

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

Механізація вирощування картоплі з модернізацією плуга
ПНЯ-4-40

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи AI-22-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____Кравчук Володимир Володимирович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проєкту

доц., канд. техн. наук

_____Юрій МАЧОК

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доц., канд. техн. наук

_____Сергій МАРКОВИЧ

« ____ » _____ 2026 р.

Кропивницький

[illegible]

[illegible]

ЗМІСТ

	стор.
1. Вступ	7
2. Аналіз типової технології вирощування картоплі з визначенням шляхів її удосконалення	9
3. Операційна технологія оранки ..	18
4. Інженерна частина	30
5. Охорона праці	40
6. Висновки	42
Список використаної літератури	44
Додатки	47

					МВК 00.000 ПЗ	Арх.
Фм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1. Вступ

Сучасний розвиток аграрного сектору України нерозривно пов'язаний із впровадженням ефективних технологій виробництва сільськогосподарської продукції та вдосконаленням технічного забезпечення виробничих процесів. Однією з найважливіших продовольчих культур, що займає провідне місце в структурі рослинництва, є картопля. Вона має значне господарське значення, використовується як харчовий продукт, кормова та технічна сировина, а також відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки держави [1,5,10,15].

Вирощування картоплі характеризується високою трудомісткістю та потребує виконання значної кількості технологічних операцій, починаючи від основного обробітку ґрунту і закінчуючи збиранням урожаю. Якість виконання кожної з цих операцій безпосередньо впливає на врожайність культури, економічну ефективність виробництва та рівень витрат матеріально-технічних ресурсів. Особливе значення має підготовка ґрунту, оскільки саме від стану орного шару залежить розвиток кореневої системи рослин, накопичення вологи та поживних речовин.

Одним із основних засобів для виконання глибокого обробітку ґрунту є плуги різних конструкцій. Незважаючи на широке застосування сучасних ґрунтообробних агрегатів, значна кількість господарств продовжує використовувати серійні плуги, технічні характеристики яких не повною мірою відповідають сучасним вимогам енергоощадності та якості обробітку. У зв'язку з цим актуальним завданням агроінженерії є модернізація існуючих машин з метою підвищення їх продуктивності, зниження тягового опору та покращення агротехнічних показників роботи.

Плуг ПНЯ-4-40 належить до машин, що широко застосовуються для основного обробітку ґрунту в сільськогосподарському виробництві. Проте в процесі експлуатації виявляються певні недоліки, пов'язані з якістю кришення

					МБК 00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Кравчук				Пояснювальна записка		Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Мачок							7	
Н.контр	Артеменко								
Затвер.	Васильковський						ЦНТУ гр. АІ-22-1		

грунту, нерівномірністю обробітку окремих ділянок та підвищеними енергетичними витратами. Тому удосконалення його конструкції є доцільним напрямом підвищення ефективності технології вирощування картоплі.

Метою роботи є розроблення заходів щодо енергоефективності, підвищення продуктивності та якості виконання процесу основного обробітку при вирощуванні картоплі.

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

2. Аналіз типової технології вирощування картоплі з визначенням шляхів її удосконалення.

2.1. Господарське значення картоплі.

Картопля належить до найважливіших сільськогосподарських культур, які мають велике значення для продовольчого забезпечення населення та розвитку аграрного виробництва. Завдяки високій врожайності, універсальності використання та здатності пристосовуватися до різних природних умов вона посідає особливе місце серед польових культур. В Україні картоплю часто називають «другим хлібом», оскільки вона є одним із основних продуктів харчування в повсякденному раціоні населення [10,15,21].

Насамперед господарська цінність картоплі визначається її продовольчим значенням. Бульби містять велику кількість крохмалю, вуглеводів, білків, вітамінів і мінеральних речовин, необхідних для нормальної життєдіяльності людини. Картопля використовується для приготування сотень різноманітних страв, а також є сировиною для виробництва харчових продуктів промислового виготовлення. Висока поживність і доступність роблять її важливим елементом продовольчої безпеки країни.

Важливу роль картопля відіграє у тваринництві. Частину врожаю, яка не відповідає вимогам харчового використання, застосовують як корм для сільськогосподарських тварин. Бульби та продукти їх переробки містять значний запас енергії, що позитивно впливає на продуктивність худоби та свиней. Використання картоплі у кормовій базі дозволяє ефективніше використовувати ресурси господарства та зменшувати втрати продукції.

Не менш важливим є промислове значення культури. Картопля служить цінною сировиною для отримання крохмалю, спирту, патоки, глюкози та інших продуктів. Крохмаль використовується в харчовій, текстильній, паперовій і фармацевтичній промисловості. Останніми роками зростає інтерес до використання картопляної сировини для виробництва біопалива, що відкриває нові перспективи її господарського використання.

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Економічне значення картоплі також є надзвичайно важливим. Її вирощування забезпечує зайнятість населення, сприяє розвитку фермерських господарств і створює додану вартість у переробній галузі. Картопля залишається стабільно затребуваною на внутрішньому ринку, а якісна продукція може бути предметом експорту.

Таким чином, картопля є багатофункціональною культурою, яка поєднує продовольче, кормове, промислове та економічне значення. Її роль у сільському господарстві та забезпеченні потреб суспільства залишається надзвичайно важливою, що робить картоплю однією з найцінніших культур сучасного землеробства [10,11,15,17,20].

2.2. Біологічні особливості картоплі.

Картопля (*Solanum tuberosum* L.) належить до родини «пасльонові» та є однією з найважливіших продовольчих культур світу. Її цінують за високу врожайність, поживність бульб і здатність пристосовуватися до різних ґрунтово-кліматичних умов. У господарському використанні картопля вирощується переважно як однорічна культура, хоча за своєю природою вона є багаторічною трав'янистою рослиною [10,11,15,25].

Коренева система картоплі мичкувата, порівняно слабо розвинена і розміщується переважно в орному шарі ґрунту на глибині до 40–60 см. Це зумовлює високу потребу рослини в достатньому зволоженні та родючості ґрунту. Надземна частина представлена прямостоячими або напіврозлогими стеблами заввишки від 40 до 60 см залежно від сорту та умов вирощування. Листки складні, непарноперисторозсічені, темно-зеленого або світло-зеленого забарвлення.

Особливістю картоплі є утворення підземних пагонів - столонів, на кінцях яких формуються бульби. Бульба являє собою видозмінене стебло, у якому накопичуються поживні речовини, насамперед крохмаль. На поверхні бульби розташовані вічка - бруньки, з яких за сприятливих умов розвиваються нові пагони. Саме бульби використовуються як основний матеріал для вегетативного розмноження культури.

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Квітки картоплі зібрані у суцвіття-завиток і можуть мати біле, рожеве, бузкове або фіолетове забарвлення. Запилення переважно відбувається самостійно, хоча можливе і перехресне запилення за участю комах. Плід - багатонасінна ягода, що містить дрібне насіння. У виробничих умовах насіннєве розмноження використовується головним чином у селекційній роботі.

Картопля належить до рослин помірного клімату. Для проростання бульб оптимальною є температура ґрунту $8-10^{\circ}\text{C}$, а найкращий ріст і розвиток рослин спостерігається за температури повітря $18-22^{\circ}\text{C}$. Високі температури негативно впливають на процес бульбоутворення, а заморозки можуть пошкоджувати сходи та надземні органи.

Рослина потребує достатнього освітлення, вологи та поживних речовин. Найкраще вона росте на пухких, добре аерованих ґрунтах із нейтральною або слабокислою реакцією середовища. Завдяки високій пластичності та значному генетичному різноманіттю сортів картопля успішно вирощується в багатьох країнах світу і залишається однією з провідних сільськогосподарських культур [10,11,15,25].

2.3. Місце в сівозміні.

Картопля займає важливе місце в системі сівозміни, оскільки добре реагує на родючість ґрунту та потребує якісного агрофону. Найкращими попередниками для неї є озимі зернові культури, зернобобові та багаторічні трави, які сприяють накопиченню поживних речовин і зменшенню забур'яненості полів. Повернення картоплі на те саме поле рекомендується не раніше ніж через 3–4 роки, що дозволяє обмежити поширення хвороб і шкідників. У свою чергу, після картоплі створюються сприятливі умови для вирощування багатьох сільськогосподарських культур завдяки доброму обробітку ґрунту та очищенню площі від бур'янів [1,5,10].

2.4. Система удобрення.

Система удобрення картоплі є одним із визначальних чинників формування високого врожаю та забезпечення належної якості бульб. Ця культура характеризується значним винесенням поживних речовин із ґрунту,

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

тому потребує збалансованого забезпечення макро - і мікроелементами протягом усього періоду вегетації. Розробка системи удобрення повинна враховувати родючість ґрунту, попередник у сівозміні, запланований рівень урожайності та особливості сорту [1,5,9,25].

Важливе значення мають органічні добрива, які сприяють покращенню фізичних властивостей ґрунту, підвищенню його вологостійкості та активізації мікробіологічних процесів. Під картоплю часто вносять перепрілий гній або компост, які забезпечують рослини доступними елементами живлення та позитивно впливають на структуру орного шару. Органічні добрива доцільно вносити восени під основний обробіток ґрунту, що сприяє їх рівномірному розкладанню. Технологічна карта передбачає внесення 20 т/га гною. На місці зберігання органіки трактором – навантажувачом Т-156 здійснюється завантаження продукту в розкидач ПРТ-10, який працює з трактором Т-150К. Завантажений агрегат рухається до поля і розкидає на ньому гній.

