора поверхні поля” // Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Вісник ХДТУСГ. – Харків: ХДТУСГ, 2001 – Вип. 8. – Т.2. – С. 203-204.
14. Сакало Л.Г., Лапенко Г.О., Слинько О.П. Обладнання для вирішення деяких проблем екологічного рослинництва // Вісник ПДСГІ. – Полтава: ПДСГІ, 2001 – Вип. 4 – С. 26-30.
15. Дубровін В.О., Кривошия М.О., Бурлака О.А., Слинько О.П. Напрямки вдосконалення машин для міжрядного обробітку просапних культур // „Механізація сільськогосподарського виробництва”. Збірник наукових праць НАУ. – Київ: НАУ, 2002. – Т.12. – С.75-80.
16. Слинько О.П. Дослідження руху робочого органу роторного типу просапного культиватора // „Механізація сільськогосподарського виробництва”. Збірник наукових праць НАУ – Київ: НАУ, 2002. – Т.12. – С.184-188.
17. Слинько О.П. Спосіб визначення оптимальної кількості зубів робочого органу роторного типу для обробітку захисних зон просапних культур // Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Вісник ХДТУСГ. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Вип. 15. – С. 160-163.
18. Слинько О.П., Кривошия М.О., Левчук М.С. Дослідження роторних робочих органів культиватору // Науковий вісник НАУ. – К.: НАУ, 2004. – Вип. 73. – Ч.1. – С. 287 – 297.
19. Дубровін В.О., Слинько О.П. Виробнича перевірка та визначення економічної ефективності використання робочих органів роторного типу у складі модернізованого культиватора КРН-4,2 // Науковий вісник НАУ. – К.: НАУ, 2004. – Вип. 73. – Ч.1. – С. 85 – 94.
20. Слинько О.П., Михайлович Я.М. Щодо обґрунтування геометричних і кінематичних параметрів робочого органу ротаційного типу (РОРТ) // Науковий вісник НАУ. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 95. – Ч. 1. – С. 180-194.

- 21.Веремесенко С.І., Трушева С.С. Біологічні системи землеробства: Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2021. 196 с.
- 22.Технологічно-транспортні процеси у виробництві продукції рослинництва: навчальний посібник. В.Д.Войтюк, В.Д.Гречкосій, Р.В.Шатров, В.Г.Опалко, О.А.Бешун, І.І.Чвартацький, В.В.Марченко. Навчальний посібник - Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2017.- 928 с.
- 23.Гречкосій В.Д., Войтюк В.Д., Шатров Р.В., Дмитришак М.Я., Опалко В.Г. та ін. Проектування технологічних процесів у рослинництві. За ред. Гречкосія В.Д. Навчальний посібник. - Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2014. – 392 с.
- 24.Експлуатація машинно-тракторного парку в агропромисловому комплексі. В.Д.Войтюк, І.І.Мельник, Р.В.Шатров, В.Г.Опалко, В.І. Солтисюк, В.В. Марченко, Л.С.Шимко. Навчальний посібник - Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2016, – 632 с.: іл.
- 25.Комплексна механізація виробництва зерна: Навчальний посібник / В.Д.Гречкосій, М.Я.Дмитришак, Р.В.Шатров та ін.. За ред. В.Д.Гречкосія, М.Я.Дмитришака. – Київ: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2012. – 288 с.
- 26.Мельник І.І., Гречкосій В.Д., Бондар С.М. Проектування технологічних процесів у рослинництві. – Ніжин: «Видавництво «Аспект-Поліграф». 2005.– 189 с.
- 27.Проектування технологічних процесів у рослинництві: навчальний посібник / В.Д.Гречкосій, В.Д.Войтюк, Р.В.Шатров, М.Я. Дмитришак, В.І. Василюк, В.Г.Опалко. – Видавець: ПП Лисенко М.М., 2014, – 392 с.: іл.
- 28.Мельник І.І., Гречкосій В.Д., Шатров Р.В. Комплексна механізація виробництва кукурудзи на зерно / Агроном, №1 (15) 2007. – С. 90-92.
- 29.Технічний сервіс в АПК: Навчально-методичний комплекс: Навч. посібник для студентів інжен. спец. на осв.-кваліф. рівні «Бакалавр» напряму ПМО АПВ / С.М. Грушецький, І.М. Бендера, С.В. Кюрчев, О.М. Шокарев та ін. - Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І. «Абетка», 2014. - 680 с.
- 30.Козаченко О.И. Ресурсозбереження в с.-г. агрегатах при виконанні технологічних операцій у рослинництві: Автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. – Харків, 2006. – 37 с.

