

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

«Допущено до захисту»

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2025 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Інтенсифікація технології вирощування картоплі з дослідженням
робочих органів картоплесаджалки»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,

групи АІ-24М-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності Н7 «Агроінженерія»

_____ Биченко Олександр Володимирович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Сергій ЛЕЩЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Іван ВАСИЛЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

Галузь знань Н7 «Сільське, лісове, рибне господарство та ветеринарна медицина»

Спеціальність Н7 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«__» _____ 2025 року

**ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Биченка Олександра Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Інтенсифікація технології вирощування картоплі з дослідженням робочих органів картоплесаджалки
2. Керівник роботи (проекту) Лещенко Сергій Миколайович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 15.12.2025 р.
4. Мета та завдання дипломної роботи _____

5. Перелік ілюстративного матеріалу _____

Анотація

Тема: «Інтенсифікація технології вирощування картоплі з дослідженням робочих органів картоплесаджалки»

садильний апарат, ложково-дисковий апарат картоплесаджалки, ложечки садильного диска, точність дозування, двомірний графік

У магістерській роботі виконано комплексний аналіз сучасних технологій вирощування картоплі в умовах фермерського господарства. Досліджено біологічні та морфологічні особливості культури, встановлено чинники, що визначають продуктивність та якість врожаю, а також проаналізовано переваги й недоліки існуючої технології вирощування. На основі цього визначено напрями її вдосконалення з урахуванням сучасних вимог до механізації та ефективності виробництва.

У роботі запропоновано заходи з інтенсифікації технологічного процесу, зокрема вдосконалення операції садіння шляхом модернізації картоплесаджалки СН-4Б та використання її в агрегаті з трактором Т-70С. Застосування такого агрегату забезпечує підвищення якості виконання технологічних операцій та створює сприятливі умови для формування рівномірних і продуктивних посівів.

Наукова частина роботи містить теоретичні та експериментальні дослідження робочого процесу картоплесаджалки СН-4Б. Підтверджено доцільність збільшення кількості ложечок на садильному диску до 15 штук, що забезпечує стабільне дозування посадкового матеріалу при робочій швидкості 7,2 км/год. Побудоване рівняння регресії описує вплив кількості ложечок на рівномірність розміщення бульб у рядку, а результати експериментів підтвердили ефективність запропонованого технічного рішення. Модернізована картоплесаджалка забезпечує підвищення продуктивності машинно-тракторного агрегату до 30% без погіршення якості садіння.

Abstract

Topic: « Intensification of Potato Cultivation Technology with the Study of Potato Planter Working Elements»

planting mechanism, spoon-disc planter mechanism, planting disc spoons, dosing accuracy, two-dimensional graph

The master's thesis provides a comprehensive analysis of modern potato cultivation technologies within the context of a farm enterprise. The biological and morphological features of the crop were investigated, factors determining yield productivity and quality were established, and the advantages and disadvantages of existing cultivation technology were analyzed. Based on this analysis, directions for its improvement were identified, taking into account modern requirements for mechanization and production efficiency.

The thesis proposes measures for intensifying the technological process, specifically by enhancing the planting operation through the modernization of the SN-4B potato planter and its use in a unit (aggregate) with a T-70S tractor. The application of this machine-tractor aggregate ensures improved quality of technological operations and creates favorable conditions for the formation of uniform and productive crops.

The scientific part of the work includes theoretical and experimental studies of the SN-4B potato planter's working process. The feasibility of increasing the number of spoons on the planting disc to 15 units was confirmed, which ensures stable dosing of planting material at a working speed of 7.2 km/h. A regression equation was constructed describing the influence of the number of spoons on the uniformity of tuber placement in the row, and the experimental results confirmed the effectiveness of the proposed technical solution. The modernized potato planter increases the productivity of the machine-tractor aggregate by up to 30% without compromising the quality of planting.