Серед мінеральних елементів найбільшу роль відіграють азот, фосфор і калій. Азот стимулює ріст надземної маси та розвиток кореневої системи, однак його надлишок може затримувати досягання бульб і погіршувати їх лежкість. Фосфор необхідний для формування коренів, прискорення початкового розвитку рослин і накопичення крохмалю. Калій підвищує стійкість картоплі до несприятливих умов середовища, сприяє покращенню смакових якостей продукції та збільшує вміст сухих речовин у бульбах. Під оранку вносяться фосфорно-калійні добрива ($P_{60}K_{120}$). Для цього використовують розкидач МБУ-100, який агрегується з трактором МТЗ-80. Завантаження мінеральних добрив у розкидач забезпечується навантажувачом ПФ-0,75 змонтованим на тракторі МТЗ-80.

Азотне удобрення (N_{40}) проводять під час садіння бульб комбінованою саджалкою.

Рационально організована система удобрення дозволяє максимально реалізувати потенціал сорту, отримати якісну продукцію та підтримувати родючість ґрунту на належному рівні [1,5,9,25].

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

2.5. Обробіток ґрунту.

Обробіток ґрунту є одним із найважливіших елементів технології вирощування культури, оскільки створює сприятливі умови для розвитку кореневої системи, формування бульб і реалізації потенційної продуктивності рослин. Основною метою обробітку є забезпечення оптимального водного, повітряного та поживного режимів ґрунту, а також знищення бур'янів і підготовка поля до садіння.

Після збирання попередника зазвичай проводять лушення стерні, яке сприяє загортанню рослинних решток, зменшенню забур'яненості та активізації проростання насіння бур'янів. Технологічною картою передбачено для реалізації такої вимоги застосування лушильника ЛДГ-15, який працює з трактором Т-150. Глибина розпушення 6–8 см у два сліди. Через певний, агротехнічно встановлений час виконують основний обробіток ґрунту, найчастіше у вигляді оранки на глибину 22–27 см. Базовий орний агрегат – МТЗ-80 + ПЛН-3-35. Глибина обробітку залежить від типу ґрунту, його ущільнення та попередньої культури. Осіння оранка сприяє накопиченню вологи, покращує структуру орного шару та створює умови для кращого засвоєння поживних речовин. Після завершення оранки виконують культивуацію з боронуванням ґрунтообробним агрегатом С-11У+КПС-4+БЗСС-1,0. Його роботу забезпечує трактор Т-150К.

Навесні проводять комплекс передпосадкових заходів. Після настання фізичної стиглості ґрунту виконують боронування для збереження запасів вологи та руйнування поверхневої кірки. Для цього використовують широкозахватний агрегат СГ-21+БЗСС-1,0 + трактор Т-150.

Після появи сходів з деяким інтервалом виконують два міжрядні обробітки, які допомагають підтримувати ґрунт у пухкому стані, зменшують конкуренцію з боку бур'янів і покращують водний режим. Для цього застосовують культиватор КРН-4,2 з трактором МТЗ-80.

Важливим агротехнічним прийомом є підгортання рослин. Воно сприяє утворенню додаткового шару пухкого ґрунту навколо куща, захищає бульби від

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

позеленіння та створює сприятливі умови для їх росту. Підгортання проводять культиватором КОР-4,2. Енергетичний засіб – трактор МТЗ-80.

Своєчасне та якісне виконання всіх заходів обробітку ґрунту забезпечує формування високого врожаю картоплі та покращує товарні показники продукції [1,5,10,25].

2.6. Садіння картоплі.

Садіння картоплі є важливим етапом вирощування цієї культури, від якого значною мірою залежить майбутній урожай. Перед початком робіт обирають здорові та якісні бульби середнього розміру. За декілька тижнів до висаджування їх пророщують у світлому приміщенні, щоб прискорити появу сходів. Ґрунт попередньо розпушують, як зазначалося вище, видаляючи бур'яни та вносячи необхідні добрива. Після прогрівання землі до оптимальної температури формують рядки на певній відстані одна від одної. Бульби розміщують паростками догори та засипають шаром ґрунту. Глибина посадки залежить від типу ґрунту та кліматичних умов місцевості. Після завершення робіт поверхню поля вирівнюють. У період росту рослин проводять розпушування міжрядь, підгортання та контроль бур'янів. За потреби здійснюють полив і захист від шкідників та хвороб. Дотримання основних агротехнічних вимог сприяє формуванню міцних кущів і забезпечує отримання якісного врожаю картоплі [1,10,21,25].

Технологічна карта передбачає застосування картоплесаджалки КСМ-6-01. Її агрегатують з трактором МТЗ-80.

2.7. Догляд за сходами та рослинами картоплі.

Догляд за сходами та рослинами картоплі включає комплекс агротехнічних заходів, спрямованих на створення сприятливих умов для росту рослин і формування високого врожаю. Після появи перших сходів особливу увагу приділяють підтриманню ґрунту в пухкому стані. Розпушування міжрядь покращує доступ повітря до кореневої системи та сприяє збереженню вологи. Одночасно проводять видалення бур'янів, які конкурують з культурою за поживні речовини, воду та сонячне світло. Для забезпечення виконання

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

зазначених вимог проводять два міжрядних обробітки. Для першого і другого обробітку використовують культиватор КРН-4,2, який працює з трактором МТЗ-80.

Важливим елементом догляду є підгортання. Цю операцію виконують агрегатом МТЗ-80+КОР-4,2, нагортаючи ґрунт до основи кущів. Підгортання стимулює утворення додаткових підземних пагонів, на яких формуються бульби, а також захищає їх від позеленіння. За недостатньої кількості опадів здійснюють полив (якщо дана операція закладена в технологічній карті), особливо в період бутонізації та цвітіння, коли потреба рослин у волозі значно зростає.

Для забезпечення повноцінного розвитку картоплі застосовують підживлення мінеральними або органічними добривами. Не менш важливим є постійний моніторинг стану посівів з метою своєчасного виявлення ознак хвороб і пошкоджень шкідниками. У відповідні терміни та за потреби насадження обробляють фунгіцидами і інсектицидами обприскувачом ОПШ-15-01, який обслуговує трактор МТЗ-80. Наприкінці вегетації проводять контроль стиглості бульб та підготовку до збирання врожаю. Виконання всіх заходів догляду у встановлені строки сприяє отриманню здорових рослин і підвищенню продуктивності картопляних насаджень [5,9,10,25].

2.8. Збирання врожаю.

Збирання врожаю картоплі є завершальним етапом технології її вирощування та потребує своєчасного виконання. Початок робіт визначають за зовнішніми ознаками стиглості рослин. Коли бадилля жовтіє, висихає та припиняє активний ріст, бульби досягають необхідного рівня зрілості. За декілька днів до збирання надземну частину рослин часто скошують або видаляють, що сприяє зміцненню шкірки картоплин і покращує їхню лежкість під час зберігання.

Збирання проводять у суху погоду, щоб мінімізувати налипання ґрунту на бульби та зменшити ризик механічних пошкоджень. Для викопування використовують комбайн ККУ-2А-3, який працює з трактором Т-150К. Під час роботи важливо обережно піднімати шар ґрунту, щоб не пошкодити врожай.

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Наступним етапом є сортування. Бульби розподіляють за розміром і якістю, окремо відбираючи насіннєвий матеріал для майбутньої посадки. Пошкоджені або уражені хворобами екземпляри вилучають. Перед закладанням на зберігання врожай додатково просушують у добре вентильованому приміщенні. Після цього картоплю розміщують у сховищах, де підтримуються оптимальні показники температури та вологості. Дотримання всіх етапів збирання дає змогу зберегти якість продукції та зменшити втрати під час тривалого зберігання [1,5,10,17,23,24,25].

2.9. Обґрунтування вибору орного агрегату.

Заміна орного агрегату, що складається з трактора МТЗ-80 та плуга ПЛН-3-35, на сучасніший комплекс у складі трактора ХТЗ 17021 і ярусного плуга ПНЯ-4-40 є технічно та економічно обґрунтованим рішенням. Основною перевагою нового агрегату є значно вища продуктивність роботи. Завдяки більшій ширині захвату плуга та потужнішому енергетичному засобу за один прохід обробляється більша площа ґрунту, що дозволяє скоротити тривалість виконання польових робіт і зменшити витрати робочого часу.

Ярусний плуг забезпечує якісніше розпушування орного шару та ефективніше загортання рослинних решток. Під час обробітку верхній і нижній шари ґрунту переміщуються окремо, що сприяє покращенню його структури, накопиченню вологи та активізації біологічних процесів. Такий спосіб оранки особливо корисний на ущільнених або малопродуктивних ґрунтах, де необхідне глибоке розпушування.

Трактор ХТЗ 17021 має значно більшу потужність порівняно з МТЗ-80, що забезпечує стабільну роботу з важким ґрунтообробним обладнанням навіть за складних польових умов. Крім того, зменшується кількість проходів техніки по полю, а отже скорочується ущільнення ґрунту та знижуються експлуатаційні витрати на одиницю обробленої площі.