- 31.Нагірний Ю. П. Фахова підготовка інженерів: діяльнісний підхід. – Львів: ІНВП «Електрон», 1999. – 180 с.
- 32.Сидорчук О.В. Наукові основи інженерного менеджменту технічного сервісу рільництва: Монографія / О.В. Сидорчук, С.Р. Сенчук, О.В. Кухарук. - Львів: ЛДАУ, 2001, - 172 с.
- 33.Нагірний Н. Н. Технології і технічні засоби ґрунтозахисного контурномеліоративного землеробства. – К.: Урожай, 1994. 248 с.
- 34.Павліський В. М, Нагірний Ю. П., Мельник І. І. Проектування технологічних систем рослинництва. Навчальний посібник. – Тернопіль: Збруч, 2003. - 264 с.
- 35.Пастухов В. І. Енергетична оцінка механізованих технологій рослинництва. Методи і результати.– Харків: «Ранок-НТ», 2003. – 100 с.
- 36.Пастухов В. І., Лютинський В. П., Рудницька Г. В. Інформаційне забезпечення сільськогосподарського виробництва, лабораторний практикум. Навчальний посібник. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – 242 с.
- 37.Типові задачі машиновикористання в землеробстві: Навчальний посібник / За ред. Ю. П. Нагірного. – Львів: ЛДАУ, 2001. – 180 с.
- 38.Вітлінський В. В. Ризик у менеджменті. – К.: ТОВ «Борисфен-М», 1996. –336 с.
- 39.Вирощування та переробка ріпаку. Навчальний посібник. / Павліський В. М., Нагірний Ю. П., Гайдаш В. Д. та ін. – Тернопіль: ТОВ «Новий колір», 2007.–316 с.
- 40.Нормативи часу на розробку нормативних матеріалів з праці. - К.: 1998. - 38 с.
- 41.Бобчук М. Технічне переоснащення сільського господарства України / М. Бобчук, С. Коваль, В. Погорілий // Техніка АПК. - 2004. - №9. - С. 14-16.
- 42.Погорілий Л.В. Напрямки розвитку технології збирання врожаю зернових і переоснащення сільського господарства новою зернозбиральною технікою / Л.В. Погорілий, С.М. Коваль, М.І. Грицишин // Зб. наук. пр. НАУ «Механізація сільськогосподарського виробництва». - К., 2000. - Т .5. - С. 5-9
- 43.Раціональні сівозміни в сучасному землеробстві: навч. посіб. / І.Д. Примак, В.Г. Рошко, Г.І. Демидась та ін.; за ред. І.Д. Примак. - Біла Церква: БДАУ, 2003. - 384 с.

44. Саблук П.Т. Технології вирощування зернових і технічних культур в умовах Лісостепу України / За ред. П.Т.Саблука, Д.І. Мазоренка, Г.Є.Мазнева. – 2-е вид., доп. – К.: ННЦ ІАЕ, 2008. – 720 с.
45. Танчик С.П. No Till і не тільки. Сучасні системи землеробства. – К.: Юні вест Медіа, 2009. – 160с.
46. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України / Редкол.: М.В.Зубець, В.П.Ситник, В.О.Круть та ін.. – К.: Аграрна наука, 2004. – 844 с.
47. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу / Мельник І.І., Гречкосій В.Д., Бондар С.М. [та ін.]. – К.: Видавничий центр НАУ, 2004. – 151с.
48. Примак І.Д., Єщенко В.О., Манько Ю.П. та ін. Ресурсозберігаючі технології обробітку ґрунту в сучасному землеробстві України. – КВІЦ, 2007. – 270с.
49. Машини для збирання зернових та технічних культур: посібник для підготовки фахівців із напр. «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» в аграр. вищ. навч. закл. II-IV рівнів акредитації / [Ю.Ф.Мельник, Ю.Я.Лузан, Б.К.Супіханов та ін.]; за ред. В.І.Кравчука, Ю.Ф.Мельника. – Дослідницьке, 2009. – 296с.
50. Яковенко О.М. Поточно-цикловий метод організації використання техніки та праці механізаторів у багатогалузевих господарствах Одеської області: Навчальний посібник / О.М. Яковенко. - Одеса: ОСГІ, 1989. - 72 с.
51. Баутін В.М. Як використовують техніку фермери Західної Європи/В.М Баутін, З.Л. Аронов// Інформаційний комерційний вісник. - 1992. - №1. - С. 4-19.
52. Бойко А. І. Сучасні підходи до вирішення проблем забезпечення надійності складної сільськогосподарської техніки / А. І. Бойко,
53. М. М. Мороз, К. М. Думенко // Вісник Харківського Національного технічного університету ім. П.М. Василенка. – Х. 2010. Вип 100: Проблеми надійності машин та засобів с.г. виробництва. – С. 12-16.
54. Войтюк В.Д. Вплив строків експлуатації на модель зміни працездатності комбайнів /В.Д. Войтюк, А.А. Демко, С.А. Демко// Техніка АПК. - 2005. -№8. - С.14 -18.