Зміст

1. Вступ.....	5
2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень.....	7
3. Наукова частина	24
4. Практична реалізація результатів досліджень	44
5. Охорона праці	52
6. Висновок	54
Список використаної літератури	55
Додатки.....	58

1. Вступ

Картоплярство є однією із важливих галузей рослинництва, що останнім часом в Україні стає все більш популярною і продовжує інтенсивно розвиватися. Варто зазначити, що після здобуття нашою державою Незалежності та до початку агресії росії більшість картоплі в Україні вироблялися дрібними приватними господарствами, або ж імпортувалися із сусідніх країн. Промислове виробництво картоплі не забезпечувало попит на цю культуру і було зосереджено переважно у Вінницькій, Хмельницькій та Черкаській областях. Починаючи із 2014 року і на сьогодні обсяги вирощування картоплі системно зростають і в 2020 році вже становило близько 1,3 млн. га. Слід зазначити, що незважаючи на розширення площ вирощування, виведення і культивування нових сортів картоплі, врожайність цієї культури залишається низькою, а її середні показники не перевищують 16,78 тонн/га, тоді як Голландії та Бельгії показники врожайності складають 40...60 тонн/га. Тому необхідність підвищення продуктивності картоплярства, вдосконалення технології вирощування та забезпечення стабільних і високих врожаїв є актуальним питанням агровиробництва.

Незважаючи на достатньо високий рівень механізації технологічного процесу вирощування картоплі у фермерських господарствах, одним із відповідальних етапів вирощування цієї культури, який закладає можливість отримання стабільно високого врожаю є проведення операцій садіння картоплі. Адже саме на етапі садіння відбувається заробка насінневих бульб на задану глибину, у вологий, попередньо підготовлений ґрунт, формування необхідної густини рослин у рядках, внесення фінішної норми добрив. Отже, виходячи із зазначеної інформації, технологічна операція садіння картоплі повинна виконуватися якісно, із повним забезпеченням агроіммог до цієї операції, а агрегати, що для садіння використовуються мають здійснювати відбір посівних бульб із загальної маси, їх транспортування, скидання у попередньо сформовану саджалкою борозну без пошкодження насінневого матеріалу, за умов уникнення пропусків та двійників.

Хоч операції садіння картоплі і залишаються одними із найбільш відповідальних і достатньо складних, технічне забезпечення цих процесів у агровиробництві залишається достатньо проблемним, адже до цих пір у господарствах використовуються застарілі картоплесаджалки типу СН, СКС чи КСМ. Зазначені агрегати працюють за традиційною схемою відбору картоплі із бункера-накопичувача, у яких використовують ложково-дисковий садильний апарат, а тому відбір посівних бульб, їх утримання в ложечці під час транспортування, скидання матеріалу та інші етапи роботи можуть бути ускладненими в результаті зношування окремих робочих органів, моральної та фізичної застарілості конструкцій такого садильного апарату. Наявність на ринку техніки картоплесаджалок для дрібного фермерства, що можуть працювати разом із мотоблоками чи тракторами наднизької потужності не можуть вирішити зазначену проблему, адже за таких умов досить складно забезпечити терміни проведення робіт та й здійснювати садіння картоплі в промислових масштабах мінітехнікою є дорогим і низькопродуктивним. Сучасні картоплесадильні агрегати, зокрема провідний виробник картоплесаджалок Grimme (Німеччина), виробляє сучасні і продуктивні картоплесаджалки, однак їх вартість, дороговизна запасних частин і відсутність кваліфікованих кадрів для роботи з такою технікою ускладнює а іноді і унеможлиблює їх використання.

Таким чином, інтенсифікація технології вирощування картоплі з дослідженням робочих органів класичної картоплесаджалки є актуальним прикладним завданням, що дозволить забезпечити сталі і стабільні врожаї картоплі в умовах фермерських господарств Кіровоградщини.