У результаті впровадження агрегату ХТЗ 17021 – ПНЯ-4-40 підвищується ефективність основного обробітку ґрунту, поліпшується його агрофізичний стан та створюються кращі умови для росту сільськогосподарських культур. Це

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

сприяє підвищенню врожайності та загальної рентабельності виробництва. Для підтвердження зазначених тверджень виконаємо відповідні розрахунки

Висновки по розділу. Проведений аналіз технології вирощування картоплі свідчить про важливість комплексного підходу до виконання всіх агротехнічних заходів. Висока господарська цінність культури обумовлює необхідність раціонального використання земельних, матеріальних і технічних ресурсів. Дотримання науково обґрунтованої сівозміни, ефективної системи удобрення, якісного обробітку ґрунту, своєчасного садіння та належного догляду за посівами створює передумови для отримання високих урожаїв. Удосконалення технології за рахунок застосування продуктивнішого орного агрегату ХТЗ 17021 + ПНЯ-4-40 дозволяє підвищити якість основного обробітку ґрунту, знизити витрати праці та покращити економічні показники виробництва картоплі.

.

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

3. Операційна технологія оранки.

Розрахунок та порівняльна оцінка базового і проєктного орних агрегатів

Одним із напрямів удосконалення технології вирощування картоплі є підвищення ефективності основного обробітку ґрунту. З цією метою проведено порівняння базового орного агрегату у складі трактора МТЗ-80 та плуга ПЛН-3-35 із проєктним агрегатом, який включає трактор ХТЗ-17021 та ярусний плуг ПНЯ-4-40.

Вихідні дані для розрахунку:

- площа оранки – $72га$;
- питомий опір ґрунту – $52,5кН / м^2$;
- кут нахилу поля – $i = 2,8^\circ$;
- глибина оранки базового агрегату – $a_б = 0,26м$;
- глибина оранки проєктного агрегату – $a_{np} = 0,33м$;
- коефіцієнт використання часу зміни – $\tau = 0,75$;
- тривалість зміни - $7год$.

Визначення ширини захвату агрегатів

Робоча ширина захвату визначається за формулою [8,12,13]

$$B = n \cdot b \quad (3.1)$$

де n - кількість корпусів;

b – ширина захвату одного корпусу, $м$.

Для плуга ПЛН-3-35

$$B_б = 3 \cdot 35 = 1,05м$$

Для плуга ПНЯ-4-40

$$B_{np} = 4 \cdot 40 = 1,6м$$

Отже, ширина захвату проєктного агрегату на 52,4% більша порівняно з базовим.

Розрахунок тягового опору

Тяговий опір орного агрегату визначається залежністю [8,12,13]

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$R = k \cdot a \cdot B \quad (3.2)$$

де R – тяговий опір, κH ;

k – питомий опір ґрунту, $\kappa H / м^2$;

B – ширина захвату агрегату, $м$;

a – глибина обробітку, $м$.

Для агрегату МТЗ-80 + ПЛН-3-35

$$R_0 = 52,5 \cdot 0,26 \cdot 1,05 = 14,33 \kappa H$$

Для агрегату ХТЗ-17021 + ПНЯ-4-40

$$R_{np} = 52,5 \cdot 0,33 \cdot 1,6 = 27,72 \kappa H$$

Отримані значення свідчать про те, що проєктний агрегат працює з більшим навантаженням, яке відповідає тяговому класу трактора ХТЗ-17021.

Визначення робочої швидкості руху

3. урахуванням тягових характеристик тракторів та умов роботи приймаємо

- для агрегату МТЗ-80 + ПЛН-3-35:

$$V_0^{III} = 7,0 \text{ км / год}, \text{ що відповідає третій передачі другого діапазону швидкостей}$$

з урахуванням буксування.

- для агрегату ХТЗ-17021 + ПНЯ-4-40

$$V_{np}^{II} = 8,5 \text{ км / год}, \text{ що відповідає другій передачі другого діапазону швидкостей}$$

з урахуванням буксування.

Збільшення швидкості становить

$$\Delta V = \left(\left(\frac{8,5 - 7,0}{7,0} \right) \cdot 100 \right) = 21,4\%$$

Розрахунок продуктивності агрегатів

Теоретична продуктивність визначається за формулою [8,12,13]

$$W_m = \frac{B \cdot V}{10} \quad (3.3)$$

де W_m – теоретична продуктивність, $га / год$;

Для базового агрегату

$$W_m^0 = \frac{1,05 \cdot 7,0}{10} = 0,735 \text{ га / год}$$

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Для проєктного агрегату

$$W_m^{np} = \frac{1,6 \cdot 8,5}{10} = 1,36 \text{га} / \text{год}$$

Експлуатаційну продуктивність обчислимо за формулою

$$W_e = W_m \cdot \tau \quad (3.4)$$

де $\tau = 0,75$ – коефіцієнт використання часу зміни.

Для базового агрегату

$$W_e^b = 0,735 \cdot 0,75 = 1,02 \text{га} / \text{год}$$

Для проєктного агрегату

$$W_e^{np} = 1,36 \cdot 0,75 = 1,02 \text{га} / \text{год}$$

Таким чином, продуктивність проєктного агрегату перевищує продуктивність базового у

$$1,02 / 0,55 = 1,85 \text{рази}$$

Змінна продуктивність

Змінну продуктивність визначають за формулою [8,12,13]

$$W_{zm} = W_e \cdot T$$

де $T = 7 \text{год}$ – тривалість зміни.

Для агрегату МТЗ-80 + ПЛН-3-35:

$$W_{zm}^b = 0,55 \cdot 7 = 3,85 \text{га} / \text{зм}$$

Для агрегату ХТЗ-17021 + ПНЯ-4-40:

$$W_{zm}^{np} = 1,02 \cdot 7 = 7,14 \text{га} / \text{зм}$$

Отже, за одну зміну проєктний агрегат забезпечує додатковий виробіток

$$7,14 - 3,85 = 3,29 \text{га}$$

Визначення потреби в машинному часі

Загальні витрати часу на виконання оранки площі 72га визначаються за формулою

$$t = \frac{S}{W_e} \quad (3.5)$$

де $S = 72 \text{га}$ – площа роботи (поля).

Для базового агрегату:

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$t_{\phi} = \frac{72}{0,55} = 130,9 \text{ год}$$

Кількість змін

$$n_{\phi} = \frac{130,9}{7} = 18,7 \text{ зміни}$$

Для проектного агрегату:

$$t_{np} = \frac{72}{1,02} = 70,6 \text{ год}$$

Кількість змін

$$n_{\phi} = \frac{70,6}{7} = 10,1 \text{ зміни}$$

Скорочення терміну виконання роботи становить:

$$18,7 - 10,1 = 8,6 \text{ змін}$$

Визначення витрат палива

Для розрахунків приймаємо середню годинну витрату палива

- МТЗ-80 – 11,3 кг / год ;
- ХТЗ-17021 – 14,8 кг / год

Питомі витрати палива визначаються [8,12,13]

$$q = \frac{G}{W_e} \quad (3.6)$$

де G – годинна витрата палива, кг / год .

Для базового агрегату:

$$q_{\phi} = \frac{11,3}{0,55} = 20,54 \text{ кг / га}$$

Для проектного агрегату:

$$q_{np} = \frac{14,8}{1,02} = 14,5 \text{ кг / га}$$

Бачимо, що питомі витрати палива менші на

$$20,54 - 14,5 = 6,04 \text{ кг / га}$$

Витрата палива за зміну

$$Q_{zm} = G \cdot T \quad (3.7)$$

Для агрегату МТЗ-80 + ПЛН-3-35

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$Q_{зм}^{\delta} = 11,3 \cdot 7 = 79,1 \text{ кг}$$

Для агрегату ХТЗ-17021 + ПНЯ-4-40:

$$Q_{зм}^{\delta} = 14,8 \cdot 7 = 103,6 \text{ кг}$$

Порівняльні характеристики агрегатів наведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Порівняльна характеристика агрегатів

Показник	Одиниця виміру	МТЗ-80 + ПЛН-3-35	ХТЗ-17021 + ПНЯ-4-40
Глибина оранки	см	26	33
Ширина захвату	м	1,05	1,60
Тяговий опір	кН	14,33	27,72
Робоча швидкість	км / год	7,0	8,5
Продуктивність годинна	га / год	0,55	1,02
Продуктивність змінна	га / зм	3,85	7,14
Кількість змін на 72га	-	18,7	10,1
Витрата палива	кг / га	20,54	14,5
Витрата палива за зміну	кг / зм	79,1	103,6

Проведені розрахунки показали, що використання проектного агрегату ХТЗ-17021 + ПНЯ-4-40 забезпечує істотне підвищення ефективності виконання оранки. Незважаючи на більші на 6,04 кг змінні витрати палива, питомі витрати проектного агрегату менші на ту ж величину. Продуктивність агрегату зростає у 1,85 рази. Це дає можливість скоротити тривалість виконання роботи на площі 72 га з 18,7 до 10,1 зміни. Крім того, ярусний плуг забезпечує якісніший обробіток ґрунту на глибину 33 см, що сприяє покращенню водно-повітряного режиму орного шару та створює сприятливі умови для формування врожаю картоплі. Отже, запропонований агрегат є технічно та технологічно доцільним для впровадження у виробництво.

3.3. Розрахунок операційно – технологічної карти на оранку.