55. Горячкин В.П. Зібрання творів у трьох томах. Видання .2–е. / В.П. Горячкин. – К.: Колос, 1967.
56. Рогач Ю.П. Індивідуальне навчально–дослідне завдання з дисципліни «Основи охорони праці» / Ю.П. Рогач, О.В. Гранкіна, Ю.А. Лисенко. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – 22 с.
57. Русаловський, А. В. Правові та організаційні питання охорони праці: Навч. посіб. – 4–те вид., допов. і перероб. / А. В. Русаловський – К.: Університет «Україна», 2009. – 295 с.
58. НПАОП 01.41–1.01–01 «Правила охорони праці під час технічного обслуговування та ремонту машин і обладнання сільськогосподарського виробництва».
59. Вимірювач щільності ґрунту (пенетрометра) DICKEY – John. Посібник з експлуатації.
60. Ніцевич О.Д. Підвищення ефективності керування автотранспортними підприємствами, що обслуговують агропромисловий комплекс / О.Д. Ніцевич // Аграрний вісник Причорномор'я: Зб. наук. праць. - Одеса, 2002. - № 19. - С. 61-64.
61. Markus Lips Weather Risk and Machinery Costs - A Monte Carlo Sumulation for the Wheat Harvest / Markus Lips, Simon Bally. - AgrosCorpReckenholz - Tanicon Research Station ART, Tanicon, Switzerland. -2007.
62. Kehayov D. Some technical aspects of cut height in wheat harvest / D. Kehayov, Ch. Vezirov At. Atanasov; Agrarian University of Plovdiv, Bulgaria, University of Rousse, Rousse, Bulgaria. Agronomy Research - 2004. - №2. - P. 181 - 186.
63. Machinery Management. Estimating Farm Machinery Costs : Iowa State University. - 2001.
64. Breg Butler Logistics and efficiency of grain harvest and transport systems / Breg Butler : Institute for Sustainable Systems and Technologies, University of South Australia. - 2009.
65. Nazarenko, I., Shatrov, R. Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskyi, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M. (2021). DETERMIANTION OF ENERGY CHARACTERISTICS OF MATERIAL DESTRUCTION IN THE CRUSHING CHAMBER OF THE VIBRATION CRUSHER. Eastern-European

Journal of Enterprise Technologies, 2021, 4(7-112), 41-49. Scopus Q2 (<https://www.scopus.com/sourceid/21100450083#tabs=1>) DOI 10.15587/1729-4061.2021.239292 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85119406413&origin=resultslst>

66. Shatrov, R.V. Chvartatskiy, I.I., Flonts, I.V., Grabar, A.V., SYNTHESIS OF ENERGY-SAVING TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SYSTEMS WITH SCREW WORKING BODIES Machinery and Energetics, 2021, 12(4), pp. 77–84 DOI 10.31548/machenergy2021.04.077 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85179969419&origin=resultslst>
67. Rogovskii, I., Shatrov, R., Titova, L., Bannyi, O., Nadtochiy, O. TECHNOLOGICAL EFFECTIVENESS OF MACHINE FOR DIGGING SEEDLINGS IN NURSERY GROWN ON VEGETATIVE ROOTSTOCKS. International Scientific Conference Engineering for Rural Development 2022 (llu.lv) Engineering for Rural Development Open Access Volume 21, Pages 924 - 929 2022 21st International Scientific Conference Engineering for Rural Development, ERD 2022 Jelgava 25 May 2022 through 27 May 2022 Code 181944 DOI 10.22616/ERDev.2022.21.TF290 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85137114527&origin=resultslst>