2. Стан досліджуваного питання та вибір напряму досліджень

Характеристика картоплі та доцільність її промислового вирощування

Основною продукцією картоплярства є отримання врожаю коренебульбоплодів у вигляді бульб картоплі (*Solanum tuberosum*), що є типовим представником пасльонових. Слід відмітити, що саме картопля є не тільки найпоширенішою культурою, що споживається населенням а й є важливою кормовою культурою для худоби, знаходить широке використання в переробній і харчовій промисловості до того ж підтверджено важливе агротехнічне значення картоплі для рослинництва [1...3].

Вирощена картопля володіє відмінними харчовими якостями, дуже легко поєднується із іншими харчовими продуктами, має високу поживність, багатий хімічний склад та, порівняно із іншими культурами, дуже легко засвоюється організмом як тварин та і людей. Суттєвою особливістю картоплі є те, що бульби містять велику кількість крохмалю, який може сягати понад 20%, що теж знаходиться у придатному для засвоєння стані. Крім крохмалю в картоплі вміщується близько 1...1,5% клітковини та до 2,5...3% білка, що теж вигідно відрізняє цей коренебульбоплод від іншої продукції рослинництва. Фахівці із харчування стверджують, що за рядом ознак, зокрема такими як вміст та будова білків у картоплі, стан та доступність амінокислот, легкість засвоєння та ін., картопля може конкурувати із м'ясом. Згідно із медичними висновками, підтверджено, що під час споживання картоплі в їжу у вигляді різних готових харчових продуктів стабілізується і поліпшується обмін речовин, створюються сприятливі умови для виведення із організму токсинів та спостерігається загальне очищення організму від шкідливих речовин. Зазначається, що значна кількість мінеральних речовин, що вміщуються у картоплинах, теж є джерелом інтенсифікації хімічних процесів людського організму. Під час вживання картоплі в їжу дуже швидко людина відчуває, що вже сита, що теж є підтвердженням високої калорійності цього продукту. Згідно із статистичними даними в світі щорічне споживання картоплі в їжу в середньому становить біля 90...140 кг, тоді як наша країна входить до лідерів по цьому показнику і

споживання картоплі складає не менше 120...130 кг/рік [3]. Враховуючи зазначену інформацію, надважливе продовольче значення картоплі є повністю підтвердженим.

Якщо проводити оцінку промислового значення виробництва картоплі, то слід зазначити, що із картоплі виробляють каучук синтетичного походження, спирт, глюкозу, крохмаль, цілий ряд продуктів целюлозопереробної промисловості, промислового виробництві харчових продуктів та ін. Є очевидним фактом, що окремі із зазначених виробництв, визначають стратегічні галузі промисловості держави, впливають на її обороноздатність та продовольчу безпеку, а отже підтверджує актуальність виробництва цієї культури агропромисловими підприємствами України.

До всього переліченого, коренеплоди картоплі характеризуються високою засвоюваністю організмом і худоби та птиці, зокрема – свиней, ВРХ, курей, качок, а легкість та пристосування цієї кормової сировини до поєднання із іншими кормовими компонентами, сприятливі умови зберігання картоплі та легкість і різноваріантність приготування бульби чи продукції її переробки виводять цю культуру ще й у важливу з точки зору її кормової придатності. На відміну від інших кормових культур, картоплю в корм споживають як в сирому так і провареному або ж запареному вигляді. Достатньо високо цінується можливість додавати у підготовлену до споживання худобою чи птицею картоплю комбікормів, дерті, концкормів, висівок, макухи та ін. кормової сировини, що дозволяє урізноманітнити та збагатити кормовий раціон. Досить широко поряд із самою картоплею у якості кормової сировини застосовується мезга, лушпиння та ін.