Розробка операційно-технологічної карти на виконання оранки агрегатом ХТЗ-17021 + ПНЯ-4-40

Для виконання основного обробітку ґрунту прийнято орний агрегат у складі трактора ХТЗ-17021 та ярусного плуга ПНЯ-4-40. Спосіб руху агрегату – комбінований човниковий. Довжина загінки становить 755 м.

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Вихідні дані:

Робоча ширина захвату плуга

$$B_p = 4 \cdot 0,40 = 1,6 \text{ м}$$

Робоча швидкість агрегату:

$$V_p = 8,5 \text{ км / год}$$

Довжина загінки:

$$L = 755 \text{ м}$$

Кінематична довжина агрегату для ХТЗ-17021 + ПНЯ-4-40:

$$l_k = 8,5 \text{ м}$$

Визначення мінімального радіусу повороту

Для колісних тракторів тягового класу 3 мінімальний радіус повороту визначається за паспортними характеристиками [8,12,13].

Приймаємо

$$R_{\min} = 7,5 \text{ м}$$

Робочий радіус повороту:

$$R_p = 1,3 \cdot R_{\min} \quad (3.8)$$

$$R_p = 1,3 \cdot 7,5 = 9,75 \text{ м}$$

Приймаємо

$$R_p = 10,0 \text{ м}$$

Визначення ширини поворотної смуги

Для петльових поворотів при загінному способі:

$$E = 4 \cdot R \quad (3.9)$$

$$E = 4 \cdot 10 = 40,0 \text{ м}$$

Приймаємо

$$E = 40,0 \text{ м}$$

Визначення оптимальної ширини загінки

Для загінного комбінованого способу рекомендується

$$C_{\text{опт}} = 8 \cdot R + 2 \cdot B_p \quad (3.10)$$

$$C_{\text{опт}} = 8 \cdot 10 + 2 \cdot 1,6 = 83,2 \text{ м}$$

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Приймаємо

$$C_{ont} = 80м$$

Така ширина забезпечує мінімальні втрати часу на виконання поворотів та сприяє ефективному використанню продуктивності агрегату.

Кількість проходів у загінці

Кількість робочих проходів визначаємо

$$n = \frac{C_{ont}}{B_p} = \frac{80}{1,6} = 50,0 \text{ проходів}$$

Довжина робочого ходу

$$L_p = L - 2 \cdot E \quad (3.11)$$

$$L_p = 755 - 2 \cdot 40 = 675м$$

$$L_p = 675м$$

Отже, безпосередньо обробіток ґрунту виконується на відрізку довжиною 675 м.

Довжина холостого ходу

Для загінного комбінованого способу використовують петльовий поворот:

$$L_{xx} = 6 \cdot R \quad (3.12)$$

$$L_{xx} = 6 \cdot 10 = 60м$$

Приймаємо

$$L_{xx} = 60м$$

Час виконання робочого ходу

Час робочого ходу:

$$t_p = \frac{L_p}{V_p} \quad (3.13)$$

де $V_p = 8,5 км / год = 2,36 м / с$ - робоча швидкість

$$t_p = \frac{675}{2,36} = 286с = 4,77хв$$

Приймаємо час робочого ходу

$$t_p = 4,77хв$$

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Час виконання холостого ходу

Швидкість руху під час повороту приймаємо

$$V_{xx} = 4,0 \text{ км / год} = 1,11 \text{ м / с}$$

$$t_{xx} = \frac{L_{xx}}{V_{xx}} \quad (3.14)$$

Тоді

$$t_{xx} = \frac{60}{1,11} = 54 \text{ с} = 0,90 \text{ хв}$$

Приймаємо

$$t_{xx} = 0,90 \text{ хв}$$

Тривалість одного циклу

Цикл складається з робочого та холостого ходів.

$$T_u = t_p + t_{xx} \quad (3.15)$$

$$T_u = 4,77 + 0,90 = 5,67 \text{ хв}$$

Приймаємо

$$T_u = 5,67 \text{ хв} = 0,0945 \text{ год}$$

Площа, оброблена за один цикл

Площа за цикл

$$F_u = \frac{B_p \cdot L_p}{10^4} \quad (3.16)$$

Тоді

$$F_u = \frac{1,6 \cdot 675}{10^4} = 0,108 \text{ га}$$

Приймаємо

$$F_u = 0,108 \text{ га}$$

Отже, за один цикл агрегат виконує оранку 0,108 га.

Продуктивність за цикл

Продуктивність циклу

$$W_u = \frac{F_u}{T_u} \quad (3.17)$$

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$W_{\text{ц}} = \frac{0,108}{0,0945} = 1,14 \text{га} / \text{год}$$

Приймаємо

$$W_{\text{ц}} = 1,14 \text{га} / \text{год}$$

Кількість циклів за зміну

Тривалість зміни

$$T_{\text{зм}} = 7 \text{год}$$

Кількість циклів

$$N_{\text{ц}} = \frac{T_{\text{зм}}}{T_{\text{ц}}} \quad (3.18)$$

$$N_{\text{ц}} = \frac{7}{0,0945} = 74 \text{цикли}$$

З урахуванням організаційних простоїв, приймаємо

$$N_{\text{ц}} = 70 \text{циклів}$$

Змінна продуктивність

$$W_{\text{зм}} = F_{\text{ц}} \cdot N_{\text{ц}} \quad (3.19)$$

$$W_{\text{зм}} = 0,108 \cdot 70 = 7,56 \text{га} / \text{зм}$$

Приймаємо

$$W_{\text{зм}} = 7,56 \text{га} / \text{зм}$$

Кількість змін для виконання роботи

Необхідна кількість змін

$$n_{\text{зм}} = \frac{S}{W_{\text{зм}}} \quad (3.20)$$

$$n_{\text{зм}} = \frac{70}{7,56} = 9,23 \text{зм}$$

Приймаємо

$$n_{\text{зм}} = 10,0 \text{змін}$$

Коефіцієнт робочих ходів

$$\varphi = \frac{L_p}{L_p + L_{\text{хх}}} \quad (3.21)$$

$$\varphi = \frac{675}{675 + 60} = 0,918$$

Отримане значення свідчить про високий рівень використання часу руху агрегату та незначні втрати на повороти.

При роботі агрегату ХТЗ-17021 + ПНЯ-4-40 загінним комбінованим способом руху раціональна ширина загінки становить 80метрів, ширина поворотної смуги – 40метрів. Робоча довжина гону дорівнює 675метрів, коефіцієнт робочих ходів становить 0,918. За один цикл агрегат обробляє 0,108га, а змінна продуктивність дорівнює 7,56га/зм. Для виконання оранки площі 72га необхідно приблизно 10 робочих змін.

3.4. Підготовка поля до роботи.

Підготовка поля до оранки є важливим етапом у системі обробітку ґрунту, від якого залежить якість подальших польових робіт. Насамперед проводять оцінку стану ділянки, визначають рівень забур'яненості та наявність рослинних решток. За потреби виконують лущення стерні або дискування, що сприяє подрібненню післяжнивних залишків і збереженню вологи. Наступним кроком є внесення органічних чи мінеральних добрив відповідно до агрохімічних показників ґрунту. Після цього здійснюють вирівнювання поверхні поля та усувають можливі перешкоди для роботи техніки. Відмічають краї загінки і поворотних смуг. Лише після виконання всіх підготовчих заходів розпочинають основний обробіток ґрунту, який забезпечує оптимальні умови для розвитку майбутніх культур.

3.5. Підготовка агрегату до роботи.

Підготовка орного агрегату, що складається з трактора ХТЗ-17021 та плуга ПНЯ-4-40, починається з ретельного технічного огляду. Перед виїздом у поле перевіряють рівень пального, моторної оливи, охолоджувальної рідини та справність гідравлічної системи трактора. Особливу увагу приділяють стану шин, рульового керування і гальм. Після цього виконують агрегування плуга з трактором, контролюючи надійність з'єднань та правильність підключення гідравліки. Далі оглядають робочі органи плуга: леміші, полиці, стійки та

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

кріплення. За потреби зношені деталі замінюють або регулюють. На завершальному етапі встановлюють необхідну глибину оранки, вирівнюють плуг відносно поверхні поля та проводять пробний прохід для перевірки якості роботи агрегату.

3.6. Організація роботи агрегату в загінці.

Для агрегату встановлено загінний петльовий комбінований спосіб руху. Організація роботи агрегату в загінці передбачає раціональне планування руху техніки для забезпечення високої продуктивності та якісного виконання польових робіт. Перед початком обробітку визначають межі загінки, напрямок руху та місця для розворотів. Агрегат виводять на лінію першого проходу і встановлюють необхідні робочі параметри. Під час роботи механізатор дотримується прямолінійного руху, контролює глибину обробітку та рівномірність виконання операції. Розвороти здійснюють на поворотних смугах з мінімальними втратами часу та без пошкодження обробленої поверхні.

3.7. Контроль якості оранки

Контроль якості оранки проводять у процесі виконання роботи та після її завершення. Основну увагу приділяють глибині обробітку, рівномірності поверхні поля, повноті обертання скиби та якості загортання рослинних решток. Глибину оранки вимірюють у кількох місцях ділянки, при цьому допустиме відхилення від заданої величини не повинно перевищувати $\pm 2\text{см}$. Також перевіряють відсутність необроблених смуг і огріхів, ширина яких не допускається. Висота гребенів та глибина борозен мають бути рівномірними по всій площі поля. У разі виявлення відхилень від агротехнічних вимог виконують додаткове регулювання плуга або змінюють режим роботи агрегату.

