

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

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

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Дем'янчук Вадим Петрович

УДК 633.16:631.333

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Удосконалення комплексу машин для вирощування ячменю
з модернізацією машини для внесення твердих органічних
добрив**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело _____ Дем'янчук В.П.

Керівник роботи

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук, доцент

АНОТАЦІЯ

Дем'янчук Вадим Петрович. Удосконалення комплексу машин для вирощування ячменю з модернізацією машини для внесення твердих органічних добрив. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У роботі проаналізовано технологію вирощування ячменю, ґрунтово-кліматичні умови регіону, європейський досвід вирощування культури та напрями вдосконалення технологічного процесу. Обґрунтовано застосування адаптивної технології, яка передбачає агрохімічне обстеження поля, внесення добрив, якісний обробіток ґрунту, ранню сівбу, інтегрований захист рослин, своєчасне збирання і післязбиральну доробку зерна. Запроєктовано комплекс машин для вирощування ячменю з урахуванням умов Полісся та Лісостепу. Для внесення твердих органічних добрив передбачено використання машини МТУ-18 в агрегаті з трактором BELARUS 2022.3. Виконано підбір сільськогосподарських машин, розрахунок продуктивності агрегату та складено технологічну карту вирощування ячменю. У конструктивній частині обґрунтовано модернізацію машини для внесення твердих органічних добрив, спрямовану на підвищення рівномірності їх розподілення, покращення якості технологічного процесу та зменшення енергетичних витрат. Інженерні розрахунки підтвердили працездатність і доцільність запропонованого технічного рішення. У розділі з охорони праці визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час вирощування ячменю і роботи агрегату BELARUS 2022.3 + МТУ-18. Розроблено заходи безпечної експлуатації машинно-тракторних агрегатів, захисту працівників, дотримання санітарно-гігієнічних вимог і пожежної безпеки. У техніко-економічному обґрунтуванні встановлено, що модернізація машини МТУ-18 та впровадження удосконаленого комплексу машин сприяють підвищенню продуктивності праці, зниженню витрат, раціональнішому використанню органічних добрив і підвищенню рентабельності виробництва ячменю. Практичне значення роботи полягає у можливості застосування запропонованих рішень у сільськогосподарських підприємствах Житомирської області.

Ключові слова: ячмінь, технологія вирощування, комплекс машин, органічні добрива, модернізація, розкидання добрив.

ANNOTATION

Vadym Petrovych Demianchuk. Improvements to the range of machinery for barley cultivation, including the modernisation of machinery for applying solid organic fertilisers. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This paper analyses barley cultivation techniques, the region's soil and climatic conditions, European experience in growing the crop, and avenues for improving the cultivation process. The application of adaptive technology is justified, which involves agrochemical analysis of the field, fertiliser application, high-quality soil cultivation, early sowing, integrated plant protection, timely harvesting and post-harvest grain processing. A set of machinery for barley cultivation has been designed, taking into account the conditions of the Polissya and Forest-Steppe regions. For the application of solid organic fertilisers, the use of the MTY-18 machine in combination with a BELARUS 2022.3 tractor is envisaged. A selection of agricultural machinery has been carried out, the productivity of the combination has been calculated, and a technological map for barley cultivation has been drawn up. The design section justifies the modernisation of the machine for applying solid organic fertilisers, aimed at improving the uniformity of their distribution, enhancing the quality of the technological process and reducing energy consumption. Engineering calculations confirmed the feasibility and practicality of the proposed technical solution. The section on occupational health and safety identifies the main hazardous and harmful production factors during barley cultivation and the operation of the BELARUS 2022.3 + MTY-18 unit. Measures have been developed for the safe operation of machine-tractor units, the protection of workers, and compliance with sanitary and hygiene requirements and fire safety. The technical and economic justification establishes that the modernisation of the MTY-18 machine and the introduction of an improved machine complex contribute to increased labour productivity, reduced costs, more rational use of organic fertilisers, and improved profitability of barley production. The practical significance of the work lies in the possibility of applying the proposed solutions in agricultural enterprises in the Zhytomyr region..

Keywords: barley, cultivation technology, machinery complex, organic fertilisers, modernisation, fertiliser spreading.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЯЧМЕНЮ.....	10
1.1. Значення ячменю та загальна характеристика культури.....	10
1.2. Ґрунтово-кліматичні умови Житомирської області для вирощування ячменю.....	10
1.3. Аналіз сучасної технології вирощування ячменю.....	11
1.4. Досвід європейських країн у вирощуванні ячменю.....	14
1.5. Основні недоліки чинної технології вирощування ячменю в Житомирській області.....	15
1.6. Шляхи вдосконалення технології вирощування ячменю в Житомирській області.....	16
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЯЧМЕНЮ.....	18
2.1. Вихідні умови для Житомирської області.....	18
2.2. Проєктована технологія та склад агрегатів.....	19
2.3. Обґрунтування вибору машин для ґрунтів Полісся і Лісостепу.....	22
2.4. Розрахунок продуктивності, часу та витрат пального.....	25
2.5. Порівняння альтернативних машин.....	27
2.6. Адаптація технології до різних ґрунтів і ризиків.....	29
2.7. Технологічна карта вирощування ячменю.....	30
РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ МАШИНИ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ МТУ-18.....	33
3.1 Обґрунтування теми дипломного проєкту.....	33
3.2 Коротка технічна характеристика причеп у розкидувального МТУ-18.....	34
3.3 Будова та принцип роботи, основні регулювання.....	34
3.4 Обґрунтування частоти обертання розкидувального шнека.....	36
3.5 Обґрунтування геометричних параметрів розкидувального шнека.....	38
3.6 Розрахунок необхідної потужності для приводу розкидувального шнека.....	40

	5
3.7 Розрахунок зварних швів розкидувального шнека.....	41
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	43
4.1. Загальні положення.....	43
4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	44
4.3. Вимоги безпеки під час виконання технологічних операцій.....	44
4.4. Заходи безпеки, пов'язані з модернізацією машини МТУ-18.....	46
4.5. Розрахункова частина.....	47
4.6. Організаційні, санітарно-гігієнічні та протипожежні заходи.....	49
Висновок по розділу.....	50
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ.....	52
5.1. Вихідні дані для економічного розрахунку.....	52
5.2. Розрахунок експлуатаційних показників агрегату BELARUS 2022.3 + МТУ-18.....	53
5.3. Розрахунок витрат за проектною технологією.....	54
5.4. Порівняння базового і проектного варіантів.....	55
5.5. Економічний ефект від модернізації машини МТУ-18.....	57
5.6. Узагальнення техніко-економічних показників.....	58
Висновок по розділу.....	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Ячмінь є однією з важливих зернових культур України, яка має широке кормове, продовольче і технічне значення. Його зерно використовують у тваринництві як цінний концентрований корм, у харчовій промисловості для виробництва круп, а також у солодовій і пивоварній галузях. Завдяки короткому вегетаційному періоду, відносно невисоким вимогам до тепла та здатності раціонально використовувати весняні запаси вологи ячмінь займає важливе місце у структурі зернового виробництва, особливо в зоні Полісся і Лісостепу.

Для Житомирської області вирощування ячменю має значне практичне значення, оскільки ця культура добре пристосована до місцевих ґрунтово-кліматичних умов. Водночас значна частина ґрунтів області характеризується підвищеною кислотністю, низьким умістом гумусу, недостатньою забезпеченістю елементами живлення, схильністю до ущільнення та перезволоження. Такі умови знижують ефективність використання мінеральних добрив, погіршують розвиток кореневої системи рослин і обмежують реалізацію потенційної врожайності сучасних сортів ячменю.

Одним із важливих шляхів підвищення родючості ґрунтів і стабілізації врожайності ячменю є систематичне внесення органічних добрив. Органічні добрива поліпшують агрофізичні властивості ґрунту, підвищують його водоутримувальну здатність, активізують мікробіологічні процеси, сприяють накопиченню гумусу та забезпечують рослини основними елементами живлення. Особливо актуальним це є для дерново-підзолистих і супіщаних ґрунтів Полісся, де органічна речовина є одним із головних чинників формування сталої продуктивності агроценозів.

Ефективність внесення твердих органічних добрив значною мірою залежить від технічного стану і конструктивної досконалості машин, які виконують цю операцію. Нерівномірне розподілення добрив по поверхні поля призводить до строкатості живлення рослин, нерівномірного розвитку посівів,

зниження врожайності та нераціонального використання добрив. Тому удосконалення машин для внесення твердих органічних добрив є важливим інженерним завданням, яке має безпосередній вплив на якість технологічного процесу вирощування ячменю.

У даному дипломному проєкті розглядається тема «Удосконалення комплексу машин для вирощування ячменю з модернізацією машини для внесення твердих органічних добрив». Відповідно до матеріалів проєкту, основну увагу приділено технології вирощування ячменю в умовах Житомирської області, застосуванню машини МТУ-18 для внесення твердих органічних добрив та роботі агрегату з трактором BELARUS 2022.3.

Актуальність теми полягає в необхідності підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку, зменшення витрат на виконання технологічних операцій, покращення якості внесення органічних добрив і підвищення врожайності ячменю. У сучасних умовах сільськогосподарське виробництво потребує не лише збільшення обсягів продукції, а й зниження собівартості, раціонального використання матеріальних ресурсів, збереження родючості ґрунтів та дотримання вимог охорони праці й екологічної безпеки.

Метою дипломного проєкту є підвищення ефективності технологічного процесу вирощування ячменю шляхом удосконалення комплексу машин і модернізації машини для внесення твердих органічних добрив.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

Проаналізувати сучасну технологію вирощування ячменю та визначити основні напрями її вдосконалення для умов Житомирської області.

Обґрунтувати склад комплексу машин для виконання основних технологічних операцій під час вирощування ячменю.

Розробити технологічну карту вирощування ячменю із зазначенням операцій, агрегатів, строків виконання робіт і витрат ресурсів.

Обґрунтувати доцільність використання машини МТУ-18 для внесення твердих органічних добрив.

Запропонувати модернізацію машини для внесення твердих органічних добрив з метою підвищення рівномірності розподілення добрив і продуктивності агрегату.

Виконати розрахунки, які підтверджують працездатність і ефективність запропонованих технічних рішень.

Розробити заходи з охорони праці під час виконання технологічних операцій вирощування ячменю та експлуатації агрегату для внесення органічних добрив.

Провести техніко-економічне обґрунтування проєктних рішень і визначити економічну доцільність їх упровадження.

Об'єктом дослідження є технологічний процес вирощування ячменю в умовах Житомирської області.

Предметом дослідження є комплекс машин для вирощування ячменю та машина для внесення твердих органічних добрив МТУ-18.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. . Куликівський В.Л., Дем'янчук В.П., Руденко В.Г. Оптимізація логістики транспортування зерна під час збирання для зменшення простоїв комбайнів. Збірник тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 29 квітня 2026 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2026. С. 98-100.

2. Куликівський В.Л., Шевчук О.А., Дем'янчук В.П., Вдовиченко А.М., Омельчук С.М. Особливості роботи машин для внесення твердих органічних добрив. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/kulykivskyj_26-2.pdf (дата звернення 07.06.2026).

Практичне значення проєкту полягає в тому, що запропонований комплекс машин і модернізація машини для внесення твердих органічних добрив можуть бути використані в сільськогосподарських підприємствах

Житомирської області для підвищення ефективності вирощування ячменю. Реалізація запропонованих рішень сприятиме покращенню якості внесення органічних добрив, підвищенню родючості ґрунту, зменшенню експлуатаційних витрат, забезпеченню своєчасного виконання польових робіт і підвищенню економічної ефективності виробництва зерна ячменю.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновку та списку використаних джерел з 26 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 64 сторінок комп'ютерного тексту, містить 6 рисунків, 12 таблиць та 3 додатки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЯЧМЕНЮ

1.1. Значення ячменю та загальна характеристика культури

Ячмінь є однією з найважливіших зернових культур помірного кліматичного поясу. Його вирощують для продовольчих, кормових і технічних потреб. Основна частина зерна використовується у тваринництві як концентрований корм, а високоякісне зерно – як сировина для солодової промисловості. У структурі зернового виробництва ячмінь має важливе значення завдяки короткому вегетаційному періоду, порівняно невисоким вимогам до тепла та здатності формувати врожай у різних ґрунтово-кліматичних умовах.

У країнах Європейського Союзу ячмінь є третьою за поширенням зерновою культурою: за даними Eurostat, у 2022 році його виробництво становило близько 52 млн т, або 19,2 % від загального виробництва зернових культур ЄС. Найбільші обсяги ячменю виробляються у регіонах Іспанії, Франції та Німеччини, де культура використовується як для кормових потреб, так і для переробки.

Сучасна технологія вирощування ячменю повинна забезпечувати не лише отримання високої врожайності, а й формування стабільної якості зерна. Для кормового ячменю важливими є маса зерна, натура, вміст білка та енергії корму. Для пивоварного напрямку особливе значення мають вирівняність зерна, схожість, низька частка дрібного зерна та оптимальний вміст білка. Тому технологія вирощування має бути диференційованою залежно від напрямку використання продукції.

1.2. Ґрунтово-кліматичні умови Житомирської області для вирощування ячменю

Житомирська область розташована у зоні Полісся та частково Лісостепу, що зумовлює значну строкатість ґрунтового покриву, рівня зволоження і

родючості земель. Для північної частини області характерні дерново-підзолисті піщані, глинисто-піщані та супіщані ґрунти, часто оглеєні й бідні на гумус. У лісостеповій частині поширені сірі лісові, темно-сірі опідзолені ґрунти та чорноземи опідзолені, які мають вищу природну родючість.

Агроекологічний стан земель Житомирщини має низку обмежувальних факторів. За науковими узагальненнями, у структурі ґрунтів області переважають дерново-підзолисті ґрунти з низьким умістом гумусу, слабкою структурою та підвищеною кислотністю. Такі ґрунти чутливі до ущільнення, ерозійних процесів і закислення, тому потребують системного вапнування, органічного удобрення та протиерозійних заходів.

Кліматичні умови Житомирського Полісся загалом сприятливі для вирощування ячменю, оскільки культура добре використовує весняні запаси вологи й швидко проходить основні фази розвитку. За даними Енциклопедії сучасної України, середньорічна кількість опадів у межах Житомирського Полісся становить близько 625 мм, середня температура липня $+18,9^{\circ}\text{C}$, січня $-5,7^{\circ}\text{C}$. Водночас надмірне зволоження на важких або оглеєних ґрунтах може спричиняти пригнічення кореневої системи, розвиток корневих гнилей, вилягання рослин і погіршення якості зерна.