Зважаючи на необхідність відновлення сівоzmіни в господарствах, агрономи починають відокремлювати і наголошувати на важливому значенні такої культури як картопля з точки зору її агротехнічних особливостей, оскільки картопля, як коренеплід може бути гарним попередником для цілого ряду інших сільськогосподарських культур. Це доводиться тим, що на етапі вирощування картоплі має місце обов'язкове внесення значної кількості різноманітних добрив, та й набір і особливості реалізації ряду агротехнічних прийомів, серед яких

перший глибокий обробіток, кількарядові операції міжрядного обробітку, підгортання рядків та ін. сприяють поліпшенню стану ґрунтового середовища, поліпшують знищення бур'янів та знешкодження шкідників агротехнічними способами та загалом сприяють поліпшенню родючості ґрунту, в тому числі і при вирощуванні продукції рослинництва у наступні роки.

Однак, слід відмітити, що вітчизняне промислове картоплярство характеризується зниженою врожайністю, порівняно із світовими виробниками цієї культури. Лідером у світі, як з точки зору технології і технічного забезпечення процесів вирощування картоплі, так зі сторони отримання врожаю на рівні 550...650 ц/га залишаються Нідерланди, та й навіть інтенсивна збалансована технологія вирощування картоплі одержала назву нідерландська. Тоді як врожайність картоплі в інших країнах є значно нижчою і складає близько 140...150 ц/га. Є характерним і вже традиційним, що місцеві фермери концентрують свою увагу на вирощування олійних, зернових, зернобобових культур, тоді як картоплі і іншим коренеплодам не надають високого пріоритету, а отже і врожайність на полях України картоплі досить часто не перевищує 120...130 ц/га. Зазначені показники ефективності промислового картоплярства підтверджують необхідність проведення модернізації існуючих технологічних процесів вирощування цієї культури, оновлення техніко-технологічного забезпечення всієї галузі, вдосконалення існуючих машин і технологій, поліпшення роботи насінневих господарств, адаптації до дійсних виробничих умов засобів агрохімії тощо. Тому при раціональному підході, господарському відношенні, оновленні технологічних процесів та матеріальної бази картоплярство володіє значним потенціалом до підвищення продуктивності та якості отриманого врожаю.

Сільськогосподарська культура картопля чи бараболя (*Solanum tuberosum*) є типовою пасльоновою культурою, яка за своїми властивостями здатна розмножуватися як із насінин так і з самих коренеплодів (рис. 1). Ця властивість розмноження бульб із насінин дозволяє швидко і ефективно селекціювати нові сорти та гібриди картоплі, надаючи їм необхідних ознак, зокрема посухо стійкості, морозостійкості, тривалості вегетаційного періоду

тощо. Сьогодні достатньо часто помилково картоплею називають лише вирощені бульби, однак варто підтвердити, що в дійсності картоплею є все рослина, яка вирощується з метою отримання коренеплодів у вигляді бульб, що і є основною метою вирощування картоплі і задля чого її взагалі і вирощують.

Після того, як рослина картопля зійшла в полі відбувається формування в товщі ґрунту у переважній більшості випадків розгалужених коренів, що містять на собі столони, на частині із яких безпосередньо і спостерігається утворення в'язі коренеплодів у вигляді дрібних картоплин (рис. 1, 2). Ще однією особливістю картоплі є те, що окремі корінці рослини здатні проникати на велику глибину і, за умови дефіциту вологи у вегетаційний період можуть діставати воду з глибини до 1,5 м. Однак більшість кореневої системи рослин розвиток і формування столон і бульб відбувається близько до стебел у орному горизонті та зосереджується на глибині 20...24 см, що напряму визначається сортом, кількістю опадів та біологічними особливостями конкретної картоплі.



Рис. 1. Розвиток рослини із картоплини

На етапі перебігу вегетації рослин картоплі формується розгалужене стебло (рис. 1, 2), що досягає висоти до 0,5...1,0 м та може складатися із 5...10 окремих стебелків, які можуть з'єднуватися під час просту між собою. На етапі

росту і розвитку картоплі стебло рослини має характерне забарвлення темно-зеленого кольору із розміщеними на стеблі волосками, які виконують функцію захисту рослини від надмірного випаровування вологи та пом'якшують вплив на стебло картоплі прямого сонячного проміння. На різних етапах вегетації в кореневій системі формуються потовщені корінці (рис. 3) – столони, які забезпечують за сприятливих умов утворення на них в'язі бульб, однак картопля формується не на кожному столоні.