Висновки по розділу. У результаті виконаних розрахунків та розробки операційно-технологічної карти встановлено, що застосування агрегату ХТЗ-17021 у комплекті з плугом ПНЯ-4-40 забезпечує ефективне виконання основного обробітку ґрунту. Проведено обґрунтування параметрів роботи агрегату, організації руху в загінці, підготовки поля та контролю якості оранки. Використання даного агрегату сприяє підвищенню продуктивності праці,

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

скороченню строків виконання робіт і забезпечує дотримання агротехнічних вимог до оранки.

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

4. Інженерна частина.

4.1. Стан питання про машину

4.1.1. Призначення машини

Плуг ПНЯ-4-40 під час виконання технологічного процесу повинен забезпечувати:

- проведення глибокої оранки ґрунту під посів зернових, технічних та овочевих культур;
- якісне переміщення і перевертання шарів ґрунту;
- ефективну роботу в різних ґрунтово-кліматичних умовах на всій території держави.

4.1.2. Будова та процес роботи плуга

Конструктивно плуг спроектовано за традиційною схемою, властивою плугам загального призначення. Якщо в стандартних конструкціях основними робочими органами є корпуси, передплужники та ніж, то в даному плугові передплужників, як таких немає. Їхню функцію забезпечують корпуси верхнього ярусу. Отже, до складу робочих органів машини входять корпуси верхнього та нижнього ярусів, а також ніж.

Важливою конструктивною особливістю плуга є те, що корпуси обох ярусів мають однакову ширину захвату.

Забезпечення запланованої глибини обробки здійснюється за допомогою гвинтового механізму, який змінює положення опорного колеса відносно поверхні ґрунту.

Особливість протікання технологічного процесу полягає у повному взаємному переміщенні шарів, які піднімають корпуси обох ярусів.

4.1.3. Заходи по удосконаленню конструкції плуга.

Одним із пріоритетних завдань аграрного сектору є зниження енерговитрат без втрати якості виконання технологічних процесів. Зокрема, цього можна досягти шляхом мінімізації сил тертя під час оранки, які виникають у зоні контакту ґрунту з польовою дошкою плуга. Оскільки найбільше навантаження припадає на тильну частину дошки, вона зазнає інтенсивного абразивного

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

зношування. Для вирішення цієї проблеми пропонується модернізація конструкції: встановлення рухомого вальця в задній частині польової дошки. Таке конструкційне рішення дає змогу замінити тертя ковзання на тертя кочення, завдяки чому тяговий опір плуга знижується орієнтовно на 10–15%, а термін експлуатації деталі суттєво зростає.

4.2. Технологічні розрахунки.

4.2.1. Розрахунок сил, які діють на корпус плуга

Функціонування корпусу плуга супроводжується значними нормальними та дотичними силовими навантаженнями [2,4,23,24]. Їхні значення визначають загальний тяговий опір знаряддя, а також рівень навантаження на стояк корпусу, польову дошку та інші вузли техніки.

Поряд із класичним експериментальним методом динамометрування, оцінку силового навантаження або тягового опору можна виконати аналітично – на основі характеристик ґрунтового середовища та режимів оранки. Розрахунок базується на схемі сил (рис. 4.1) [2,4,23,24], яка разом із теоретичними рівняннями дає змогу розрахувати просторові компоненти зусиль у трьох проєкціях:

R_x - поздовжню (діє в горизонтальній площині за напрямком руху);

R_y - бокову (діє в горизонтальній площині перпендикулярно до лінії руху);

R_z - вертикальну (діє у вертикальній площині) [23,24].

В горизонтальній площині проєкцій XOY корпус піддається дії рівнодіючої сили R_{xy} . Вона утворює кут $\delta = 15^\circ - 25^\circ$ з напрямком руху корпусу (рис. 4.1).

Визначимо положення точки її прикладення.

Згідно зі схемою (рис. 4.1), у горизонтальній площині проєкцій на робочий орган діє рівнодіюча сила під кутом $\delta = 15^\circ - 25^\circ$ до лінії руху корпусу.

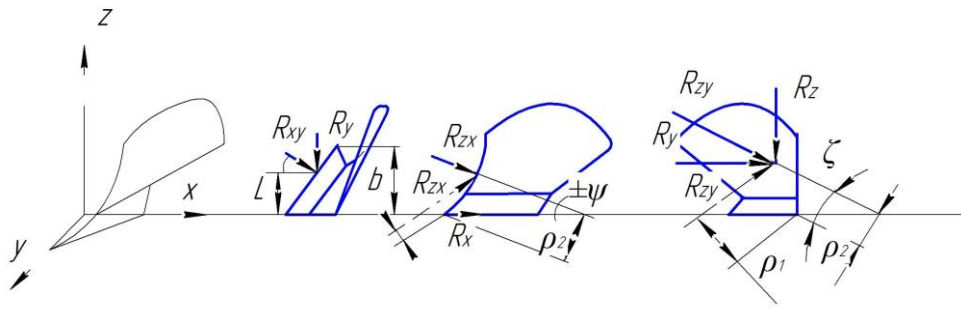


Рис. 4.1. Схема до розрахунку навантаження корпусу.

Визначимо геометричне положення точки, в якій прикладено цю силу [23,24].

$$\lambda = 0,4b \quad (4.1)$$

$$\lambda = 0,4 \cdot 0,4 = 0,160 \text{ м}$$

Величина сили R_x , як проєкція рівнодіючого зусилля R_{xy} на вісь абсцис x обчислиться [23,24]

$$R_x = \eta \cdot k \cdot a \cdot b \quad (4.2)$$

де $\eta = 0,77$ - ККД плуга;

$k = 5,25 \text{ н / м}^2$ - значення питомого опору ґрунту;

$a = 0,33 \text{ м}$ - глибина обробки.

Тоді,

$$R_x = 0,77 \cdot 5,25 \cdot 0,33 \cdot 0,40 \cdot 10^4 = 5336,1 \text{ Н}$$

Значення сили R_y обчислиться

$$R_y = \frac{R_x}{3} \quad (4.3)$$

$$R_y = \frac{5336,1}{3} = 1718,7 \text{ Н}$$

На корпус у вертикальній площині XOZ діє сила R_{xz} , відхилена від напрямку руху на кут ψ (в межах від $+18^\circ$ до -23°). Напрямок цього відхилення визначається фізико-механічними властивостями ґрунту та ступенем зношення лемеша. Так, на важких глинистих ґрунтах із затупленим лезом від'ємне значення кута прямує до максимуму. Для розрахунків прийнято кут $\psi = \pm 14^\circ$, відповідно до чого орієнтовне значення сили R_z дорівнює [23,24].

					МВК 00.000 ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			32

$$R_z = R_x \cdot \operatorname{tg} \psi \quad (4.4)$$

$$R_z = \pm 5636,1 \cdot \operatorname{tg} 14^\circ = \pm 1405,0 \text{ Н}$$

Відстань ρ від точки прикладення вектору сили R_x до носка леміша залежить від значення кута ψ і визначиться [23,24]

$$\rho_1 = \frac{a}{2} \quad (4.5)$$

$$\rho_1 = \frac{0,33}{2} = 0,165 \text{ м} - \text{при додатному } \psi;$$

$$\rho_2 = \frac{a}{3} \quad (4.6)$$

$$\rho_2 = \frac{0,33}{3} = 0,11 \text{ м} - \text{при від'ємному } \psi$$

В площині ZOY корпус піддається дії сила R_{zy} . Вона спрямована під кутом ξ до напрямку вектору сили R_y .

Його тангенс визначиться

Сила R_{zy} , яка діє на корпус у площині ZOY , прикладена під кутом ξ до вектору сили R_y . Тангенс цього кута можна знайти так

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \psi} \quad (4.7)$$

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{\operatorname{tg} 17^\circ}{\operatorname{tg} 14^\circ} = \frac{0,3057}{0,2493} = 1,226$$

Тут кути ξ і ψ можуть мати різні знаки.

Тоді, величина сили R_{zy} визначиться як геометрична сума реакцій R_z та R_y

Тоді, з урахуванням викладеного сила R_{zy} визначиться

$$R_{zy} = R_x \sqrt{\operatorname{tg}^2 \delta + \operatorname{tg}^2 \psi} \quad (4.8)$$

$$R_{zy} = 5636,1 \sqrt{\operatorname{tg}^2 17^\circ + \operatorname{tg}^2 14^\circ} = 2223,2 \text{ Н}$$

Тут плече ρ сили R_{zx}

$$\rho_1 = \frac{a}{2} \quad (4.9)$$

$$\rho_1 = \frac{0,33}{2} = 0,165 \text{ м} - \text{при додатному } \xi;$$

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$\rho_2 = \frac{a}{3} \quad (4.10)$$

$$\rho_2 = \frac{0,33}{3} = 0,11\text{м} - \text{при від'ємному } \xi.$$

4.2.2. Обґрунтування параметрів пасивної складової польової дошки.

Основними параметрами польової дошки, що відповідають за стійкість руху плуга, є її лінійні розміри - ширина та довжина. Попередній розрахунок загальної довжини дошки від носка лемеша виконують на основі формули [23,24].

$$\lambda = \frac{b_k \cdot \cos \varphi}{2 \cdot \sin \gamma_0 \cdot \cos(\varphi + \gamma_0)} \quad (4.11)$$

де $\varphi = 24^\circ$ - кут тертя ґрунту об метал.