За оперативними даними Житомирської ОВА, у 2024 році ранні зернові та зернобобові культури в області були зібрані на площі 202,4 тис. га, а ячмінь на площі 28,1 тис. га. Валовий збір ячменю становив 113,1 тис. т, середня врожайність 40,2 ц/га, що на 4,1 ц/га вище порівняно з попереднім роком. Це свідчить, що культура має стабільне місце у зерновому кліні області, однак її продуктивність ще поступається потенціалу сучасних сортів та рівню передових європейських господарств.

1.3. Аналіз сучасної технології вирощування ячменю

Сучасна технологія вирощування ячменю включає комплекс взаємопов'язаних елементів: добір попередника, обробіток ґрунту, підбір сорту, підготовку насіння, сівбу, систему удобрення, захист рослин, збирання та

післязбиральну доробку зерна. Ефективність технології визначається не окремим прийомом, а їх узгодженням із конкретними умовами поля.

Найкращими попередниками для ярого ячменю є просапні культури, зернобобові, озимі зернові після удобрених попередників, а також культури, які залишають поле чистим від бур'янів. У Житомирській області доцільно враховувати поширення кукурудзи, сої, соняшнику та ріпаку. З одного боку, ці культури можуть бути добрими попередниками за умови якісного подрібнення решток і контролю падалиці. З іншого боку, надмірне насичення сівозміни технічними культурами погіршує фітосанітарний стан поля та збільшує ризик ущільнення ґрунту.

Обробіток ґрунту під ячмінь повинен бути спрямований на збереження вологи, створення дрібногрудочкуватого посівного шару та забезпечення рівномірного загортання насіння. На легких поліських ґрунтах надмірно інтенсивний обробіток може призводити до втрати вологи й руйнування структури. Тому перспективними є мінімалізований обробіток, чизелювання на ущільнених ділянках, локальне розпушування та комбіновані агрегати для передпосівної підготовки. На полях із перезволоженням важливим є відновлення дренажу й уникнення заїзду важкої техніки у надмірно вологий ґрунт.

Важливим елементом технології є добір сорту. Для Житомирської області доцільно використовувати сорти, придатні для зони Полісся і Лісостепу, стійкі до вилягання, борошнистої роси, сітчастої та темно-бурої плямистостей. Наприклад, український сорт ярого ячменю Аграрій рекомендований для Степу, Лісостепу і Полісся, характеризується високою адаптивністю, стійкістю до гельмінтоспоріозних плямистостей і борошнистої роси та потенційною врожайністю до 8,5 т/га. Проте вибір сорту має ґрунтуватися не лише на потенційній урожайності, а й на результатах місцевих сортовипробувань.

Сівбу ярого ячменю слід проводити в ранні строки, щойно ґрунт досягає фізичної стиглості. Запізнення із сівбою в умовах Житомирщини часто призводить до використання рослинами меншої кількості весняної вологи,

скорочення періоду кушення, зрідження посівів і зменшення маси 1000 зерен. Для озимого ячменю важливим є оптимальний строк осінньої сівби, щоб рослини встигли сформувати достатню кореневу систему, але не переросли до зими.

Система удобрення має бути збалансованою. Ячмінь чутливий до нестачі азоту, фосфору, калію, сірки, магнію та мікроелементів. Водночас надлишок азоту, особливо для пивоварного ячменю, може підвищувати вміст білка в зерні та погіршувати якість сировини. AHDB підкреслює, що врожайність ячменю істотно залежить від строків і норм внесення азоту, але надмірні норми підвищують ризик вилягання, втрат нітратів і надмірного вмісту азоту в зерні.

Для Житомирської області особливо актуальними є вапнування кислих ґрунтів і внесення органічних добрив. Європейська практика підтверджує важливість контролю кислотності: Teagasc рекомендує підтримувати рН ґрунту для зернових культур на рівні близько 6,5, оскільки ярі зернові чутливі до кислотності. Для поліських ґрунтів це має принципове значення, адже за низького рН знижується доступність фосфору, погіршується розвиток кореневої системи та зменшується ефективність мінеральних добрив.

Захист посівів ячменю повинен базуватися на інтегрованій системі. Основними шкідливими об'єктами є однорічні й багаторічні бур'яни, кореневі гнилі, борошниста роса, сітчаста плямистість, темно-бура плямистість, іржа, попелиці та злакові мухи. У вологі роки підвищується ризик грибних хвороб, а у посушливі стресу рослин і шкідливості сисних комах. Європейський підхід до інтегрованого захисту рослин передбачає профілактику через сівозміну, стійкі сорти, якісний насіннєвий матеріал, моніторинг шкідливих організмів і застосування пестицидів лише тоді, коли це економічно й екологічно обґрунтовано.

Збирання ячменю потрібно проводити у стислі строки, оскільки перестій посівів спричиняє ламкість колоса, осипання зерна, втрати врожаю та погіршення якості. Для пивоварного напрямку особливо важливі м'який режим обмолоту, недопущення травмування зерна, швидке очищення й сушіння до

безпечної вологості. Для кормового напрямку головним є мінімізація втрат і збереження поживної цінності зерна.

1.4. Досвід європейських країн у вирощуванні ячменю

Досвід європейських країн показує, що висока ефективність вирощування ячменю досягається завдяки поєднанню сортового потенціалу, точного удобрення, контролю якості зерна, цифрового моніторингу та екологізації виробництва. За даними USDA, середня врожайність ячменю в ЄС у 2025/2026 маркетинговому році прогнозується на рівні 5,49 т/га, а виробництво близько 56 млн т. П'ятирічна середня врожайність ЄС за 2020/2021–2024/2025 роки становить 4,90 т/га. Це вище за середню врожайність ячменю на Житомирщині у 2024 році, яка становила 4,02 т/га, хоча пряме порівняння обмежене різницею природних умов, структури сортів і рівня ресурсного забезпечення.

У Великій Британії та Ірландії значна увага приділяється управлінню азотним живленням. Для ярого ячменю норма азоту коригується залежно від запасів мінерального азоту в ґрунті, попередника, очікуваної врожайності та напрямку використання зерна. AHDB зазначає, що для сучасних сортів ярого ячменю середня економічно оптимальна норма азоту в дослідках становила близько 118 кг/га, але ця величина має уточнюватися залежно від умов поля і цільових показників якості зерна.

В Ірландії поширена практика поєднання аналізу ґрунту, вапнування, збалансованого внесення NPK і захисту рослин із урахуванням стійкості сорту. Teagasc наголошує, що попередник, історія внесення органічних добрив і рівень мінералізації органічної речовини істотно впливають на потребу ярих зернових в азоті. Для Житомирської області цей досвід є корисним, оскільки на багатьох поліських ґрунтах добрива вносяться за усередненими нормами без урахування фактичного стану поля.

У країнах ЄС активно розвиваються цифрові технології. У межах сучасних проєктів CAP щодо пивоварного ячменю використовують багатофакторні польові дослідження, змінні норми висіву та удобрення,

безпілотники з мультиспектральними сенсорами, LiDAR, агрометеорологічні дані та моделі прогнозування врожайності й потреби в азоті. Такі технології дають змогу виявляти неоднорідність поля, своєчасно діагностувати стрес рослин і точніше планувати підживлення.

Європейська аграрна політика також стимулює екологізацію виробництва. Екосхеми CAP 2023–2027 підтримують практики, що зменшують негативний вплив землеробства на довкілля, зокрема точне землеробство, органічне виробництво, агроекологічні практики, збереження природних ресурсів і вуглецеве землеробство. Для Житомирщини це особливо актуально через вразливість поліських ґрунтів до деградації, закислення й втрати гумусу.

1.5. Основні недоліки чинної технології вирощування ячменю в Житомирській області

Аналіз умов виробництва дає змогу виділити кілька основних проблем. Першою є недостатня адаптація технології до строкатості ґрунтів. Часто однакова система удобрення застосовується на різних за родючістю ділянках, що призводить або до недобору врожаю, або до нераціональних витрат.

Другою проблемою є кислотність і низький уміст гумусу в ґрунтах Полісся. Без вапнування, внесення органічних добрив, сидератів і повернення рослинних решток ефективність мінерального живлення знижується. Особливо це стосується фосфору, калію, магнію та мікроелементів.

Третьою проблемою є порушення сівозміни. Насичення структури посівів соняшником, соєю, кукурудзою та ріпаком може бути економічно вигідним у короткостроковому періоді, але воно підвищує фітосанітарні ризики, ускладнює контроль бур'янів і зменшує біологічну активність ґрунту.

Четвертою проблемою є недостатній рівень точності технологічних операцій. Нерівномірна глибина сівби, запізнення зі строками, неякісна підготовка насіння, відсутність диференційованого внесення добрив і слабкий моніторинг хвороб знижують реалізацію потенціалу сорту.

П'ятою проблемою є недостатня орієнтація на якість зерна. Частина господарств вирощує ячмінь переважно як кормову культуру, не використовуючи можливості отримання вищої ціни за зерно спеціального призначення. Для цього потрібні сорти відповідного напрямку, контроль білка, вирівняності зерна та післязбиральної доробки.

1.6. Шляхи вдосконалення технології вирощування ячменю в Житомирській області

Основним напрямом удосконалення технології є перехід від універсальної до адаптивної системи вирощування. Для кожного поля необхідно враховувати тип ґрунту, кислотність, забезпеченість поживними речовинами, попередник, забур'яненість, ризик перезволоження та цільове призначення зерна.

Першочерговим заходом має бути агрохімічне обстеження ґрунтів. На його основі слід розробляти карти кислотності, вмісту гумусу, фосфору, калію, сірки та мікроелементів. Для кислих ґрунтів Полісся потрібно системно проводити вапнування, оскільки без оптимізації рН неможливо повністю реалізувати дію добрив і сортовий потенціал культури.

Другим напрямом є удосконалення системи удобрення. Азот доцільно вносити з урахуванням очікуваної врожайності та напрямку використання зерна. Для кормового ячменю допускаються вищі норми азоту, тоді як для пивоварного потрібно уникати надмірного білка. Фосфор і калій слід вносити за результатами аналізу ґрунту, а на легких ґрунтах особливу увагу приділяти сірці, магнію, міді, марганцю та цинку.

Третім напрямом є поліпшення сівозміни. Доцільно збільшувати частку зернобобових, багаторічних трав, сидеральних культур і проміжних посівів. Це сприятиме накопиченню органічної речовини, покращенню структури ґрунту, зменшенню забур'яненості та зниженню пестицидного навантаження.

Четвертим напрямом є впровадження інтегрованого захисту рослин. Захисні заходи мають починатися не з хімічної обробки, а з профілактики:

якісне протруювання насіння, стійкі сорти, дотримання сівозміни, оптимальні строки сівби, моніторинг посівів і застосування препаратів лише за потреби. Такий підхід відповідає європейській практиці IPM і дає змогу зменшити витрати без втрати врожайності.

П'ятим напрямом є використання цифрових технологій. Для господарств Житомирщини перспективними є GPS-контроль операцій, карти врожайності, супутниковий моніторинг NDVI, дрони для оцінки стану посівів, диференційоване внесення добрив і локальне внесення засобів захисту. Навіть часткове впровадження таких рішень дозволяє точніше управляти посівами та зменшувати виробничі витрати.

Шостим напрямом є підвищення якості післязбиральної доробки. Ячмінь потрібно своєчасно збирати, очищати, сушити й зберігати окремо за партіями залежно від сорту, вологості та якості. Це особливо важливо для господарств, які планують вирощувати зерно не лише на корм, а й для переробки.

Отже, технологія вирощування ячменю в Житомирській області має значний потенціал для вдосконалення. Основними резервами підвищення ефективності є адаптація технології до ґрунтово-кліматичних умов Полісся і Лісостепу, системне вапнування кислих ґрунтів, збалансоване удобрення, правильний добір сортів, рання сівба, інтегрований захист рослин, цифровий моніторинг та орієнтація на якість зерна. Використання європейського досвіду дає змогу не просто підвищити врожайність, а сформувати більш ресурсозберігаючу, екологічно безпечну й економічно ефективну технологію вирощування ячменю для умов Житомирської області.

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЯЧМЕНЮ

У цьому розділі спроектовано адаптивну технологію вирощування ярого ячменю для Житомирської області як для зони Полісся, так і для південнішої частини області, що належить до Лісостепу. За основу взято консервативно-надійний варіант із осіннім основним обробітком, ранньовесняним закриттям вологи, комбінованою передпосівною підготовкою, ранньою сівбою, розділеним внесенням азоту, інтегрованим захистом рослин і післязбиральною доробкою. У технологію обов'язково включено машину МТУ-18 для внесення твердих органічних добрив. Проєкт спирається на українські наукові рекомендації та європейський досвід AHDB і Teagasc, де ключовими вважаються: точне агрохімічне обстеження, доведення реакції ґрунтового розчину до оптимальної, внесення Р і К під сівбу, розщеплення азоту, мінімізація проходів техніки, запобігання ущільненню та ранній контроль бур'янів і хвороб. [1]

Запропонований варіант найбільше підходить для господарства середнього розміру, яке має 100 га ярого ячменю в структурі посівів і прагне отримати стабільний урожай 4,5–5,5 т/га без надмірного ризику зриву строків весняних польових робіт. Якщо вихідні дані господарства відрізняються, цей розділ слід розглядати як інженерний шаблон, що коригується за фактичними агрохімічними показниками поля, попередником, сортом, наявним парком машин і логістикою органічних добрив. Це припущення наведено явно, оскільки користувач не задав конкретної площі поля, врожайності, сорту та рівня забезпечення господарства технікою.

2.1. Вихідні умови для Житомирської області

Житомирська область розташована в межах Полісся і Лісостепу. Для неї характерні переважно дерново-підзолисті ґрунти, які займають понад 60% території області, часто мають низький вміст гумусу та підвищену кислотність;

у південнішій частині поширені також сірі лісові й темно-сірі опідзолені ґрунти. За агрокліматом область належить до вологої помірно теплої зони: на півночі випадає близько 600 мм опадів на рік, на півдні близько 570 мм, що з одного боку сприяє ярим культурам, а з іншого – створює ризики перезволоження, ущільнення й запізнення із заходом у поле навесні. Саме тому механічна технологія для Житомирщини має бути не просто “інтенсивною”, а керовано-обережною щодо структури ґрунту [2].

Європейський досвід добре підтверджує цю логіку. Teagasc для ярого ячменю рекомендує: регулярно проводити агрохімічне обстеження, підтримувати рН близько 6,5, вносити Р і К під сівбу, на легких і середніх за гранулометриєю ґрунтах враховувати сірку, уникати обробітку перезволоженого ґрунту, зменшувати кількість проходів і працювати на низькому тиску в шинах. АНДВ, своєю чергою, наголошує на ранній сівбі, коригуванні норми висіву за строком сівби та ранньому гербіцидному й своєчасному фунгіцидному захисті. Для Житомирської області це означає, що технологія повинна поєднувати ранні строки сівби, стислий цикл передпосівних робіт, помірну інтенсивність удобрення та чітку диференціацію між легшими ґрунтами Полісся і важчими ґрунтами півдня області. [3]

У цьому розділі зроблено такі проектні припущення: культура – ярий ячмінь на зерно; попередник – соя, картопля або кукурудза на силос/зерно; площа поля – 100 га; технологія орієнтована на ранню сівбу в оптимально коротке весняне “вікно”. Базова схема удобрення прийнята на рівні N60P45K45, а на бідних піщано-супіщаних ґрунтах Полісся додано 10–15 т/га твердих органічних добрив з відповідним зменшенням дози мінерального азоту. Це саме проектне припущення, яке має бути уточнене за результатами ґрунтового аналізу поля.