Рис. 2. Загальний вигляд і особливості сільськогосподарської культури картопля



Рис. 3. Коренева система та бульба рослини картопля

Таким чином, кожна сформована в товщі ґрунту картоплина є потовщенням столону (рис. 3), і залежно від сорту і властивостей картоплі це потовщення може мати різну форму від округлої до продовгуватої. На поверхні

бульб, яка вкривається оболонкою (плівкою) хаотично розміщуються чіткі чи не яскраво виражені вічка (рис. 3). Дихання картоплі відбувається через поверхневу оболонку, через неї ж відбувається забезпечення або ж випаровування води. Стимулювання обмінних процесів із поверхні бульб забезпечують дрібні сочевиці, які формуються від середини картоплини до її поверхні. За оболонкою в середній частині бульб наростає м'якоть картоплі, забарвлення якої, в залежності від сорту, може значно відрізнятися і буває від жовтого чи білого до сірого чи фіолетового кольорів.

Після того, як картоплина потрапляє у підготовлений ґрунт рослина проходить ряд етапів (рис. 4). Перший етап пов'язаний із проростанням паростків із вічок бульб, що в подальшому формує стебла рослини та її листкову масу. Листочки на картоплі розміщуються спіралью і ростуть опущеними до нижньої частини рослини.

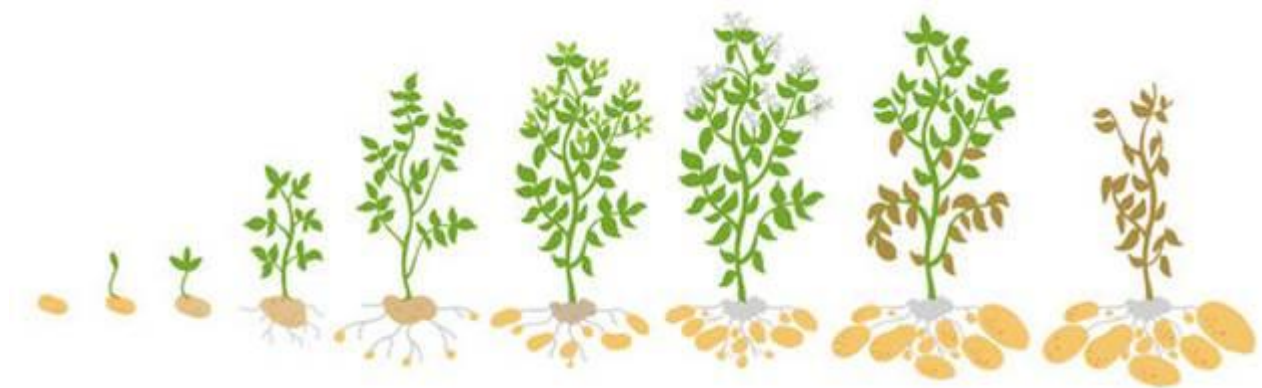


Рис. 4. Стадії розвитку рослини картоплі під час її вирощування

Вгорі стебла на більш пізніх етапах, приблизно на 3-й стадії росту починається формування суцвіття картоплі, яке теж залежно від сорту культури може мати різноманітне забарвлення і розміри. Існують окремі сорти картоплі, що під час вегетації не викидають суцвітть, однак це є нормальним і не впливає на врожайність бульб. Слід зазначити, що картопля – це культура яка самозапилюється, що дозволяє уникнути проведенню спеціальних заходів по запиленню рослин.

Враховуючи популярність вирощування картоплі в нашій державі є доступними і культивується більше 180 сортів цієї культури. Загалом, залежно

від ряду ознак вся картопля розподіляється на столову, технічну, універсальну та кормову.