Тоді

$$\lambda = \frac{0,40 \cdot \cos 24^\circ}{2 \cdot \sin 42^\circ \cdot \cos(24^\circ + 42^\circ)} = \frac{0,3654}{2 \cdot 0,6621 \cdot 0,4067} = 0,68\text{м}$$

Оскільки польова дошка фіксується на башмаку на певній відстані позаду носка лемеша, її дійсна довжина поступається теоретично розрахованій. Керуючись конструктивними обмеженнями та експлуатаційною документацією на ґрунтообробну машину, встановлюємо фактичну довжину цього елемента корпусу $\lambda = 0,34\text{м}$.

Ширину польової дошки визначено за відомою методикою [23,24] з використанням розрахункової схеми (рис. 4.2).

Конструктивно польова дошка встановлюється під малим кутом до дна та стінки борозни. Їх значення 2° - 3° . У процесі оранки її задня частина заглиблюється в ґрунт, зминаючи стінку борозни на величину 5-10мм [23,24].

Зусилля тиску, що виникає при взаємодії дошки з ґрунтом стінки борозни, визначається таким чином [23,24]

$$q = \frac{q_0 \cdot h}{2} \quad (4.12)$$

де $q_0 = 2,2 \cdot 10^4 \text{ Н / м}^3$ - об'ємний коефіцієнт зминання ґрунту [23,24];

$h = 0,012\text{м}$ – глибина зминання ґрунту.

Тоді

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$q = \frac{2,2 \cdot 10^4 \cdot 0,012}{2} = 132 \text{ Н / м}^2$$

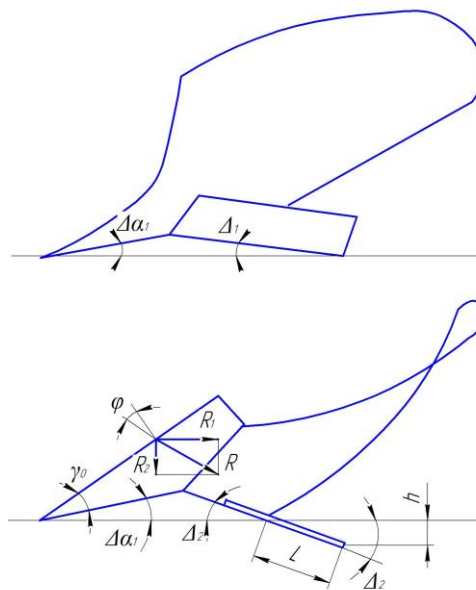


Рис. 4.2. Установка польової дошки.

З урахуванням викладеного орієнтовне значення ширини польової дошки визначиться

$$n = \frac{2 \cdot R_y \cdot \sin \Delta_2}{q_0 \cdot h^2} \quad (4.13)$$

$$n = \frac{2 \cdot 1718,7 \cdot 0,02618}{2,2 \cdot 10^4 \cdot 0,012^2} = 28,4 \text{ мм}$$

За рекумендаціями виробника призначаємо $n = 140,0 \text{ мм} = 0,14 \text{ м}$

4.2.3. Визначення радіуса вальця польової дошки.

Радіус вальця розміщеного з задній частині польової дошки визначимо з рекомендацій [16].

$$r = \frac{24 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot R_2^2 \cdot l_{\text{вал}}^2 \cdot h^4}{P_{\text{сп}}^2} - \frac{64 \cdot R_2^2 \cdot l_{\text{вал}} \cdot h^4}{P_{\text{сп}}^2} + \frac{9 \cdot R_2^4 \cdot l_{\text{вал}} \cdot h^2}{P_{\text{сп}}^4} - 64 \cdot l_{\text{вал}} \cdot h^3 + 4 \cdot l_{\text{вал}}^2 \cdot h^3 + \frac{144 \cdot R_2^2 \cdot h}{P_{\text{сп}}^2} + \frac{9 \cdot R_2^2 \cdot l_{\text{вал}} \cdot h}{P_{\text{сп}}^2}}}{8 \cdot h^2 (l_{\text{вал}} - 16)^2}$$

Вихідними даними для ведення розрахунку є наступні величини

$R_2 = R_y = 1778,7 \text{ Н}$ - сила, яка діє на дошку;

$l_{\text{вал}} = 0,14 \text{ м}$ - висота вальця (відповідає ширині польової дошки);

$h = 0,005 \text{ м}$ - глибина деформації ґрунту;

$P_{\text{сп}} = 43,5 \text{ кПа}$ - питоме навантаження на польову дошку [16].

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Підставивши вказані вихідні дані у наведену формулу маємо значення радіусу вальця - $r = 0,036\text{м}$.

4.3. Розрахунок на міцність

4.3.1. Розрахунок стояка корпусу.

В горизонтальній площині проєкцій на зазначений корпус діє рівнодіюча R_{xy} , яка перетинає лезо лемішу в точці, яка знаходиться на відстані $0,4b$ від польового обрізу і створює з лезом кут λ (рис. 4.3) [23,24].

$$\lambda = 90^\circ - (\gamma_0 + \varphi) \quad (4.14)$$

де $\gamma_0 = 42^\circ$ - кут, під яким встановлено леміш до стінки борозни;

$\varphi = 24^\circ$ - кут тертя ґрунту об сталь.

Тоді

$$\lambda = 90^\circ - (42^\circ + 24^\circ) = 24^\circ$$

Як показує аналіз розрахункової схеми навантаження (рис. 4.3), найімовірніше, критичний переріз $A-A$ розташований на відстані H від точки, де прикладено рівнодіючу силу R_{zx} .

$$H = h - \frac{a}{3} = 0,7 - \frac{0,33}{3} = 0,59\text{м} \quad (4.15)$$

де $h = 0,7\text{м}$ - довжина стояка.

Оскільки сила R_{xy} діє під кутом $(\gamma_0 + \varphi)$ до головних осей інерції перерізу, стояк зазнає косого згину.

Через це в його критичному перерізі $A-A$ виникатимуть як згинальні, так і крутний моменти [23,24].

$$M_x = R_{xy} \cdot \sin(\gamma_0 + \varphi) \cdot H \quad (4.16)$$

$$M_y = R_{xy} \cdot \cos(\gamma_0 + \varphi) \cdot H \quad (4.17)$$

Крутний момент від сили R_y

$$M_k = R_{xy} \cdot \cos(\gamma_0 + \varphi) \cdot \lambda_y \quad (4.18)$$

де $\lambda_y = 0,13\text{м}$ - плече сили R_{xy} .

Через те, що

$$R_{xy} \cdot \sin(\gamma_0 + \varphi) = R_x \quad (4.19)$$

$$R_{xy} \cdot \cos(\gamma_0 + \varphi) = R_y \quad (4.20)$$

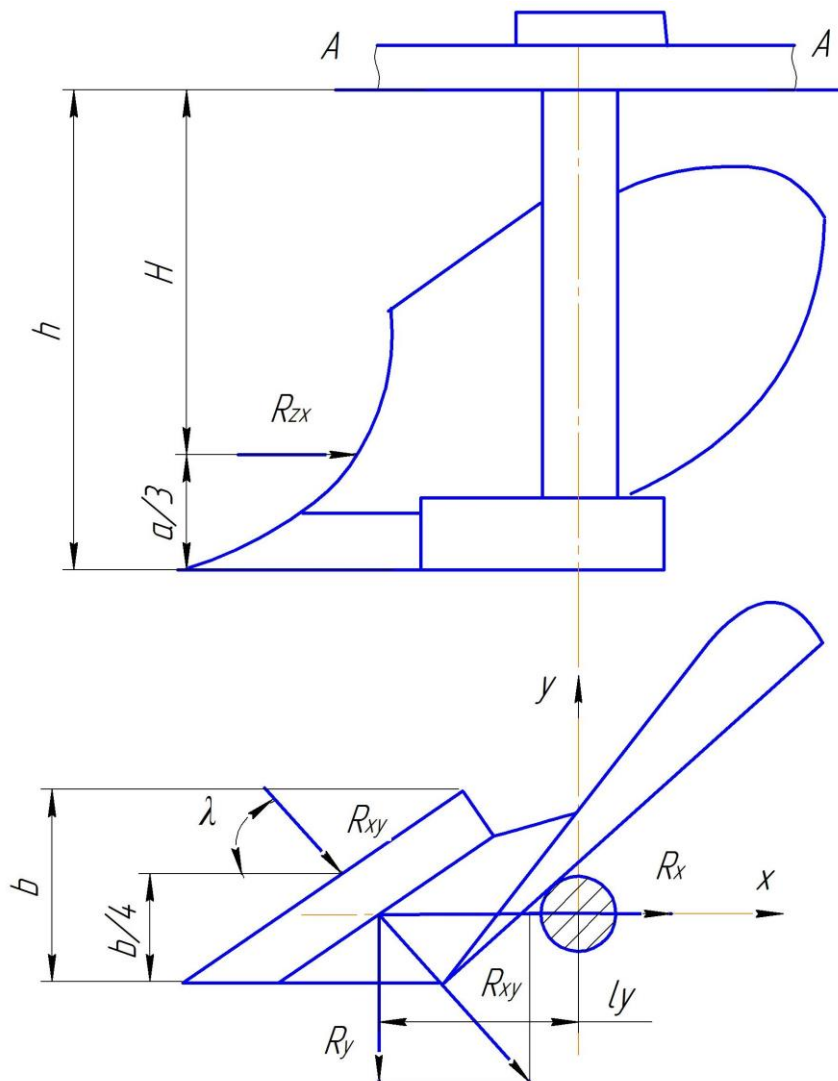


Рис. 4.3. Розрахункова схема стояка.