2.2. Проектована технологія та склад агрегатів

Проектна технологія вибудована в такій логіці: органічна речовина та основний обробіток восени, щоб розвантажити весну; мінімальна кількість

весняних проходів, щоб не втрачати вологу і не ущільнювати ґрунт; рання сівба; узгоджене живлення з перевагою Р і К на старті й перенесенням основної частини азоту в тилеринг; інтегрований захист з опорою на моніторинг і економічні пороги шкодочинності. Такий підхід узгоджується і з українськими методичними рекомендаціями, і з практикою Teagasc/АНДВ: для ярого ячменю важливі ранній старт, якісне насіннєве ложе, оптимальна густота стояння, живлення на початкових фазах росту та своєчасний захист від хвороб і бур'янів [4].

Норму висіву доцільно приймати в межах 4,0–4,5 млн схожих насінин/га, підвищуючи її за пізнішої сівби; глибину загортання – 3–4 см на важчих ґрунтах і 5–6 см на легших. Для поля з МТЗ = 50 г, очікуваною польовою схожістю 85–90% і цільовим стеблостоем 350–380 рослин/м² масова норма висіву зазвичай становитиме близько 210–230 кг/га. На легких і середніх ґрунтах Teagasc рекомендує також враховувати внесення 15 кг/га S, а на бідних за фосфором полях – розмішувати фосфор ближче до насіння або вносити його під сівбу. [5]Захист рослин у технологічному проєкті закладається в межах інтегрованого захисту рослин, тобто без шаблонних обробок “за календарем”, але з обов’язковими моніторингом і використанням лише препаратів із чинного Державного реєстру пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. Для бур'янів доцільна рання післясходова обробка у фазі GS14–23, а фунгіцидний захист слід прив’язувати до фактичного інфекційного фону, де для більшості посівів ячменю основними залишаються T1 і T2 схеми [6].

Таблиця 2.1. – Проектована технологія та склад агрегатів

Операція	Машина	Основні технічні характеристики машини	Трактор або енергозасіб	Потужність, ВОМ, маса трактора	Проектне призначення
Внесення твердих органічних добрив	MTV-18	кузов 15 м³; маса 6,0 т; норма внесення 10–60 т/га; ширина 8–12 м; продуктивність 115 т/год; привод робочих органів від ВОМ 1000 об/хв	BELARUS 2022.3	212 к.с. / 156 кВт; ВОМ 540/1000; експлуатаційна маса 7,2–10,0 т	Осіннє внесення 10–15 т/га на полях із низьким гумусом
Основний обробіток ґрунту	LEMKEN Juwel 8 M 6 N 100	6 корпусів; потреба 140–240 к.с.; маса 1774 кг; ширина захвату корпусу 33/38/44/50 см	John Deere 6R 215	215 к.с. / 158 кВт; ВОМ 540/540E/1000; маса 8,6 т	Зяблева оранка 20–22 см на важчих і засмічених полях
Ранньовесняне боронування	LOZOVA LIRA-15	ширина 15 м; глибина до 9 см; маса 2030 кг; робоча швидкість 8–15 км/год; продуктивність до 18 га/год	John Deere 6M 120	120 к.с. / 88,3 кВт; ВОМ 540/1000; маса 6,25 т	Закриття вологи, руйнування кірки, вирівнювання
Внесення мінеральних добрив	AMAZONE ZA-V 2000 Special	бункер 2 м³; робоча ширина 15–36 м; норма подачі до 390 кг/хв; маса близько 400 кг	John Deere 6M 120	120 к.с.; ВОМ 540/1000; маса 6,25 т	Підсівне або передпосівне внесення Р, К і частини N
Передпосівна підготовка	LEMKEN Korund 8/600 K	ширина 6 м; глибина 2–12 см; маса 2710 кг; вимога до трактора 110–200 к.с.	John Deere 6155M	155 к.с. / 114 кВт; ВОМ 540/540E/1000; маса 6,7 т	Формування дрібногрудкуватого насіннєвого ложа за 1 прохід
Протруєння насіння	ПС-10А або аналог	стаціонарний протруювач; продуктивність добирають під обсяг насіння	не потрібно		Передпосівна підготовка насіння; модель наведена як типовий приклад
Сівба	HORSCH Pronto 6 DC PPF	робоча ширина 6 м; міжряддя 15 см; можливість точного висіву на високій швидкості; TurboDisc до 20 км/год; низька тягова потреба	John Deere 6R 215	215 к.с.; ВОМ 540/540E/1000; маса 8,6 т	Рання сівба з мінімумом проходів і стабільним загортанням
Прикотковування	Väderstad Rollex 620	ширина 6,2 м; маса 2540 кг; рекомендована швидкість 10 км/год	John Deere 6M 120	120 к.с.; ВОМ 540/1000; маса 6,25 т	За потреби на легких або грудкуватих полях
Обприскування	AMAZONE UF 1801 24 м	бак 1980 л; ширина 24 м; насос 210 л/хв; маса 1216 кг	John Deere 6155M	155 к.с.; ВОМ 540/540E/1000; маса 6,7 т	Гербіцидні, фунгіцидні, інсектицидні обробки
Збирання	John Deere T560	двигун 285 кВт / 387 к.с.; активна сепарація 3,30 м²; площа очистки 5,20 м²	самохідна машина		Пряме комбайнування ячменю
Транспортування зерна	2ПТС-12 або аналог	причіп вантажопідйомністю близько 12 т	John Deere 6155M	155 к.с.; ВОМ 540/540E/1000; маса 6,7 т	Вивезення зерна від комбайна до току
Післязбиральна доробка	OVC-25 / PETKUS або аналог + сушарка модульного типу	стаціонарна лінія очищення і досушування	не потрібно		Очищення, доведення до безпечної вологості зберігання

2.3. Обґрунтування вибору машин для ґрунтів Полісся і Лісостепу

Для Житомирської області я свідомо не проєктую “жорстко мінімальний” варіант технології, а закладаю адаптивну систему, де базою є плужний або комбінований варіант, а зменшення глибини й кількості проходів застосовується лише там, де ґрунт цього реально дозволяє. Це повністю відповідає європейському досвіду: Teagasc прямо вказує, що на ґрунтах легкого і середнього гранулометричного складу без проблем зі структурою мінімальний обробіток може бути успішним, але плужні системи працюють добре на всіх ґрунтах, а глибоке розпушування слід виконувати лише за наявності ущільнення і тільки в сухих умовах. Для Житомирщини, де весна часто волога, це критично [8].

МТУ-18 доцільно включати не як формальну вимогу, а як реальний інструмент відновлення родючості на бідніших дерново-підзолистих ґрунтах. За вмісту гумусу до 1,5% внесення хоча б 10–15 т/га твердих органічних добрив під осінній обробіток виправдане агрономічно: органічна речовина поліпшує водоутримання, буферність і структуру ґрунту, а Teagasc окремо наголошує, що органічні добрива є цінним джерелом N, P і K і вимагають відповідного коригування мінерального удобрення. В умовах Житомирського Полісся це особливо важливо [9].

LEMKEN Juwel 8 як основний ґрунтообробний агрегат обрано тому, що він дозволяє стабільно працювати на важчих і засмічених полях, а також на ділянках, де навесні високий ризик переущільнення. Для ячменю, який дуже чутливий до якості насінневого ложа і ранніх строків сівби, краще увійти у весну з вирівняним фоном після осінньої оранки, ніж намагатися “наздоганяти” проблему кількома весняними проходами. На легших ґрунтах, де структура задовільна, глибину й інтенсивність цього заходу можна зменшувати; однак як базове проектне рішення для області в цілому плуг є більш надійним [10].

LOZOVA LIRA-15 придатна саме для Житомирщини завдяки дуже малій питомій витраті пального, великій ширині захвату й можливості швидко закрити вологу в короткому вікні ранньої весни. Для Полісся, де день

запізнення із входом у поле часто дорожчий за номінальну економію пального, широкозахватне боронування є технологічно виправданим. Тут важливо, що LIRA працює з помірними тракторами, а отже не створює надмірного тиску на ґрунт [11].

LEMKEN Korund 8/600 K обрано як базовий агрегат передпосівної підготовки, бо він забезпечує саме те, що потрібно ярому ячменю: дрібногрудкувате, рівномірне насіннєве ложе за один прохід. Для господарств Житомирської області це важливіше за “максимальну ширину”, адже навесні вирішальними стають не лише гектари за годину, а й якість кінцевого насіннєвого ложа. На легших піщано-супіщаних ґрунтах альтернативою може бути менш агресивний культиваторний варіант або навіть мінімальний обробіток, але після осінньої оранки саме Korund є дуже вдалим компромісом між якістю роботи, потужністю трактора й капіталовкладеннями [12]

HORSCH Pronto 6 DC PPF доцільний для базового проекту тому, що поєднує високу швидкість роботи, одночасне формування посівного ложа, прикочування і власне висів. Для Житомирської області це означає менше проходів, меншу втрату вологи й вищу ймовірність вкластися в оптимальні строки. У Brochure HORSCH прямо підкреслює низьку тягову потребу за рахунок шинного пакера і надійну роботу сошника TurboDisc навіть на високих швидкостях. Європейська практика переходу до комбінованих сівалок добре відповідає саме умовам нестабільної весни. [13]

AMAZONE ZA-V і UF 1801 логічні для точного удобрення й захисту. Для ZA-V перевагою є велика робоча ширина й вагова система, а для UF 1801 – достатня, але не надмірна місткість бака. На перезволожених полях Полісся небажано працювати надто важкими причіпними обприскувачами навесні, тому навісний формат із добрим балансуванням трактора є практичним компромісом. Väderstad Rollex 620 вноситься в технологію як опційний агрегат: на легких ґрунтах він покращує контакт насіння з ґрунтом, але на перезволожених або запливаючих важких ділянках його слід застосовувати вибірково [14].

Нижче наведено запропоновану схему послідовності операцій для вставки в Word у вигляді Mermaid-діаграми. Вона відображає саме той логічний ланцюг, який найкраще відповідає умовам Житомирської області: спочатку стабілізація ґрунтового стану, потім стислий весняний цикл, далі моніторинговий захист і післязбиральна доробка [15].

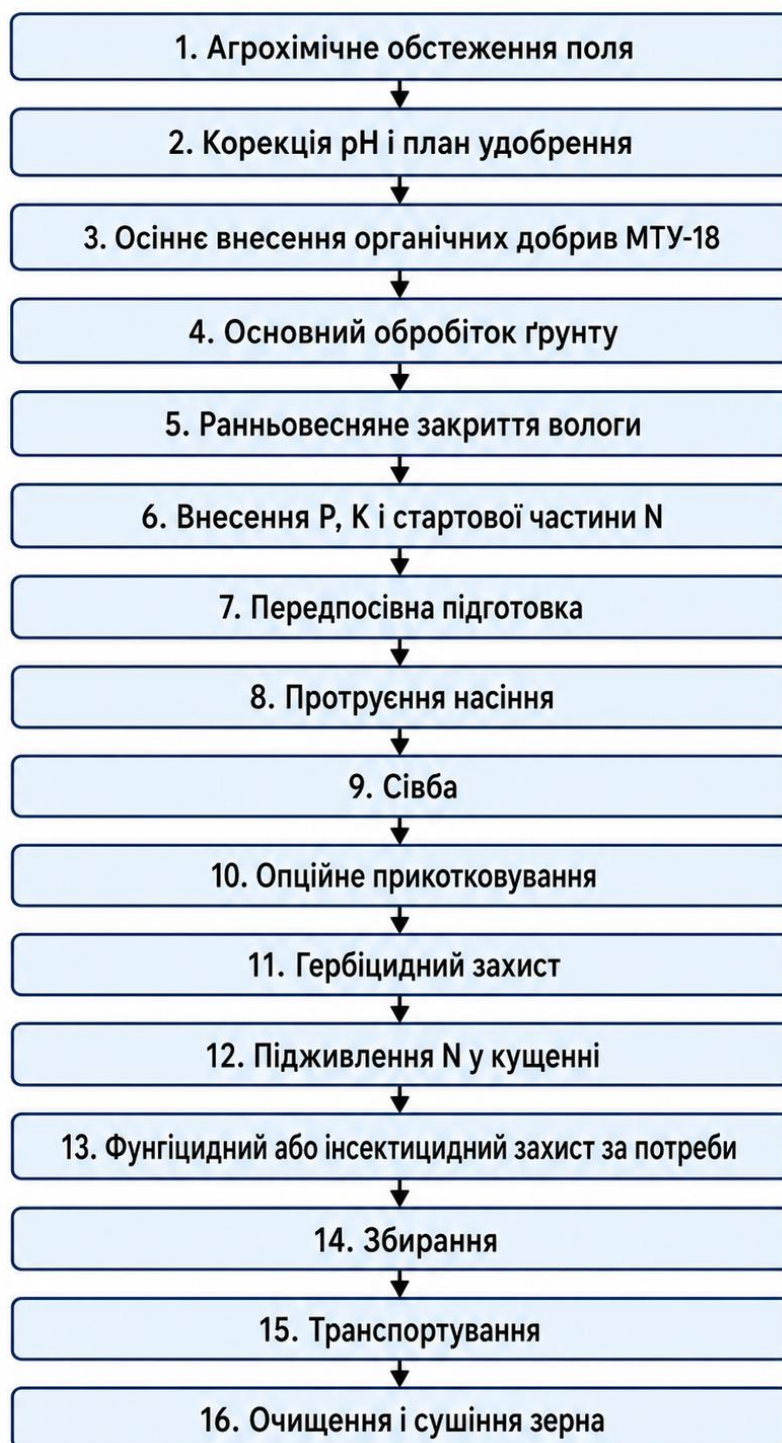


Рис. 2.1. Схема послідовності операцій.