Тут, згинаючі моменти визначаються

$$M_x = R_x \cdot H = 5336,1 \cdot 0,59 = 3148,3 \text{ Нм}$$

$$M_y = R_y \cdot H = 1778,7 \cdot 0,59 = 1049,4 \text{ Нм}$$

Крутний момент

$$M_k = R_y \cdot \lambda = 1778,7 \cdot 0,16 = 284,6 \text{ Нм}$$

Нормальні напруження від впливу визначених моментів [23,24]

$$\sigma_{Mx} = \frac{M_x \cdot y}{I_x} \quad (4.21)$$

$$\sigma_{My} = \frac{M_y \cdot x}{I_y} \quad (4.22)$$

де x, y – відстань від центральних осей до найвіддаленіших точок;

I_x, I_y - моменти інерції перерізу стояка відносно головних осей.

Обираємо діаметр стояка $D = 0,7 \text{ м}$.

Тоді $x = y = 0,035 \text{ м}$

Відповідно

$$\lambda = 90^\circ - (42^\circ + 24^\circ) = 24^\circ$$

$$I_x = I_y = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \quad (4.23)$$

$$I_x = I_y = \frac{3,14 \cdot 0,07^4}{64} = 1,17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

Тоді

$$\sigma_{Mx} = \frac{3148,3 \cdot 0,035}{1,17 \cdot 10^{-6}} = 94,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{My} = \frac{1049,4 \cdot 0,035}{1,17 \cdot 10^{-6}} = 31,3 \text{ МПа}$$

Сумарні нормальні напруження

$$\sigma_{\text{сум}} = \sigma_{Mx} + \sigma_{My} = 94,2 + 31,3 = 125,5 \text{ МПа} \quad (4.24)$$

Дотичні напруження

$$\tau = \frac{M_\kappa}{W_\kappa}, \quad (4.25)$$

де W_κ – момент опору крученню перерізу стояка

$$W_\kappa = 0,1 \cdot D^3 = 0,1 \cdot 0,07^3 = 3,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Тоді

$$\tau = \frac{284,6}{3,4 \cdot 10^{-5}} = 8,4 \text{ МПа}$$

Згідно третій теорії визначимо приведені напруження [6,19]

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_{\text{сум}}^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad (4.26)$$

$$\sigma_{np} = \sqrt{125,5^2 + 4 \cdot 8,4^2} = 126,6 \text{ МПа}$$

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \sqrt{149,9^2 + 4 \cdot 8,3^2} = 150,8 \text{ МПа} \quad (4.27)$$

Стояк запропоновано виготовляти за сталі 40Х ДСТУ 7806:2015. Для неї $[\sigma_n] = 270 \text{ МПа}$. Тобто $150,8 \text{ МПа} < 270 \text{ МПа}$.

Умова міцності виконується.

Висновок по розділу. У результаті інженерного аналізу обґрунтовано конструктивні параметри двоярусного плуга ПНЯ-4-40. Запропонована модернізація польової дошки шляхом впровадження рухомого вальця дозволяє мінімізувати сили тертя та знизити загальний тяговий опір агрегату на 10–15%, що суттєво підвищує його енергоефективність і зносостійкість.

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

5. Охорона праці.

5.1 Небезпечні та шкідливі фактори при оранці плугом ПНЯ-4-40

Оранка ґрунту під картоплю є енергоємною операцією, під час якої на тракториста одночасно діє кілька шкідливих чинників. Механічні коливання від ходової частини трактора і взаємодії корпусів плуга з ґрунтом формують загальну вібрацію на робочому місці, що за польовими вимірюваннями сягає $0,9-1,4\text{ м/с}^2$ – вище допустимого рівня $1,12\text{ м/с}^2$ [3,7,22]. Рівень шуму в кабіні при відкритих дверях зростає до 88–95дБА, тоді як норма становить 80дБА. Руйнування сухих ґрунтових агрегатів супроводжується пилоутворенням із концентрацією $15-40\text{ мг/м}^3$ у зоні роботи знаряддя. Серед механічних небезпек – гострі леміші й полиці, рухомі елементи навісного механізму та відкидання каміння робочими органами [3,7,22].

5.2 Вимоги безпеки при експлуатації агрегату

До самостійної роботи допускається механізатор віком від 18 років із посвідченням тракториста-машиніста категорії «В» або «С», який пройшов первинний інструктаж і ознайомився з технічним описом плуга. Щоденний огляд перед виїздом охоплює перевірку кріплення корпусів на рамі, стан зрізних болтів запобіжника, затяжку гайок лемішів і цілісність гідравлічних шлангів. Виявлені дефекти усуваються до початку роботи.

Під час оранки забороняється перебування сторонніх осіб ближче 15 м від агрегату, виконання будь-яких регулювань при працюючому двигуні, розворот зі опущеним знаряддям. Технічне обслуговування в полі дозволяється тільки після зупинки двигуна, повного опускання плуга та вилучення ключа запалювання. Для очищення корпусів від налиплого ґрунту застосовується чистик завдовжки не менше 0,5 м [3,7,22].

5.3 Пожежна та електрична безпека

Температура поверхні випускного колектора дизеля в робочому режимі перевищує 400°C , тому щоденне прибирання рослинного пилу з двигуна і глушника є обов'язковим – стерньовий пил займається вже при 200°C . Трактор

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

комплектується вогнегасником ОП-5, розміщеним у кабіні, який перевіряється щорічно. Під час роботи поблизу повітряних ліній електропередачі мінімальна відстань від будь-якої частини агрегату до проводів становить: 1,5м – для ЛЕП до 1кВ, 2,0м – від 1до20кВ, 4м – від 35до110кВ. Оранка в охоронній зоні ЛЕП виконується за наявності письмового наряду-допуску [14].

5.4 Безпека праці при виготовленні модернізованих вузлів

Виготовлення нових деталей плуга в майстерні господарства пов'язане з ризиками електродугового зварювання: ультрафіолетове випромінювання дуги, металевий аерозоль, іскри. Зварювальний пост обладнується місцевою витяжною вентиляцією продуктивністю не менше $1500\text{ м}^3 / \text{год}$; виконавець застосовує щиток зі світлофільтром DIN 10, шкіряні рукавиці та вогнестійкий фартух. Якість зварних швів контролюється зовнішнім оглядом і обстуком; тріщини та непровари є підставою для заборони введення плуга в роботу.

Після складання модернізованого плуга виконується пробне агрегування на рівному майданчику: перевіряється правильність з'єднання навісного механізму, спрацювання гідравлічного підйому та відсутність перекосів рами. Польові випробування розпочинаються лише після підтвердження коректності складання. Конструкція відповідає державному стандарту в частині захисту від контакту з рухомими частинами та нанесення попереджувального маркування [3,7,22]. Реалізація зазначеного комплексу заходів забезпечує відповідність умов праці вимогам Закону України «Про охорону праці» та знижує ймовірність виробничого травматизму при механізованому вирощуванні картоплі.

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

6. Висновки.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності технології вирощування картоплі шляхом удосконалення процесу основного обробітку ґрунту та модернізації плуга ПНЯ-4-40. Проведений аналіз показав, що картопля залишається однією з найважливіших сільськогосподарських культур України, а забезпечення високої врожайності значною мірою залежить від якості виконання технологічних операцій, насамперед оранки.

У ході роботи проаналізовано існуючу технологію вирощування картоплі, визначено особливості її біології, вимоги до умов вирощування, системи удобрення, обробітку ґрунту, догляду за посівами та збирання врожаю. Встановлено, що основний обробіток ґрунту є одним із найважливіших елементів технологічного процесу, оскільки впливає на водно-повітряний режим ґрунту, розвиток кореневої системи рослин та формування врожаю.

З метою вдосконалення технології виконано порівняльну оцінку базового орного агрегату МТЗ-80 + ПЛН-3-35 та проєктного агрегату ХТЗ-17021 + ПНЯ-4-40. Результати розрахунків підтвердили переваги запропонованого технічного рішення. Використання ярусного плуга забезпечує збільшення ширини захвату та робочої швидкості, що дозволяє суттєво підвищити продуктивність агрегату. При цьому скорочуються строки виконання польових робіт і зменшуються питомі витрати палива на одиницю обробленої площі. Крім економічних переваг, покращується якість обробітку ґрунту завдяки більш глибокому та рівномірному розпушуванню орного шару.

У роботі розроблено операційно-технологічну карту виконання оранки, визначено раціональні параметри організації роботи агрегату, обґрунтовано спосіб руху, ширину заїнок і поворотних смуг, а також встановлено показники ефективності використання машинно-тракторного агрегату. Отримані результати підтверджують доцільність застосування агрегату ХТЗ-17021 з плугом ПНЯ-4-40 для виконання основного обробітку ґрунту під картоплю.