2.4. Розрахунок продуктивності, часу та витрат пального

Для інженерного прикладу розрахуємо роботу агрегату John Deere 6R 215 + HORSCH Pronto 6 DC PPF на операції сівби ярого ячменю. Вихідні дані приймаємо такі: робоча ширина $B = 6,0$ м; робоча швидкість $v = 12$ км/год; коефіцієнт використання часу зміни та ширини захвату $\eta = 0,75$; розрахункова площа поля $S = 100$ га. Значення для ширини захвату і здатності працювати на підвищених швидкостях узяті з даних по Pronto 6 DC, а потужність, масу – з технічних характеристик John Deere 6R 215. Швидкість 12 км/год приймається консервативно, хоча TurboDisc конструктивно допускає і вищі робочі швидкості. [17]

Теоретична продуктивність агрегату визначається за формулою:

$$W_T = \frac{B \cdot v}{10} \quad (2.1)$$

де W_T – теоретична продуктивність, га/год;

B – робоча ширина, м;

v – швидкість руху, км/год;

10 – коефіцієнт переходу в га/год.

Підставляємо числові значення:

$$W_T = \frac{6,0 \cdot 12}{10} = 7,2 \text{ га/год}$$

Ефективна продуктивність:

$$W_e = W_T \cdot \eta = 7,2 \cdot 0,75 = 5,4 \text{ га/год} \quad (2.2)$$

Отже, один агрегат за фактичних польових умов може засівати близько 5,4 га/год.

Час на виконання роботи на площі 100 га:

$$T = \frac{S}{W_e} = \frac{100}{5,4} = 18,52 \text{ год} \quad (2.3)$$

Тобто чистий польовий час становитиме приблизно 18,5 год, або близько 2,1 робочої зміни по 9 год чистого технологічного часу. Якщо врахувати щоденне обслуговування, завантаження насіння і технологічні простой, практично слід планувати 2,5 зміни.

Годинну витрату пального визначимо за спрощеною інженерною формулою:

$$Q_{\Gamma} = \frac{N_e \cdot k_3 \cdot q}{\rho} \quad (2.4)$$

де Q_{Γ} – годинна витрата пального, л/год;

N_e – ефективна потужність двигуна, кВт;

k_3 – коефіцієнт завантаження двигуна;

q – питома витрата пального, кг/(кВт·год);

ρ – густина дизельного пального, кг/л.

Приймаємо: $N_e = 158$ кВт;

$k_3 = 0,60$ – для сівби з комбінованою сівалкою;

$q = 0,225$ кг/(кВт·год);

$\rho = 0,84$ кг/л.

Тоді:

$$Q_{\Gamma} = \frac{158 \cdot 0,60 \cdot 0,225}{0,84} = 25,39 \text{ л/год}$$

Питома витрата пального на 1 га:

$$Q_{\text{га}} = \frac{Q_{\Gamma}}{W_e} = \frac{25,39}{5,4} = 4,70 \text{ л/га}$$

Отже, на площу 100 га потрібно:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{га}} \cdot S = 4,70 \cdot 100 = 470 \text{ л}$$

За умовної розрахункової ціни дизельного пального 60 грн/л отримаємо паливну складову:

$$C_{\Pi} = 4,70 \cdot 60 = 282 \text{ грн/га}$$

Якщо додати укрупнено оплату праці, амортизацію і ремонт, проектна машинна собівартість операції сівби становить близько 430–470 грн/га, а для 100 га – близько 43–47 тис. грн без вартості насіння. Це не норматив господарства, а розрахункова оцінка, яку слід уточнювати за фактичними бухгалтерськими ставками.

2.5. Порівняння альтернативних машин

Для вибору сівалки в умовах Житомирської області важливі не лише паспортні можливості, а й співвідношення між шириною захвату, реальною пропускною здатністю весняного “вікна”, тяговими вимогами, питомою витратою пального і капіталовкладеннями. Нижче наведено порівняння трьох варіантів, які репрезентують різні підходи: високопродуктивний комбінований посівний комплекс, інтенсивну 6-метрову сівалку з одночасним внесенням добрив і компактнішу 4-метрову комбіновану сівалку з нижчим порогом входу. Показники продуктивності й витрат пального розраховані за єдиною формулою $W_e = B \cdot v \cdot \eta / 10$ і є інженерною оцінкою, а не паспортом виробника. Ціни наведено як орієнтовні публічні пропозиції, переважно на вторинному ринку у 2026 році. [18]

Таблиця 2.2 – Порівняння сівалок.

Варіант	Робоча ширина, м	Робоча швидкість, км/год	Розрахункова ефективна продуктивність, га/год	Оцінка витрати пального, л/га	Орієнтовна ціна, €	Вимоги до трактора	Висновок для Житомирщини
HORSCH Pronto 6 DC PPF	6,0	12	5,4	4,7	125 700	від 180 к.с.; у проекті – John Deere 6R 215	Найкращий компроміс між швидкістю посіву, якістю й тяговими вимогами
AMAZONE Cirrus 6003-2C	6,0	13	5,8	5,2	107 100	220 к.с.; у проекті – John Deere 6R 215	Доцільна там, де критична місткість бункера і одночасне внесення добрив
Väderstad Rapid 400C	4,0	12	3,7	4,1	49 700	від 130 к.с.; можливий John Deere 6M 120 / трактор 130–150 к.с.	Найкраща для менших площ ячменю й обмеженого бюджету

Примітка до таблиці. Для HORSCH використано публічну пропозицію Pronto 6 DC PPF і офіційний опис швидкісної роботи системи TurboDisc; для Cirrus 6003-2C – офіційний технічний аркуш AMAZONE; для Rapid 400C – офіційну технічну сторінку Väderstad і публічні пропозиції по машині. Продуктивність і витрата пального – розрахункові, за єдиною методикою [19].

Для передпосівної підготовки також доцільно порівняти альтернативні машини, оскільки саме ця операція часто формує “вузьке місце” навесні. У Житомирській області різниця між легкими піщано-супіщаними ґрунтами Полісся та важчими суглинками півдня означає, що універсальної машини для всіх полів не існує. Саме тому нижче наведено три варіанти, з яких LEMKEN Korund 8/600 K рекомендовано як базовий для даного проєкту [20].

Таблиця 2.3 – Порівняння агрегатів для передпосівного обробітку.

Варіант	Ширина, м	Паспортні особливості	Розрахункова продуктивність, га/год	Оцінка витрати пального, л/га	Орієнтовна публічна ціна, €	Вимоги до трактора	Практичний висновок
LEMKEN Korund 8/600 K	6,0	2–12 см; 110–200 к.с.; маса 2710 кг	4,8	3,5	16 124	John Deere 6155M або аналог 140–160 к.с.	Найкращий баланс для поля після оранки
Farmet Kompaktomat K600 PS	6,0	10–14 км/год; 4,5–7 га/год; 180 к.с.	5,5	4,0	20 589	трактор від 180 к.с.	Дуже сильний варіант для якісного ложа за 1 прохід
Väderstad NZ Aggressive 600	5,95	до 10 см; >100 к.с.; інтенсивне вирівнювання і збереження вологи	5,2	3,8	близько 35 000	трактор від 120–150 к.с.	Перевага на легших та середніх ґрунтах, коли важливі ранній вхід і менше проходів

Примітка до таблиці. Дані по Korund – з офіційної сторінки LEMKEN; по Farmet – з офіційної сторінки Kompaktomat та публічної пропозиції; по NZ Aggressive – з офіційної сторінки Väderstad. Ціни на вторинному ринку значно залежать від року випуску і комплектації, тому їх слід розглядати як орієнтир, а не як комерційну оферту [21].

З погляду саме Житомирської області, вибір можна підсумувати так. Якщо площа ярого ячменю становить до 70–80 га, а бюджет технічного переоснащення обмежений, економічно виправданим може бути Väderstad Rapid 400C. Якщо поле ячменю 100 га і більше, а весняні строки стисли, раціональніше працювати 6-метровою машиною. Серед них HORSCH Pronto 6 DC виглядає найкращим компромісом для універсального господарства, тоді як

AMAZONE Cirrus 6003-2C є особливо цікавою за потреби інтенсивнішого комбінованого посіву з добривами. Для передпосівної підготовки корисно мати або Korund 8/600 K, якщо ставка робиться на якість після плуга, або Kompaktomat K600 PS, якщо господарство готове до дещо більшої тягової потреби заради високої якості вирівнювання поля. Це є вже не просто технічним, а організаційно-економічним вибором.

2.6. Адаптація технології до різних ґрунтів і ризиків

На дерново-підзолистих піщаних і супіщаних ґрунтах Полісся головними завданнями є підвищення вмісту органічної речовини, доведення рН до близьких до оптимуму значень, зменшення кількості проходів і недопущення пересушування верхнього шару. Тут особливо виправдані МТУ-18 для 10–15 т/га органіки, помірна передпосівна культивация, розміщення Р ближче до насіння, ранньовесняне боронування для закриття вологи, а також вибіркове прикотковування після сівби. За Teagasc, на легких і середніх ґрунтах ярий ячмінь дуже чутливий до рН, Р, К, S і якісної консолідації насінневого ложа; дефіцити Mn, Cu і Zn також частіші саме на таких ґрунтах. [9]

На важчих сірих лісових і темно-сірих опідзолених ґрунтах півдня області пріоритети дещо інші: тут вищий ризик утворення брил, запливання й поверхневого ущільнення. Тому зяблева оранка, якісне вирівнювання поля, ранній вихід у поле й мінімальна кількість весняних проходів часто ефективніші, ніж намагання “доробити” поле серією дрібних культиваций. Тут також більшого значення набуває контроль глибини й своєчасності весняних операцій: якщо ґрунт ще не “несучий”, краще трохи відтермінувати один прохід, ніж зруйнувати структуру на весь сезон [22].

Ризик перезволоження для Житомирщини є ключовим. Європейські рекомендації тут однозначні: не працювати по вологому ґрунту, застосовувати більші шини з нижчим тиском, зменшувати число проходів, а при повторюваних проблемах із застійною водою передбачати ремонт дренажу або локальні меліоративні заходи. Teagasc також вказує орієнтовні безпечні рівні

тиску в шинах: менше 1,0 бар для оранки і менше 0,8 бар для вторинного обробітку. Для практики Житомирської області це означає, що навіть правильно підібрана машина дає поганий результат, якщо працює в неправильний момент [23].

На полях із ризиком ерозії або на схилах технологію слід адаптувати так, щоб не залишати поверхню голою надовго: зменшувати інтенсивність весняного механічного обробітку, зберігати частину рослинних решток, вести агрегати поперек схилу або по контуру, не допускати зайвого розпушування й особливо обережно працювати важкими навісними обприскувачами після опадів. Для ярого ячменю така обережність не знижує технологічність, а навпаки - підвищує стабільність результату.

Для вставлення ілюстрацій у Microsoft Word цей розділ уже придатний у текстовому вигляді. Практично слід зробити так: Mermaid-код вставити у будь-який сумісний Mermaid-редактор, експортувати в SVG або PNG, після чого вставити у Word як рисунок; таблиці краще розміщувати на сторінці Landscape, шапку таблиці повторювати на кожній сторінці, а ширину колонок фіксувати вручну; графік продуктивності агрегатів найпростіше побудувати у Word або Excel за даними наведених порівняльних таблиць, використовуючи стовпчиковий тип діаграми. Це дає повністю “дипломний” за виглядом результат без додаткового переписування.

2.7. Технологічна карта вирощування ячменю

Витрати на 1 га розраховані умовно-розрахунково станом на травень 2026 року за проектними припущеннями: дизельне пальне 80 грн/л; ціна насіння, мінеральних добрив і ЗЗР – за укрупненими господарськими ставками; публічні ціни на техніку враховано лише при порівнянні машин, а не в самій карті; для органічних добрив у карті враховано вартість внесення, але не вартість самого гною як внутрішньогосподарського ресурсу.

Таблиця 2.4 – Технологічна карта вирощування ячменю

Операція	Орієнтовний строк	Норма / параметр	Агрегат	Продуктивність, т/га	Пальне, л/га	Витрати на 1 га, грн	Примітка
Осіньне внесення твердих органічних добрив	вересень–жовтень	10–15 т/га	MTY-18 + BELARUS 2022.3	2,0*	5,0	420**	На полях із гумусом <2%; зменшити мінеральний N
Основний обробіток ґрунту	вересень–жовтень	оранка 20–22 см	Juwel 8 + John Deere 6R 215	1,6	16,0	1450	Базовий варіант для області
Ранньовесняне боронування	березень, фізична стиглість ґрунту	2–4 см	LIRA-15 + John Deere 6M 120	14,4	1,2	150	Закриття вологи
Внесення P, K і стартової частини N	перед культивацією / під сівбу	орієнтовно N15P45K45	ZA-V 2000 + John Deere 6M 120	25,2	1,1	6000	Коригувати за агрохімією поля
Протруєння насіння	за 1–3 доби до сівби	фунгіцидний протруйник за етикеткою	ПС-10A або аналог			410	Лише препарати з чинного Реєстру
Передпосівна підготовка	безпосередньо перед сівбою	4–6 см	Korund 8/600 K + John Deere 6155M	4,8	3,5	380	1 прохід; не допускати пересушування
Сівба	березень – початок квітня	4,2 млн схожих насінин/га; 210–230 кг/га; глибина 3–4 см важкі, 5–6 см легкі	HORSCH Pronto 6 DC + John Deere 6R 215	5,4	4,7	4380	Витрати включають насіння та машинну операцію
Прикотковування	відразу після сівби, за потреби	суцільне, 1 прохід	Rollex 620 + John Deere 6M 120	5,0	1,5	220	Переважно на легких або грудкуватих полях
Гербіцидний захист	фаза 2–3 листки – кушення	препарат за видовим складом бур'янів	UF 1801 + John Deere 6155M	20,2	0,8	1200	Орієнтуватися на ранню фазу GS14–23
Азотне підживлення	кушення	N45	ZA-V 2000 + John Deere 6M 120	25,2	1,1	3400	Для солодових посівів дозу й строки уточнювати
Фунгіцидний захист	вихід у трубку – прапорцевий листок	1 обробка за інфекційним фоном	UF 1801 + John Deere 6155M	20,2	0,8	950	Базово T1–T2 логіка, але за моніторингом
Інсектицидний захист	за потреби	лише за ЕПШ	UF 1801 + John Deere 6155M	20,2	0,8	0–350	У карті не закладається як обов'язковий щорічний захід
Збирання	липень	пряме комбайнування	John Deere T560	2,8	14,0	1700	За повної стиглості
Транспортування зерна	під час жнив	1–2 рейси/га	2ПТС-12 + John Deere 6155M		1,5	250	Залежить від відстані до току
Очищення і сушіння	одразу після збирання	доведення до безпечної вологості зберігання	стаціонарна лінія			420	У вологі роки ця стаття зростає

Сумарні прямі технологічні витрати базового варіанта становлять приблизно 22,0 тис. грн/га без урахування орендної плати за землю, відсотків на капітал і вартості власних органічних добрив. Без опційного прикотковування та без щорічного інсектицидного обробітку рівень витрат

практично не змінює загальної архітектури технології, але покращує її гнучкість залежно від року.

Ключові норми в карті спираються на такі положення: рання сівба і корекція норми висіву за строком; внесення Р і К під сівбу; близько 30% загального N на старті та основний N у фазі кущення; бажаність S на легких і середніх ґрунтах; ранній гербіцидний захист; фунгіцидний захист у логіці T1–T2; застосування лише зареєстрованих в Україні препаратів у рамках інтегрованого захисту [24].

Обмеження цього проекту коротко такі. По-перше, конкретну дозу добрив слід остаточно встановлювати лише після фактичного агрохімічного обстеження поля. По-друге, для солодового ячменю азотну частину технології потрібно окремо коригувати під цільовий вміст білка. По-третє, порівняльні ціни на машини наведено за публічними пропозиціями, переважно на вторинному ринку, тому вони придатні для техніко-економічного орієнтування, але не замінюють дилерської комерційної пропозиції. По-четверте, модель стаціонарної післязбиральної лінії в цьому розділі наведена як типовий приклад, бо вихідні дані господарства щодо току або зерносушильного комплексу не були задані [25].

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ МАШИНИ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ МТУ-18

3.1 Обґрунтування теми дипломного проєкту

Розкидувальний шнек машини МТУ-18 призначений для прийому маси добрив, що надходять з подавального транспортера машини, та розкидання на задану робочу ширину захвату.

Однак через недосконалість конструкції розкидувального шнека машини МТУ-18 не здійснюється належного відокремлення порції гною від його основної маси, що подається транспортером до шнека. З цієї причини на розкидання гною витрачається понад 10 кВт енергії в розрахунку на один шнек, а також нерівномірність внесення твердих органічних добрив перевищує допустимі агротехнічними вимогами 25%.

Для усунення цих негативних факторів, що впливають як на якість розподілу твердих органічних добрив по полю, так і на енергоємність технологічної операції з внесення гною, передбачається доповнити існуючу конструкцію шнека відокремлювальними ножами, які дозволять ефективно відокремлювати порцію гною, необхідну для відкидання від загальної маси, що подається до шнека, а раціональне, обґрунтоване розташування ножів щодо відкидальних лопаток дозволить підвищити якість розподілу гною по полю, що, у свою чергу, дозволить отримати економічний ефект модернізованої машини над базовою за рахунок приросту врожаю від рівномірного внесення гною та зниження витрат енергії на привід.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- обґрунтувати раціональну частоту обертання розкидувального шнека;
- обґрунтувати геометричні параметри гвинтової поверхні розкидувального шнека, параметри ножів і лопаток, а також їх взаємне розташування;

– розрахунковим шляхом підтвердити зниження витрат енергії в модернізованій машині порівняно з базовою.

3.2 Коротка технічна характеристика причеп у розкидувального МТУ-18

Показники технічної характеристики наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика

Назва показника	Значення
1. Марка	МТУ-18
2. Маса, кг, не більше	6200
3. Робоча швидкість руху, км/год	до 15
4. Транспортна швидкість, км/год	до 25
5. Робоча ширина захвату, м	8-12
6. Діапазон доз внесення, т/га	від 10 до 60
7. Вантажопідйомність, т, не більше	18,0
8. Ширина колії, мм	2150 $\pm$ –50
9. Дорожній просвіт, мм, не менше	500
10. Трудомісткість переведення причепа на іншу дозу внесення, чол.-год., не більше	0,08
11. Коефіцієнт готовності, не менше	0,96
12. Кількість розкидувальних шнеків, шт	2
13. Габаритні розміри, мм, не більше:	
– довжина	8500
– ширина	2500
– висота	3800
14. Об'єм кузова, м ³ , не менше	21
- з встановленими додатковими бортами, м ³ , не менше	28
15. Висота причепа з піднятим заднім бортом, мм, не більше	4500
16. Питомий тиск коліс на ґрунт, МПа, не більше	0,15
17. Кількість персоналу, необхідного для обслуговування причепа	1 (тракторист)
18. Термін служби, років, не менше	10

3.3 Будова та принцип роботи, основні регулювання

Причіп МТУ-18 відповідно до малюнків 3.1 і 3.2 складається з таких основних частин: шасі, кузова для добрив 1, розкидувальних шнеків 3, подавального транспортера 4, світлосигнального обладнання заднього борту.

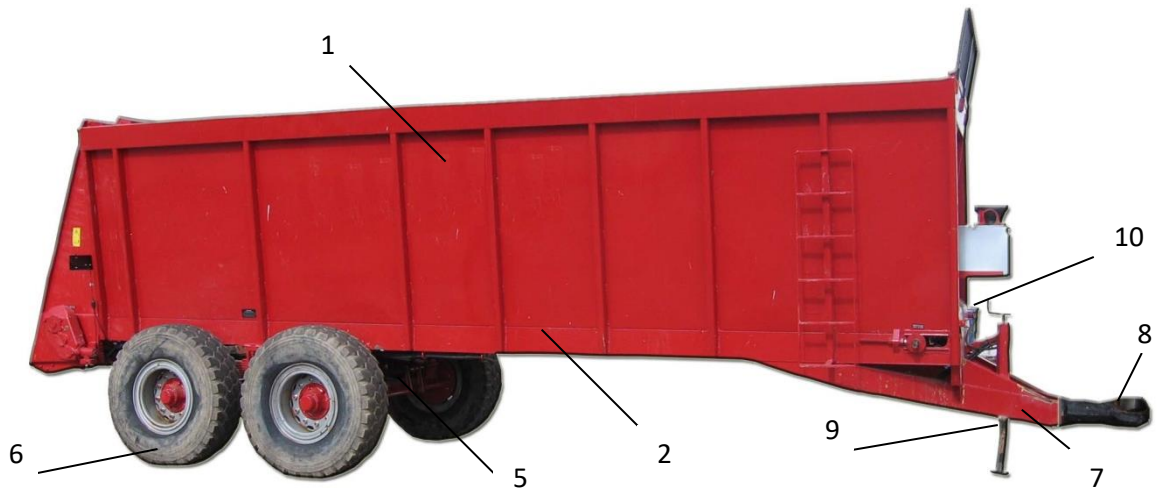


Рис. 3.1. Причіп МТУ-18 (Вигляд збоку): 1 – кузов; 2 – рама; 5 – колісний хід; 6 – колесо; 7 – дишло; 8 – зчіпна петля; 9 – опора стояночна; 10 – лімб регулювання швидкості подавального транспортера

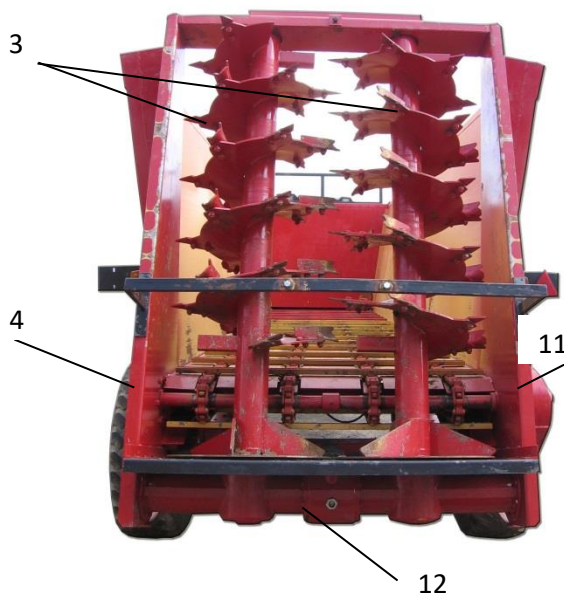


Рис. 3.2. Причіп МТУ-18 (Вигляд ззаду): 3 – розкидні шнеки; 4 – подаючий транспортер; 11 – редуктор приводу подаючого транспортера; 12 – редуктор приводу розкидних шнеків

Робочі органи розкидання відцентрового типу призначені для подрібнення та розкидання добрив. Відповідно до малюнка 4.3 вони складаються зі шнеків 1, на витках яких по черзі встановлені ніж 2 і лопатка 3.

Подаючий транспортер відповідно до малюнка 3 являє собою ланцюгово-планчатий транспортер 1, розташований на дні кузова. Подаючий

транспортер призначений для подачі добрив з кузова до шнекових розкидувальних робочих органів.

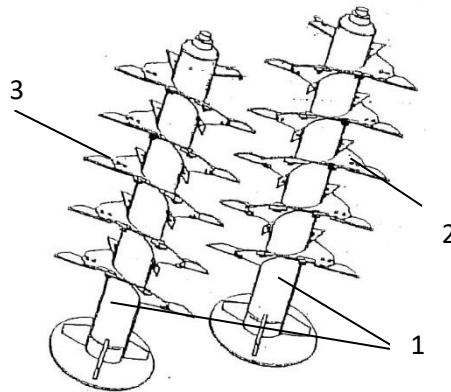


Рис. 3.3. Шнекові розкидні робочі органи 1 – розкидні шнеки; 2 – ніж; 3 – лопатка.

Регулювання швидкості транспортера здійснюється поворотом лімба регулятора, розташованого на причепі, попереду. Для зменшення швидкості лімб повертається проти годинникової стрілки. Для уникнення помилкового ввімкнення транспортера у зворотному напрямку, що може призвести до його поломки, у гідросистемі причепа на редукторі приводу транспортера встановлено зворотний клапан; в аварійних випадках, при необхідності ввімкнення транспортера у зворотному напрямку, слід зняти зворотний клапан, з подальшим його встановленням.

Принцип роботи причепа МТУ-18 полягає в наступному. Добрива з кузова подаючим транспортером виносяться через задній дозуючий борт і подаються на шнекові обертові відцентрові робочі органи, які розподіляють добрива по поверхні поля.

3.4 Обґрунтування частоти обертання розкидувального шнека

Оптимальні умови роботи шнекового розподільника забезпечуються при однаковій кількості органічних добрив, що надходять з подавального транспортера машини та відкидаються шнековим розподільником:

$$W_{\text{тр}} = W_{\text{ш}}, \quad (3.1)$$

Де $W_{\text{тр}}$ – продуктивність транспортера, кг/с ;

$W_{\text{ш}}$ – продуктивність шнекового розподільника, кг/с .

$$W_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} v_{\text{тр}} \gamma, \quad (3.2)$$

де $F_{\text{тр}}$ – площа поперечного перерізу подаваної маси добрив, м^2 ;

$v_{\text{тр}}$ – швидкість подачі добрив, м/с ;

γ – сипуча щільність гною, кг/м^3 .

Площа завантажувальної частини визначається як:

$$F_{\text{тр}} = h_{\text{тр}} \cdot b_{\text{тр}}, \quad (3.3)$$

де $h_{\text{тр}}$ – площа поперечного перерізу подаваної маси добрив, м^2 ;

$b_{\text{тр}}$ – швидкість витікання добрив, м/с .

$$F_{\text{тр}} = 3,2 \cdot 2,8 = 8,9 \text{ м}^2.$$

Продуктивність шнекового розподільного пристрою визначається залежністю:

З урахуванням того, що щільність гною становить $\gamma = 0,91 \text{ кг/м}^3$, а швидкість подавального транспортера машини ПМФ-18 дорівнює $v_{\text{тр}} = 0,8 \text{ м/с}$, отримаємо:

$$W_{\text{тр}} = 8,9 \cdot 0,8 \cdot 0,91 = 6,5 \text{ кг/с}.$$

$$W_{\text{ш}} = 0,0131(D_{\text{в}}^2 - d^2) S n_{\text{в}} \psi \gamma c, \quad (3.4)$$

де $D_{\text{в}}$ – діаметр зовнішньої кромки шнека, м ;

d – діаметр внутрішньої кромки шнека, м ;

S – крок витків шнека, м ;

$n_{\text{в}}$ – частота обертання шнека, об/хв ;

ψ – коефіцієнт заповнення витків шнека;

c – поправочний коефіцієнт, що враховує кут нахилу шнека до горизонту.

З огляду на те, що в машині встановлено два розкидувальні шнеки, отримаємо:

$$W_{\text{ш}} = 2 \cdot 0,0131(0,24^2 - 0,14^2) 0,32 \cdot 350 \cdot 1 \cdot 0,91 \cdot 1 = 5,1 \text{ кг/с}$$

Основною технологічною характеристикою подавального пристрою є його продуктивність (кг/с), яку, виходячи з гектарної дози внесення, що задається агротехнічними вимогами, можна визначити за формулою:

$$W_m = \frac{Q v_m B_m}{3,6 \times 10^4}, \quad (3.5)$$

де Q – норма висіву добрив за агротехнічними вимогами, кг/га ;

v_m – робоча швидкість машини, км/год ;

B_m – робоча ширина захвату машини, м .

Результати розрахунку операційно-технологічної карти показали, що раціональна робоча швидкість, яка не виходить за межі, встановлені агротехнічними вимогами, становить 8 км/год, ширина захвату машини, згідно з технічною характеристикою, становить 11,5 м, а середня доза добрив, що щорічно вносяться в господарстві, становить 20 т/га, тоді:

$$W_m = \frac{2000 \cdot 8 \cdot 11,5}{3,6 \times 10^4} = 5,1 \text{ кг/с}.$$

Секундна продуктивність шнекового розподільника становитиме (кг/га).

Частота обертання шнека визначається за виразом:

$$n_b = \frac{Q v_m B_m}{(D^2 - d^2) S \psi \gamma c}. \quad (3.6)$$

$$n_b = \frac{20 \cdot 8 \cdot 11,5}{(0,24^2 - 0,14^2) 0,32 \cdot 350 \cdot 1 \cdot 0,91 \cdot 1} = 174 \text{ хв}^{-1}.$$

3.5 Обґрунтування геометричних параметрів розкидувального шнека

На рис. 3.4 представлені основні типи гвинтової поверхні шнеків.

Шнек із суцільними витками найбільш прийнятний при транспортуванні сухих дрібнозернистих матеріалів або порошків.

Фасонний шнек поєднує транспортування вантажу з деяким його подрібненням.

Лопатевий шнек поряд з транспортуванням інтенсивно перемішує вантаж, а стрічковий шнек найбільш придатний для вантажів, схильних до залипання.

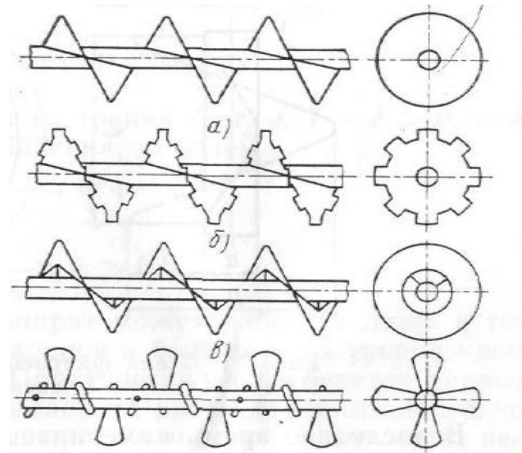


Рис. 3.4. Типи гвинтової поверхні шнеків: 1 – із суцільними витками; 2 – фасонний; 3 – стрічковий; 4 – лопатевий.