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

В інженерній частині роботи запропоновано модернізацію конструкції плуга шляхом встановлення рухомого вальця на польовій дошці. Виконані розрахунки показали, що таке конструктивне рішення дозволяє замінити тертя ковзання тертям кочення, зменшити тяговий опір плуга на 10–15 %, підвищити довговічність робочих органів та покращити енергоефективність технологічного процесу. Розрахунки на міцність підтвердили надійність запропонованої конструкції та відповідність її вимогам експлуатаційної безпеки.

Також розглянуто питання охорони праці під час виконання оранки та виготовлення модернізованих вузлів. Запропоновані організаційні й технічні заходи забезпечують безпечні умови праці, знижують ризик виробничого травматизму та відповідають чинним нормативним вимогам.

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Список використаної літератури.

1. Агротехніка вирощування картоплі. URL: <https://studfile.net/preview/14664159/page:17/>
2. Бендера І.М., Рудь А.В., Козій Я.В. та ін.. Проектування сільськогосподарських машин. Навчальний посібник для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 “Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва”. – Кам’янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011.- 640 с.
3. Березцький В. В. Охорона праці : навчальний посібник. Харків : Факт, 2021. 480 с.
4. Боженко В.О. Сільськогосподарські машини та їх використання: Навчальний посібник. Київ: Аграрна освіта, 2009. 420 с.
5. Вирощування і правильний догляд за картоплею. URL: https://agro-market.net/ua/news/vegetables/vyrashchivanie_i_pravilnyy_ukhod_za_kartofelem/?srltid=AfmBOopnksMHFPHw-Ej97ZJAfSQYAWjnPXIzQ2J8fVN3TfKHYSqAQsit.
6. Деталі машин. Розрахунок та конструювання [Текст] : підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробйов, В. С. Гапонов [та ін.]. Київ : Талком, 2014. 684с.
7. ДСТУ 2189-93 Система стандартів безпеки праці. Машини сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки. Зі зміною № 1 та поправкою.
8. Експлуатація машино-тракторного парку в аграрному виробництві / В. Ю. Ільченко, П. І. Карасьов, А. С. Лімот та ін.; За ред. В. Ю.Ільченка. – К.: Урожай, 1993. – 288 с.
9. Збалансована система підживлення картоплі – запорука високих урожаїв. URL: https://agrovio.com.ua/article.php?id=105&gad_source=1&gad_campaignid=23747631039&gbraid=0AAAABDWWkrAQBt6fxAsXRStlJkfXeDX53&gclid=CjwKCAjwxI

[TRBhBYEiwA6mZm7aZeVpEL7iMbc2p6JXVLs5H0WbS7aOpFwxvNmDwK0-LiDyEMxw9qNhoCh0YQAvD_BwE.](https://lib.chmnu.edu.ua/pdf/posibnuku/229/28.pdf)

10. Картопля. URL: <https://lib.chmnu.edu.ua/pdf/posibnuku/229/28.pdf>.

11. Лихочвор В. В., Петричук Р. Ф. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. – Львів: НВФ «Українські технології», 2006. – 730 с.

12. Машиновикористання в рослинництві: методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавр спеціальності 201 – "Агрономія" освітньо-професійна програма "Агрономія" / [уклад.: П.Г. Лузан, І.М. Осипов, О.Р. Лузан]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький: ЦНТУ, 2021.– 65 с.

13. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсів «Технологія механізованих робіт в рослинництві» та «Машиновикористання в рослинництві» для студентів спеціальностей 208 «Агроінженерія» та 133 «Галузеве машинобудування» / Укладачі: В. М. Сало, С. М. Лещенко, Д. І. Петренко, О. М. Васильковський, П. Г. Лузан. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 170 с.

14. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. – Київ: МВС України, 2014. – 98 с.

15. Народногосподарське значення і біологія картоплі. URL: <https://studfile.net/preview/14664159/page:16>.

16. Обґрунтування пристрою для зменшення тягового опору плуга / Ю. В. Мачок, Д. Ю. Артеменко, В. В. Амосов, Д. І. Петренко. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11(42), Ч.І. С.158-166. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.158-166](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.158-166)

17. Основи агрономії: Навчальний посібник / Левицька Ю.М., Шевніков М.Я., Бакума А.В. – К.: Аграрна освіта, 2008.

					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

18. Основи механізації сільськогосподарського виробництва: Навч. посібник. /І.І. Ріпка, Я.В. Семен, О.М. Крупич, І.М. Бендера, А.В. Рудь –Львів: ЛНАУ, 2013. –224 с.

19. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник.-К.: Вища шк., 1993.-556 с.

20. Перспективи «другого хліба». URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/216-perspektyvy-druhoho-khliba.html>.

21. Підготовка картоплі до посадки – один із елементів підвищення врожайності. URL: <https://propozitsiya.com/articles/tekhnolohiyi-vyroshchuvannya/pidhotovka-kartopli-do-posadky-odyn-iz-elementiv>.

22. Правила охорони праці під час виробництва і зберігання продукції рослинництва: НПАОП 01.1-1.07-14. – Київ: Держгірпромнагляд, 2014. – 62 с.

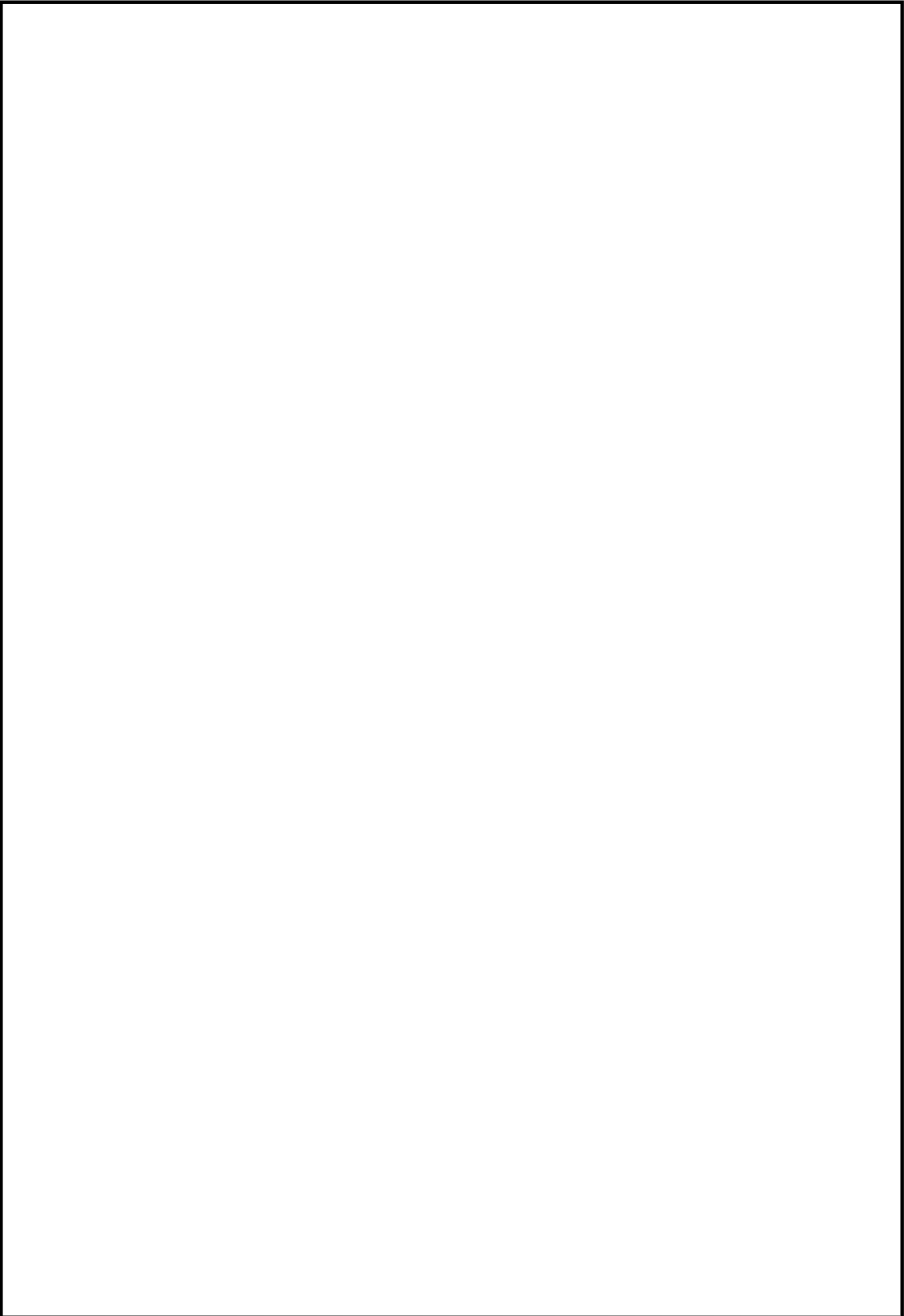
23. Сільськогосподарські машини : підручник / Войтюк Д.Г. та ін. К.: "Агроосвіта", 2015. 679 с.

24. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. «Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування: Підручник для студ. вищ. навч. закл. із спец. „Машини та облад. с.-г. вир-ва». Кн. 1: Машини для рільництва. -Київ, Урожай, 2001, 384 с.

25. Технологія вирощування картоплі. URL: <https://yason-agro.com/articles/teh-potatoes>.

ДОДАТКИ

					МВК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47



					МБК 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48