Таким чином, на підставі аналізу існуючих типів гвинтової поверхні шнека обираємо шнек зі стрічковим типом гвинта, оскільки даний тип гвинтової поверхні найбільш придатний для взаємодії з твердими органічними добривами, які схильні до залипання.

Для забезпечення відкидання матеріалу на задану відстань шнек повинен бути оснащений металевими лопатками, розмір яких повинен забезпечувати відкидання гною на 11,5 м.

Крім того, для забезпечення безперебійної роботи розкидувальних шнеків, вони повинні бути оснащені ножами.

Для того, щоб виключити пульсації при підрізанні порції добрив, що подаються транспортером, а також виключити дисбаланс розкидувального шнека при обертанні, доцільно встановити лопатки та підрізувальні ножі рівномірно з кроком $\alpha=120^\circ$ по черзі. Таким чином буде досягатися підрізання добрив ножем і подальше захоплення їх лопаткою.

З огляду на розраховану вище частоту обертання шнека, яка повинна становити 174 об/хв , пульсації будуть повністю згладжені при розташуванні в перерізі шнека 3 пар лопаток і ножів.

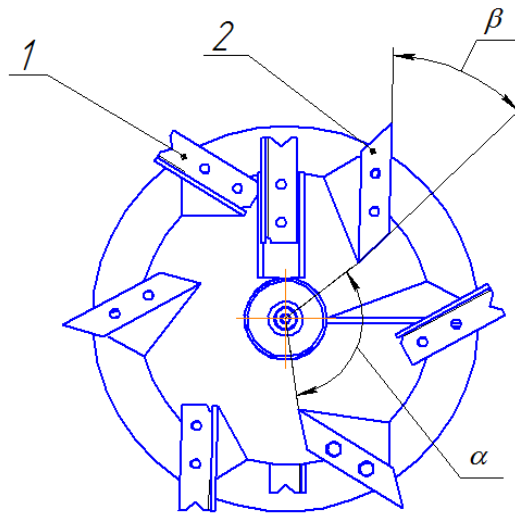


Рис. 3.5. Схема розрахунку кутів розміщення ножів і лопаток: 1 – метальна лопатка; 2 – підрізний ніж

Кут установки підрізних ножів відносно подаваного потоку добрив визначимо за формулою:

$$\beta = \varepsilon - \psi, \quad (3.7)$$

де ε – кут між напрямком потоку добрив, що подаються транспортером, та віссю обертання шнека, *град*;

ψ – кут зовнішнього тертя гною, *град*.

$$\beta = 118 - 74 = 45^\circ.$$

3.5 Розрахунок необхідної потужності для приводу розкидувального шнека

Загальна необхідна потужність (*кВт*) для приводу шнека витрачається на переміщення добрив гвинтом (N_b) та на обертання (N_k):

$$N_{\text{пр}} = N_b + N_k. \quad (3.8)$$

З точністю, достатньою для практичних цілей, необхідну потужність (*кВт*) для переміщення гною гвинтом визначимо за відомою формулою:

$$N_b = \frac{W_b l_{\text{рв}}}{102} \quad (3.9)$$

де 102 – безрозмірний коефіцієнт;

$l_{\text{рв}}$ – робоча довжина шнека, *см*.

$$N_{\text{в}} = \frac{5,1 \cdot 120}{102} = 6 \text{ кВт};$$

Потрібну потужність для обертання кожуха (кВт) визначимо як

$$N_{\text{к}} = \frac{M_{\text{к}} n_{\text{к}}}{9750 \eta_{\text{м}}}, \quad (3.10)$$

$$N_{\text{к}} = \frac{122 \cdot 174}{9750 \cdot 0,98} = 2,22 \text{ кВт};$$

$$N_{\text{пр}} = 6 + 2,22 = 8,22 \text{ кВт}.$$

3.7 Розрахунок зварних швів розкидувального шнека

Кріплення витків шнека до труби здійснюється за допомогою зварювального з'єднання. Катет шва $K=2 \text{ мм}$.

Максимальний згинальний момент визначається як вага найдовшої стінки направляючої на відстань від шва до кінцевої точки стінки направляючої.

$$M_{\text{изг MAX}} = 0,44 \cdot 0,28 = 0,12 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Визначимо напруження цього моменту:

$$\sigma_{\text{м}} = \frac{M_{\text{изг MAX}}}{W_{\text{шв}}}, \quad (3.11)$$

де $W_{\text{шв}}$ – момент опору швів, Н/мм^3

$$W_{\text{шв}} = \frac{2I_{\text{шв}}}{l + 2K}, \quad (3.12)$$

де $I_{\text{шв}}$ – моменти інерції параметрів швів, мм^4 .

$$I_{\text{шв}} = 2 \left[\frac{Kl^3}{12} + \frac{K^3l}{12} + bK \left(\frac{l+K}{2} \right)^2 \right], \quad (3.13)$$

l, b – довжини швів, мм ; $l = 205 \text{ мм}$; $b = 180 \text{ мм}$.

$$I_{\text{шв}} = 2 \left[\frac{2 \cdot 205^3}{12} + \frac{2^3 \cdot 205}{12} + 180 \cdot 2 \left(\frac{205 + 180}{2} \right)^2 \right] = 105 \cdot 10^4 \text{ мм}^4;$$

$$I_{\text{шв}}^1 = I_{\text{шв}} \cdot 0,7 = 105 \cdot 10^4 \cdot 0,7 = 37,5 \cdot 10^4 \text{ мм}^4;$$

$$W_{\text{шв}} = \frac{2 \cdot 37,5 \cdot 10^4}{205 + 2 \cdot 180} = 1,33 \cdot 10^3 \text{ мм}^3;$$

$$\sigma_{\text{м}} = \frac{120}{1,33 \cdot 10^3} = 0,09 \text{ Н/мм}^2.$$

Допустимі напруження $[\sigma^1_p]$ для зварювального шва, виконаного зварюванням електродами типу Е-34:

$$[\sigma^1_p] = 0,6[\sigma_p] \quad (3.14)$$

де $[\sigma_p]$ – допустима напруга основного металу для сталі 08Х18Н10Т,
 $[\sigma_p] = 0,6 \cdot 240 = 144 \text{ Н/мм}^2$.

$$\sigma_{\text{м}} 6,89 < [\sigma] = 144 \text{ Н/мм}^2.$$

Таким чином, умова міцності швів дотримується.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні положення

Охорона праці під час вирощування ячменю є складовою загальної системи управління виробництвом і повинна забезпечувати збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі виконання польових, транспортних, ремонтно-обслуговувальних і післязбиральних операцій. Тема кваліфікаційної роботи пов'язана з удосконаленням комплексу машин для вирощування ячменю та модернізацією машини для внесення твердих органічних добрив, тому основну увагу в даному розділі приділено безпеці роботи машинно-тракторного агрегату BELARUS 2022.3 + МТУ-18, а також безпечній організації всього технологічного циклу.

У попередніх розділах проєктовано технологію вирощування ярого ячменю для умов Житомирської області на площі 100 га. Технологія передбачає агрохімічне обстеження поля, осіннє внесення 10–15 т/га твердих органічних добрив машиною МТУ-18, основний обробіток ґрунту, ранньовесняне закриття вологи, внесення мінеральних добрив, передпосівну підготовку, сівбу, інтегрований захист рослин, збирання, транспортування та післязбиральну доробку зерна. Найбільш небезпечними операціями є внесення органічних добрив, робота з ВОМ і карданною передачею, обслуговування транспортера та розкидаючих органів, робота із засобами захисту рослин, а також збирання і транспортування зерна.

Нормативною основою розділу є вимоги законодавства України з охорони праці, правила безпеки у сільськогосподарському виробництві, вимоги до навчання та інструктажів працівників, санітарні норми щодо шуму, освітленості, мікроклімату, а також правила пожежної безпеки для підприємств агропромислового комплексу.

Безпечне виконання робіт забезпечується поєднанням технічних, організаційних, санітарно-гігієнічних та протипожежних заходів.

4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час виконання технологічних операцій вирощування ячменю працівники можуть піддаватися дії механічних, фізичних, хімічних, біологічних та психофізіологічних факторів. Для агрегату BELARUS 2022.3 + МТУ-18 основними джерелами небезпеки є рухомі частини карданної передачі, ВОМ трактора, ланцюгові й транспортерні механізми, розкидаючі органи, вантажна маса кузова, гідравлічна система, рух агрегату по нерівній поверхні та можливе розкидання фрагментів органічної маси за межі робочої смуги.

Біологічна небезпека пов'язана з органічними добривами, які можуть містити патогенну мікрофлору, яйця гельмінтів, спори грибів, аміак та інші продукти розкладання. Під час завантаження, транспортування і розкидання органіки можливе утворення пилу, аерозолів і неприємних газів, що подразнюють органи дихання. Тому працівники, які контактують із добривами, повинні використовувати спецодяг, рукавиці, захисне взуття, окуляри, а за потреби – фільтрувальні засоби захисту органів дихання.

Хімічні фактори виникають під час протруювання насіння та обприскування посівів гербіцидами, фунгіцидами й інсектицидами. Ці операції виконують лише препаратами, дозволеними до використання в Україні, згідно з регламентами застосування. Працівники мають бути забезпечені засобами індивідуального захисту, справною тарою, водою для санітарної обробки та місцем для безпечного знешкодження залишків робочих розчинів.

4.3. Вимоги безпеки під час виконання технологічних операцій

До роботи на тракторі, машині МТУ-18, обприскувачі, сівалці, комбайні та інших машинах допускаються лише працівники, які мають відповідну кваліфікацію, пройшли навчання, інструктаж з охорони праці, перевірку знань та ознайомлені з інструкціями виробників машин. Перед початком зміни механізатор повинен перевірити технічний стан трактора, справність рульового керування, гальм, сигналізації, освітлення, дзеркал, огорожень, карданного вала, з'єднувальних пристроїв, гідрорознімів і шин.

Під час агрегування МТУ-18 із трактором BELARUS 2022.3 необхідно переконатися у справності дишла ТСУ-2, надійності фіксації зчіпного пристрою, правильному під'єднанні карданної передачі до ВОМ 1000 об/хв та відсутності пошкоджень захисного кожуха. Забороняється перебувати між трактором і машиною під час зчеплення, якщо тракторист не зупинив машину, не ввімкнув стоянкове гальмо і не подав узгоджений сигнал. Гідравлічні рукави під'єднують лише після зниження тиску в системі. Таблиця 4.1 – Основні небезпечні фактори та заходи запобігання

Операція	Небезпечний фактор	Можливий наслідок	Основні заходи безпеки
Внесення органічних добрив МТУ-18	ВОМ, кардан, транспортер, розкидаючі органи, розкидання маси	Травмування, затягування одягу, удар частками добрив	Огородження приводів; заборона перебування в зоні розкидання; зупинка двигуна перед очищенням; сигнальні знаки
Завантаження органічних добрив	Робота навантажувача, нерівномірне завантаження кузова	Наїзд, перекидання, падіння матеріалу	Заборона перебування людей між машинами; рівномірне завантаження; зв'язок між механізаторами
Протруювання насіння і обприскування	Пестициди, аерозоль, контакт із робочим розчином	Отруєння, подразнення шкіри та очей	ЗІЗ, герметична тара, робота за регламентом, санітарна обробка після зміни
Сівба, культивування, боронування	Рух агрегатів, пил, шум, нерівності поля	Наїзди, втома, зниження уваги	Робота справними агрегатами; швидкість згідно з умовами; перерви; кабіна із справним склом і освітленням
Збирання та транспортування зерна	Комбайн, причеми, рух біля ЛЕП і доріг	Наїзд, пожежа, ДТП	Справні гальма і світлотехніка; маршрути руху; вогнегасники; заборона ремонту при працюючих органах

Перед внесенням органічних добрив перевіряють натяг транспортера, стан розкидаючих органів, справність запобіжних щитків, відсутність сторонніх предметів у кузові, рівномірність завантаження та роботу сигналізації. Регулювання норми внесення, очищення транспортера, усунення намотувань і розблокування робочих органів виконують тільки після повної зупинки агрегату, вимкнення ВОМ, зупинки двигуна трактора і встановлення машини на стоянкове гальмо. Забороняється стояти позаду машини під час роботи розкидаючих органів.

Під час руху агрегату по полю швидкість вибирають із урахуванням рельєфу, вологості ґрунту, маси завантаженої машини та видимості. На схилах не допускають різких поворотів, руху поперек крутих схилів і перевищення допустимої швидкості. У темну пору доби робота можлива лише за справного освітлення трактора й машини та достатнього освітлення місць завантаження.

Під час протруювання насіння, приготування робочих розчинів і обприскування посівів заборонено приймати їжу, пити, палити, працювати без засобів індивідуального захисту або використовувати несправні обприскувачі. Після завершення робіт працівники мають зняти забруднений спецодяг, вимити руки й обличчя, а за можливості прийняти душ. Тару з-під препаратів збирають і передають на утилізацію відповідно до встановлених вимог.

4.4. Заходи безпеки, пов'язані з модернізацією машини МТУ-18

Модернізація машини для внесення твердих органічних добрив повинна не лише підвищувати продуктивність або рівномірність внесення, а й зменшувати виробничі ризики. Для цього у конструкції модернізованої машини доцільно передбачити огороження ланцюгових і карданних передач, захист зони розкидаючих органів, попереджувальні написи, світловідбивальні елементи, надійне кріплення гідрукавів, а також можливість регулювання норми внесення без наближення працівника до небезпечної зони.

Робочі органи модернізованої машини повинні мати захисні кожухи, які не допускають випадкового контакту працівника з обертовими деталями.

Конструкція кожухів має забезпечувати доступ для технічного обслуговування лише після зупинки машини. На кожусі ВОМ і зоні розкидання наносять попереджувальні знаки: «Обережно! Обертів частини», «Не відкривати під час роботи», «Небезпечна зона розкидання».

У разі застосування гідравлічного або електрогідравлічного керування нормою внесення органічних добрив органи керування необхідно розмістити в кабіні трактора або в безпечному місці, щоб механізатор не залишав робоче місце під час руху агрегату. Рукави високого тиску повинні мати захист від перетирання і бути закріплені так, щоб не потрапляти у зону кардана, коліс або транспортера. Підтікання робочої рідини не допускається, оскільки воно створює небезпеку пожежі, забруднення ґрунту і ковзання працівників під час обслуговування.

Машина повинна бути обладнана справними габаритними вогнями, показниками повороту, стоп-сигналами або світловідбивачами для руху дорогами загального користування. Під час транспортування МТУ-18 із завантаженим кузовом необхідно враховувати збільшення гальмівного шляху та навантаження на зчепний пристрій трактора. Перевезення людей у кузові машини або на її елементах категорично забороняється.

4.5. Розрахункова частина

Для обґрунтування заходів охорони праці виконаємо три інженерні розрахунки: визначення небезпечної зони під час внесення органічних добрив, перевірку тривалості роботи з урахуванням шумового навантаження та розрахунок штучного освітлення зони технічного обслуговування і налаштування машини МТУ-18.

1. Розрахунок небезпечної зони під час роботи МТУ-18. За технологічною картою машина МТУ-18 працює з шириною розкидання 8–12 м. Для розрахунку приймаємо найбільшу робочу ширину $B = 12$ м. Небезпечна зона позаду і збоку машини повинна враховувати половину ширини розкидання та

додатковий запас безпеки на нерівномірний виліт часток добрив. Розрахункова відстань визначається за формулою:

$$R_n = B / 2 + \Delta, \quad (4.1)$$

де R_n – мінімальна відстань небезпечної зони, м; B – максимальна робоча ширина розкидання, м; Δ – запас безпеки, який приймаємо 5 м.

Підставляємо значення: $R_n = 12 / 2 + 5 = 11$ м. З урахуванням польових умов, вітру, нерівномірності органічної маси та можливого потрапляння у розкидаючі органи твердих включень приймаємо округлену безпечну відстань 15 м. Отже, під час роботи агрегату BELARUS 2022.3 + МТУ-18 сторонні особи, транспортні засоби та працівники, які не беруть участі в операції, повинні перебувати не ближче 15 м від зони розкидання, а позаду машини перебування людей забороняється.

2. Розрахунок допустимої тривалості роботи за шумового навантаження. У кабіні справного сучасного трактора рівень шуму зазвичай нижчий, ніж біля відкритих робочих органів машини, однак під час налагодження або короткочасного перебування поблизу працюючого агрегату можливе підвищення шуму. Для розрахунку приймемо рівень шуму біля працюючої машини $L = 90$ дБА. За базового рівня 85 дБА для 8-годинної зміни та правилом зменшення допустимого часу вдвічі при збільшенні шуму на 3 дБ допустиму тривалість перебування в такій зоні визначимо за формулою:

$$T_d = 8 \cdot 2^{((85 - L) / 3)}. \quad (4.2)$$

Підставляємо значення: $T_d = 8 \cdot 2^{((85 - 90) / 3)} = 8 \cdot 2^{(-1,67)} = 8 \cdot 0,315 = 2,52$ год. Отже, без засобів захисту слуху перебування у зоні з рівнем шуму 90 дБА не повинно перевищувати приблизно 2,5 год за зміну. Оскільки операція внесення органічних добрив на площі 100 га триває близько 50 год чистого часу, а робота виконується протягом 6–7 змін, механізатор повинен працювати у справній закритій кабіні; під час налагодження і контролю біля працюючих органів необхідно застосовувати протишумні навушники або вкладиші.

3. Розрахунок штучного освітлення зони технічного обслуговування. Перед виїздом у поле машина МТУ-18 проходить огляд і налаштування на

майданчику або в ремонтно-обслуговувальному приміщенні. Приймаємо площу зони $S = 72 \text{ м}^2$ ($12 \times 6 \text{ м}$), нормовану освітленість $E_n = 200 \text{ лк}$, коефіцієнт запасу $k = 1,5$, коефіцієнт нерівномірності $z = 1,1$. Передбачається встановлення світлодіодних світильників зі світловим потоком одного світильника $\Phi = 16000 \text{ лм}$. Коефіцієнт використання світлового потоку приймаємо $\eta = 0,55$. Кількість світильників визначаємо за формулою:

$$n = E_n \cdot S \cdot k \cdot z / (\Phi \cdot \eta). \quad (4.3)$$

Підставляємо числові значення: $n = 200 \cdot 72 \cdot 1,5 \cdot 1,1 / (16000 \cdot 0,55) = 23760 / 8800 = 2,7$. Приймаємо 3 світильники. Отже, для безпечного огляду, регулювання і технічного обслуговування машини МТУ-18 у зоні площею 72 м^2 необхідно встановити не менше трьох світлодіодних світильників зі світловим потоком близько 16000 лм кожний. Світильники слід розміщувати так, щоб уникнути засліплення механізатора і тіней у зоні зчпного пристрою, ВОМ, транспортера та гідросистеми.

Таблиця 4.2 – Узагальнення результатів розрахунків з охорони праці

Розрахунок	Вихідні дані	Отриманий результат	Практичне рішення
Небезпечна зона МТУ-18	$B = 12 \text{ м}; \Delta = 5 \text{ м}$	$R_n = 11 \text{ м}$; прийнято 15 м	Не допускати людей ближче 15 м до зони розкидання
Шумове навантаження	$L = 90 \text{ дБА}$	$T_d \approx 2,5 \text{ год}$ без ЗІЗ слуху	Працювати у закритій кабіні; під час налагодження використовувати захист слуху
Освітлення зони ТО	$S = 72 \text{ м}^2$; $E_n = 200 \text{ лк}$; $\Phi = 16000 \text{ лм}$	$n = 2,7$; прийнято 3 світильники	Встановити 3 світлодіодні світильники, рівномірно розміщені над робочою зоною

4.6. Організаційні, санітарно-гігієнічні та протипожежні заходи

Організація безпечної роботи передбачає планування маршруту руху агрегатів, визначення місць завантаження органічних добрив, під'їзних шляхів, місць розвороту і тимчасових стоянок. Місце завантаження МТУ-18 повинно бути рівним, достатньо освітленим, без сторонніх осіб і перешкод. Під час

роботи навантажувача трактор із машиною повинен бути загальмований, а механізатори мають підтримувати візуальний або радіозв'язок.

Працівники забезпечуються спецодягом, гумовими або комбінованими рукавицями, захисним взуттям, окулярами та респіраторами для операцій, пов'язаних з органічними добривами, пилом або пестицидами. Спецодяг після роботи з органікою і засобами захисту рослин зберігають окремо від повсякденного одягу. На польовому стані або біля місця виконання робіт необхідно мати аптечку, запас питної води, мило, рушник, засоби для промивання очей і телефонний зв'язок для виклику допомоги.

Для профілактики втоми механізатора важливо дотримуватися режиму праці та відпочинку. Операція внесення органічних добрив є тривалою і пов'язана з багаторазовими циклами завантаження, транспортування та розкидання, тому механізатор повинен робити регламентовані перерви, особливо за умов високої температури, пилу або роботи у темну пору доби. Не допускається виконання робіт у стані втоми, алкогольного або наркотичного сп'яніння, а також при різкому погіршенні погодних умов.

Пожежна безпека забезпечується справністю паливної системи, електропроводки, гальмівної системи, відсутністю підтікання пального та мастил, очищенням двигуна й гарячих поверхонь від пилу і рослинних решток. Трактор, комбайн і транспортні засоби повинні бути укомплектовані справними вогнегасниками. Паління, розведення відкритого вогню та заправлення машин при працюючому двигуні забороняються. У період збирання ячменю особливу увагу приділяють очищенню комбайна від соломи і пилу, контролю нагрівання підшипників і наявності засобів пожежогасіння на полі.

Висновок по розділу

У розділі розглянуто основні питання охорони праці під час вирощування ячменю з використанням спроектованого комплексу машин і модернізованої машини для внесення твердих органічних добрив. Встановлено, що найбільші ризики пов'язані з роботою агрегату BELARUS 2022.3 + МТУ-18, обертовими

деталлями ВОР і розкидаючих органів, контактами з органічними добривами, застосуванням засобів захисту рослин, рухом важких агрегатів та пожежною небезпекою під час збирання.

Запропоновано систему технічних і організаційних заходів: справні огороження приводів, заборона перебування людей у зоні розкидання, безпечне агрегування, контроль гідросистеми, використання засобів індивідуального захисту, регламентовані інструктажі, належне освітлення зони обслуговування та забезпечення пожежної безпеки. Розрахунками встановлено, що безпечна зона під час роботи МТУ-18 повинна становити не менше 15 м, перебування в зоні шуму 90 дБА без захисту слуху не повинно перевищувати приблизно 2,5 год за зміну, а для зони технічного обслуговування площею 72 м² необхідно встановити щонайменше 3 світлодіодні світильники. Виконання цих заходів забезпечує безпечні умови праці під час реалізації проєктованої технології вирощування ячменю.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

Метою техніко-економічного обґрунтування є визначення доцільності впровадження спроектованої технології вирощування ярого ячменю та модернізації машини МТУ-18 для внесення твердих органічних добрив. У попередніх розділах встановлено, що для умов Житомирської області доцільним є адаптивний комплекс машин, який включає осіннє внесення органічних добрив, основний обробіток ґрунту, ранньовесняне закриття вологи, передпосівну підготовку, сівбу, догляд за посівами, збирання, транспортування та післязбиральну доробку зерна. Центральним елементом удосконалення є використання агрегату BELARUS 2022.3 + МТУ-18 із модернізованими розкидаючими робочими органами.

Економічна оцінка виконується для проектної площі 100 га ярого ячменю. Розрахунки наведено як інженерно-економічний приклад для кваліфікаційної роботи. Остаточні показники в умовах конкретного господарства уточнюються за фактичними цінами на зерно, пальне, добрива, насіння, засоби захисту рослин, оплату праці та за результатами агрохімічного обстеження поля.

5.1. Вихідні дані для економічного розрахунку

Вихідні показники прийнято з урахуванням технологічної карти вирощування ячменю, розрахунків продуктивності агрегатів і конструктивного вдосконалення МТУ-18. У розрахунку прийнято, що базова технологія забезпечує врожайність 4,3 т/га, а проектна технологія з більш рівномірним внесенням органічних добрив, ранньою сівбою, збалансованим живленням і кращою якістю виконання операцій забезпечує врожайність 4,9 т/га.

Розрахункова ціна реалізації зерна ячменю прийнята 6500 грн/т.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для техніко-економічного обґрунтування

Показник	Позначення	Одиниця	Значення
Площа вирощування ячменю	F	га	100
Урожайність за базовою технологією	Y_6	т/га	4,3
Урожайність за проектною технологією	Y_n	т/га	4,9
Приріст урожайності	ΔY	т/га	0,6
Ціна реалізації зерна	C_z	грн/т	6500
Собівартість за базовою технологією	C_6	грн/га	20600
Собівартість за проектною технологією	C_n	грн/га	21330
Капітальні витрати на модернізацію	K	грн	150000
Норма органічних добрив	q	т/га	12

Прийнята проектна собівартість 21330 грн/га відповідає технологічній карті вирощування ячменю: до неї включено внесення органічних добрив, основний і передпосівний обробіток ґрунту, мінеральне удобрення, протруювання насіння, сівбу, гербіцидний і фунгіцидний захист, збирання, транспортування та післязбиральну доробку зерна. Інсектицидний захист у кошторисі не закладається як обов'язкова щорічна операція, оскільки виконується лише за досягнення економічного порогу шкодочинності.

5.2. Розрахунок експлуатаційних показників агрегату BELARUS 2022.3 + МТУ-18

Для економічного обґрунтування модернізації важливо оцінити не лише врожайність, а й продуктивність агрегату на внесенні твердих органічних добрив. У проекті використовується машина МТУ-18 з трактором BELARUS 2022.3. Середня норма внесення приймається 12 т/га, місткість кузова – 15 м³, об'ємна маса твердих органічних добрив – 0,75 т/м³. Робоча ширина внесення після модернізації приймається 11,5 м, робоча швидкість – 8 км/год, коефіцієнт використання робочого часу – 0,65.

Маса органічних добрив в одному завантаженні визначається за формулою:

$$G = V \cdot \rho = 15 \cdot 0,75 = 11,25 \text{ т}, \quad (5.1)$$

де V – місткість кузова, м^3 ; ρ – об'ємна маса добрив, $\text{т}/\text{м}^3$.

Площа, яка удобрюється одним завантаженням, становить:

$$F_3 = G / q = 11,25 / 12 = 0,94 \text{ га}. \quad (5.2)$$

Ефективна польова продуктивність без урахування завантаження визначається за формулою:

$$W_e = B \cdot v \cdot \tau / 10 = 11,5 \cdot 8 \cdot 0,65 / 10 = 5,98 \text{ га/год}, \quad (5.3)$$

де B – робоча ширина захвату, м ; v – робоча швидкість, км/год ; τ – коефіцієнт використання робочого часу.

Час розкидання одного завантаження дорівнює:

$$t_p = F_3 / W_e = 0,94 / 5,98 = 0,157 \text{ год}. \quad (5.4)$$

З урахуванням завантаження, під'їзду, розворотів і короткочасного регулювання приймаємо: $t_{\text{зав}} = 0,13$ год; $t_{\text{тр}} = 0,10$ год; $t_{\text{доп}} = 0,05$ год. Тоді тривалість циклу становить:

$$t_{\text{ц}} = 0,157 + 0,13 + 0,10 + 0,05 = 0,437 \text{ год}.$$

Операційна продуктивність агрегату:

$$W_{\text{оп}} = F_3 / t_{\text{ц}} = 0,94 / 0,437 = 2,15 \text{ га/год}.$$

Для площі 100 га потрібно внести 1200 т органічних добрив. Кількість завантажень МТУ-18 становитиме $1200 / 11,25 = 106,7$, тобто 107 завантажень. Загальний час роботи агрегату на операції внесення:

$$T = F / W_{\text{оп}} = 100 / 2,15 = 46,6 \text{ год}.$$

Отже, за 8–9-годинної зміни внесення органічних добрив на 100 га може бути виконане приблизно за 6 робочих змін. Це дозволяє виконати операцію в оптимальні осінні строки перед основним обробітком ґрунту.

5.3. Розрахунок витрат за проектною технологією

Структуру проектних витрат доцільно подавати укрупнено, оскільки фактичні норми витрат матеріалів у господарстві можуть відрізнятися залежно

від сорту, попередника, агрохімічних показників ґрунту та фітосанітарного стану поля. У таблиці 5.2 наведено групування витрат відповідно до технологічної карти.

Таблиця 5.2 – Укрупнена структура витрат за проектною технологією

Група витрат	Складові операції	Витрати, грн/га	Витрати на 100 га, грн
Органічне удобрення та обробіток ґрунту	МТУ-18; оранка; боронування; передпосівна підготовка; прикотковування	2620	262000
Мінеральне живлення	Передпосівне внесення Р, К і стартового N; азотне підживлення	9400	940000
Насіння і підготовка до сівби	Протруювання насіння; сівба з урахуванням вартості насіння	4790	479000
Захист рослин	Гербіцидний і фунгіцидний захист	2150	215000
Збирання і доробка	Комбайнування; транспортування; очищення і сушіння	2370	237000
Разом	Повна проектна технологія без неонов'язкового інсектицидного захисту	21330	2133000

Найбільшу частку займають мінеральні добрива та підживлення – 9400 грн/га, або 44,1% загальних витрат. Це пояснюється високою роллю збалансованого живлення для ярого ячменю, особливо на ґрунтах Полісся з підвищеною кислотністю та невисоким умістом гумусу. Другою за значенням статтею є насіння та операція сівби – 4790 грн/га, оскільки для отримання вирівняних сходів використовують якісний посівний матеріал і високопродуктивну сівалку. Внесення органічних добрив у структурі витрат не є найбільшою статтею, але має важливе значення для довгострокового відновлення родючості ґрунту.

5.4. Порівняння базового і проектного варіантів

Економічний результат визначаємо шляхом порівняння базового й проектного варіантів. Базовий варіант характеризується менш рівномірним внесенням органічних добрив, нижчим рівнем реалізації потенціалу сорту та врожайністю 4,3 т/га. Проектний варіант передбачає модернізовану МТУ-18,

стабільнішу якість внесення органічних добрив, своєчасні технологічні операції і врожайність 4,9 т/га.

Валовий збір зерна визначається за формулою:

$$Q = F \cdot Y. \quad (5.5)$$

Дохід від реалізації продукції:

$$Д = Q \cdot Ц_z. \quad (5.6)$$

Виробничі витрати:

$$В = F \cdot С. \quad (5.7)$$

Прибуток:

$$\Pi = Д - В. \quad (5.8)$$

Рівень рентабельності:

$$R = \Pi / В \cdot 100\%. \quad (5.9)$$

Таблиця 5.3 – Порівняльна економічна оцінка варіантів технології

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант	Зміна
Урожайність, т/га	4,3	4,9	+0,6
Валовий збір, т	430	490	+60
Дохід від реалізації, грн	2 795 000	3 185 000	+390 000
Витрати на 1 га, грн/га	20 600	21 330	+730
Загальні витрати, грн	2 060 000	2 133 000	+73 000
Прибуток, грн	735 000	1 052 000	+317 000
Прибуток на 1 га, грн/га	7 350	10 520	+3 170
Собівартість 1 т зерна, грн/т	4 791	4 353	-438
Рентабельність, %	35,7	49,3	+13,6 в.п.

Розрахунки показують, що проектний варіант забезпечує збільшення валового збору на 60 т і приріст доходу на 390000 грн. Незважаючи на зростання витрат на 730 грн/га, прибуток збільшується на 317000 грн на площі 100 га. Собівартість 1 т зерна зменшується з 4791 до 4353 грн/т, тобто на 438 грн/т, що свідчить про ефективніше використання виробничих ресурсів.

Критична врожайність, за якої проектна технологія покриває виробничі витрати, визначається за формулою:

$$Y_{кр} = C_{п} / Ц_з = 21330 / 6500 = 3,28 \text{ т/га.} \quad (5.10)$$

Оскільки проектна врожайність 4,9 т/га перевищує критичну на 1,62 т/га, технологія має достатній запас економічної стійкості навіть за можливого зниження ціни реалізації або часткового недобору врожаю.

5.5. Економічний ефект від модернізації машини МТУ-18

Модернізація МТУ-18 полягає у вдосконаленні розкидаючих робочих органів, що забезпечує краще відокремлення порції органічних добрив, зменшення енергоємності роботи шнеків і підвищення рівномірності розподілу добрив по ширині захвату. Економічний ефект формується з трьох складових: зменшення витрат пального, зменшення затрат праці та приріст урожайності внаслідок більш рівномірного внесення органічної маси.

Економія пального на операції внесення органічних добрив становить:

$$E_{п} = (q_б - q_{п}) \cdot Ц_{п} \cdot F = (5,0 - 4,4) \cdot 60 \cdot 100 = 3600 \text{ грн,} \quad (5.11)$$

де $q_б$ і $q_{п}$ – витрата пального відповідно базовою та модернізованою машиною, л/га; $Ц_{п}$ – ціна дизельного пального, грн/л.

Економія оплати праці визначається через зменшення витрат часу:

$$E_{пр} = (1/W_б - 1/W_{п}) \cdot O_{п} \cdot F = (1/1,8 - 1/2,15) \cdot 140 \cdot 100 = 1255 \text{ грн,} \quad (5.12)$$

де $W_б$ і $W_{п}$ – продуктивність базового та модернізованого агрегату, га/год; $O_{п}$ – погодинна оплата праці з нарахуваннями, грн/год.

Додатковий дохід від приросту врожайності, який безпосередньо пов'язаний з рівномірнішим внесенням органічних добрив, приймаємо консервативно на рівні 0,25 т/га:

$$Д_д = \Delta Y_{м} \cdot Ц_з \cdot F = 0,25 \cdot 6500 \cdot 100 = 162500 \text{ грн.} \quad (5.13)$$

Окрім цього, за рахунок зменшення ударних навантажень на робочі органи і більш плавного технологічного процесу приймаємо зниження витрат на ремонт і технічне обслуговування на 25 грн/га, тобто 2500 грн на 100 га. Загальний річний економічний ефект від модернізації становить:

$$E_p = 3600 + 1255 + 162500 + 2500 = 169855 \text{ грн.} \quad (5.14)$$

Таблиця 5.4 – Орієнтовні капітальні витрати на модернізацію МТУ-18

Стаття капітальних витрат	Сума, грн
Виготовлення ножів, лопаток і напрямних елементів	42 000
Матеріали для кріплень, валів, захисних кожухів	34 000
Вузли регулювання і монтажні елементи	30 000
Механічна обробка, зварювання, фарбування	26 000
Монтаж, налагодження та виробничі випробування	18 000
Разом капітальні витрати	150 000

Строк окупності капітальних вкладень визначається за формулою:

$$T_{ок} = K / E_p = 150000 / 169855 = 0,88 \text{ року.} \quad (5.15)$$

Отже, за прийнятих вихідних даних модернізація МТУ-18 окуповується протягом першого сезону експлуатації. Навіть якщо фактичний приріст урожайності буде нижчим за розрахунковий удвічі, строк окупності залишиться прийнятним для господарства, оскільки конструктивне вдосконалення не потребує придбання нової машини, а виконується на базі наявного розкидача.

5.6. Узагальнення техніко-економічних показників

Підсумкові техніко-економічні показники наведено в таблиці 5.5. Вони характеризують ефективність не лише окремої операції внесення органічних добрив, а й усього комплексу машин для вирощування ячменю.

Таблиця 5.5 – Основні техніко-економічні показники проекту

Показник	Значення
Площа впровадження проектної технології	100 га
Проектна врожайність ячменю	4,9 т/га
Валовий збір зерна за проектом	490 т
Повна собівартість вирощування	21330 грн/га
Дохід від реалізації зерна	3185000 грн
Прибуток за проектною технологією	1052000 грн
Рентабельність виробництва	49,3%
Приріст прибутку порівняно з базовим варіантом	317000 грн
Річний ефект від модернізації МТУ-18	169855 грн
Строк окупності модернізації МТУ-18	0,88 року

Отримані результати підтверджують доцільність проектних рішень. Найбільший економічний результат формується не лише за рахунок економії пального, а передусім за рахунок підвищення якості внесення органічних добрив, стабілізації живлення рослин, зростання врожайності та зменшення собівартості 1 т зерна. Водночас модернізація МТУ-18 є менш капіталомісткою, ніж придбання нового розкидача, тому має короткий строк окупності та може бути реалізована силами ремонтної бази господарства або спеціалізованої майстерні.

Висновок по розділу

У четвертому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування удосконалення комплексу машин для вирощування ячменю з модернізацією машини МТУ-18. Для площі 100 га проектна технологія забезпечує валовий збір 490 т зерна, дохід 3185000 грн і прибуток 1052000 грн. Порівняно з базовим варіантом прибуток збільшується на 317000 грн, собівартість 1 т зерна знижується на 438 грн/т, а рентабельність зростає з 35,7 до 49,3%.

Модернізація МТУ-18 забезпечує річний економічний ефект 169855 грн за рахунок зменшення витрат пального, скорочення затрат праці, зниження ремонтних витрат і підвищення врожайності завдяки рівномірнішому розподілу органічних добрив. Орієнтовні капітальні витрати на модернізацію становлять 150000 грн, а строк окупності – 0,88 року. Отже, запропоновані проектні рішення є технічно доцільними, економічно ефективними та можуть бути рекомендовані для впровадження в господарствах Житомирської області.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення комплексу машин для вирощування ячменю з модернізацією машини для внесення твердих органічних добрив. Тема є актуальною для умов Житомирської області, оскільки ефективність виробництва ячменю значною мірою залежить від родючості ґрунту, якості удобрення, своєчасного виконання технологічних операцій та раціонального використання машинно-тракторного парку.

У результаті аналізу встановлено, що підвищення врожайності ячменю можливе за рахунок впровадження адаптивної технології вирощування, яка передбачає агрохімічне обстеження поля, раціональне внесення органічних і мінеральних добрив, якісний обробіток ґрунту, ранню сівбу, інтегрований захист рослин, своєчасне збирання та післязбиральну доробку зерна.

Для умов Житомирської області спроектовано технологію вирощування ярого ячменю на площі 100 га. Вона включає основні технологічні операції від підготовки ґрунту і внесення добрив до збирання, транспортування, очищення та сушіння зерна. Запропонована технологія має ресурсозберігаючий характер, сприяє кращому використанню вологи, зменшенню втрат поживних речовин і створенню сприятливих умов для росту рослин.

У роботі підібрано комплекс машин для виконання технологічних операцій. Для внесення твердих органічних добрив передбачено використання машини МТУ-18 в агрегаті з трактором BELARUS 2022.3. Обґрунтований машинно-тракторний комплекс забезпечує виконання робіт у встановлені агротехнічні строки та відповідає умовам зони Полісся і Лісостепу.

У конструктивному розділі обґрунтовано модернізацію машини МТУ-18, спрямовану на підвищення рівномірності внесення органічних добрив, покращення процесу подачі та розкидання маси, зниження енергоємності роботи агрегату і поліпшення агротехнічних показників. Проведені розрахунки підтвердили працездатність, надійність і можливість практичного застосування запропонованих технічних рішень.

У розділі з охорони праці визначено основні небезпечні та шкідливі фактори під час вирощування ячменю і роботи агрегату BELARUS 2022.3 + МТУ-18. Запропоновано заходи безпечної експлуатації техніки, використання засобів індивідуального захисту, дотримання санітарних вимог, пожежної безпеки та організації безпечної зони роботи.

Техніко-економічне обґрунтування підтвердило доцільність прийнятих проєктних рішень. Використання модернізованої машини МТУ-18 сприяє підвищенню якості внесення органічних добрив, зменшенню експлуатаційних витрат, раціональнішому використанню добрив, підвищенню продуктивності агрегату та створенню умов для збільшення врожайності ячменю.

Запропонована технологія вирощування ячменю з використанням модернізованої машини для внесення твердих органічних добрив має практичне значення для сільськогосподарських підприємств Житомирської області. Її впровадження сприятиме збереженню родючості ґрунтів, підвищенню ефективності використання машинно-тракторного парку та конкурентоспроможності виробництва ячменю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
2. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.
3. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.
4. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.
5. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
6. Рослинництво : підручник / О. І. Зінченко, В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко. Київ : Аграрна освіта, 2001. 591 с.
7. Землеробство : підручник / за ред. В. П. Гудзя. Київ : Центр учбової літератури, 2010. 464 с.
8. Заєць М. Л., Куликівський В. Л. Вплив параметрів дискових сошників на здатність прорізання рослинних решток у системі NO-TILL. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2025. № 3 (130). С. 107–112.
9. Механізація виробництва продукції рослинництва : підручник / В. Г. Мироненко та ін. Київ : Урожай, 2007.
10. Сільськогосподарські машини : підручник / Д. Г. Войтюк, Л. В. Аніскевич, В. В. Іщенко та ін. Київ : Агроосвіта, 2015.
11. Експлуатація машин і обладнання : навч. посіб. / В. М. Булгаков, В. В. Адамчук, В. Т. Надикто та ін. Київ : Аграрна освіта, 2013.

12. Машиновикористання в землеробстві : навч. посіб. / за ред. В. Ю. Ільченка. Київ : Урожай, 1996. 384 с.
13. Житомирська область. Енциклопедія сучасної України. URL: <https://esu.com.ua/article-19258> (дата звернення: 15.05.2026).
14. Житомирське Полісся. Енциклопедія сучасної України. URL: <https://esu.com.ua/article-19265> (дата звернення: 15.05.2026).
15. Eurostat. Regions in Europe – 2024 edition. Barley. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/regions-2024> (accessed: 15.05.2026).
16. Eurostat. Sharp decline in cereal production in 2022. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20231108-2> (accessed: 15.05.2026).
17. USDA Foreign Agricultural Service. European Union Barley Area, Yield and Production. URL: <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/Default.aspx?crop=Barley&id=E4> (accessed: 15.05.2026).
18. AHDB. Nitrogen supply, demand and utilisation in barley. URL: <https://ahdb.org.uk/knowledge-library/nitrogen-supply-demand-and-utilisation-in-barley> (accessed: 15.05.2026).
19. Teagasc. Fertiliser: Requirements for Spring Cereals. URL: <https://teagasc.ie/crops/crops/cereal-crops/spring-cereals/fertiliser/> (accessed: 15.05.2026).
20. European Commission. Integrated Pest Management. URL: https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/sustainable-use-pesticides/integrated-pest-management-ipm_en (accessed: 15.05.2026).
21. European Commission. Eco-schemes. URL: https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/income-support/eco-schemes_en (accessed: 15.05.2026).

22. HORSCH Maschinen GmbH. Pronto 6–7 DC: Disc seed drills. URL: <https://www.horsch.com/en/products/seeding-technology/disc-seed-drills/pronto-6-7-dc> (accessed: 15.05.2026).

23. AMAZONE. Mounted spreader ZA-V. URL: <https://amazone.net/de/produkte-digitale-loesungen/landtechnik/duengetechnik/anbaustreuer/anbaustreuer-za-v-2546> (accessed: 15.05.2026).

24. LECTURA Specs. Amazone ZA-V 2000 Special Specifications & Technical Data. URL: <https://www.lectura-specs.com/en/model/agricultural-machinery/slurry-and-manure-technology-fertiliser-spreaders-amazone/za-v-2000-special-11729899> (accessed: 15.05.2026).

25. LECTURA Specs. Amazone UF 1801 (24) Specifications & Technical Data. URL: <https://www.lectura-specs.com/en/model/agricultural-machinery/mounted-field-sprayers-amazone/uf-1801-24-1155794> (accessed: 15.05.2026).

26. LECTURA Specs. Lemken Juwel 8 M 6 N 100 Specifications & Technical Data. URL: <https://www.lectura-specs.com/en/model/agricultural-machinery/ploughs-lemken/juwel-8-m-6-n-100-11722679> (accessed: 15.05.2026).