Тривалість вегетаційного періоду картоплі дає можливість розподілити сорти цієї культури на чотири основні групи: ранньостиглі, середньоранні, середньопізні та пізні. Вибір конкретного сорту картоплі для вирощування у господарстві має базуватись на чинних ґрунтово-кліматичних умовах регіону, середній тривалості світлового дня у період активної вегетації рослин, температурних режимах та імовірних коливаннях температур, особливо на ранніх етапах сходження та росту рослин. Урахування цих факторів дозволяє підібрати найбажаніший до вирощування сорт, адаптований до конкретних ґрунтово-кліматичних умов господарства. Фермерам доцільно вирощувати декілька сортів одночасно, адже урожайність картоплі може суттєво змінюватися з року в рік, навіть за умов сприятливих для певного сорту цієї культури.

Картопля належить до сільськогосподарських культур, що характеризується підвищеною чутливістю до кліматичних показників. Оптимальними умовами для вирощування картоплі є помірний клімат, проте рослина не сприймає як низькі, так і надмірно високі температури. Проростання картоплі починається за температури $+6...+8$ °C, але навіть короточасні заморозки до $-1...-2$ °C можуть спричинити загибель молодих сходів. Високі температури також негативно впливають на ріст і розвиток, так коли повітря прогрівається вище 20 °C і ця температура утримується тривалий час, процес формування бульб істотно сповільнюється або повністю припиняється, що призводить до загального зниження врожайності. Найсприятливішими для росту картоплі є температури у межах $+17...+20$ °C за наявності достатньої кількості вологи.

Не менш важливим чинником є кількість доступної для рослин води. Найвищі врожаї отримують, коли вологість орного шару становить $75...85$ %. Потреба рослин у воді змінюється протягом вегетаційного періоду: на початкових стадіях розвитку картоплі вистачає вологи, яка міститься у посадкових бульбах, тоді як найбільша потреба у воді припадає на період цвітіння, коли відбувається інтенсивне формування бульб і наростання зеленої

маси. Надлишок вологи, навпаки, негативно впливає на розвиток культури, сприяє зупиненню ростових процесів, виникненню грибкових захворювань і загниванню бульб.

Враховуючи біологічні особливості картоплі, її успішне вирощування значною мірою залежить від якісної підготовки ґрунту. Глибоке розпушування, створення сприятливого водно-повітряного режиму та достатнє насичення орного шару киснем є необхідними умовами для активного дихання кореневої системи і формування великої кількості бульб. Тому при підготовці ґрунту в господарстві важливо грамотно спланувати сівозміну й застосувати агротехнічні прийоми, що забезпечують оптимальну структуру орного шару. В умовах важких чорноземів Центральної України це завдання є досить складним, проте має вирішальне значення для отримання високого врожаю. Вагомий вплив на врожайність картоплі має етап посадки, адже за цих умов формується необхідна відстань між кущами картоплі, забезпечується посадка бульб у підготовлений вологий ґрунт та розміщення картоплин на заданій глибині, одночасне внесення добрив, стимуляторів росту та інших засобів агрохімії тощо.

Подальші етапи технології вирощування – догляд за посівами, захист від шкідників і хвороб, а також своєчасне збирання є не менш важливими для забезпечення високої врожайності та якості вирощеної продукції.

Аналіз базової господарської технології вирощування картоплі, проблемні етапи та напрямки інтенсифікації

Після здобуття Україною незалежності в аграрному секторі відбувся поступовий перехід від крупних аграрних господарств до великої кількості дрібних і середніх фермерських господарств різних форм власності. Цей процес став визначальним фактором того, що близько 95 % загального виробництва картоплі опинилося на приватних присадибних ділянках. Зміни у структурі агровиробництва почали модернізуватися і оновлюватися лише після 2000 року, коли поступово збільшувалася кількість господарств, що почали повертати картоплю у сівозміни та розвивали вирощування цієї культури у промислових масштабах. Проте на нинішньому етапі лише незначна частина виробників

обробляє площі понад 100 га під картоплею; деякі господарства вирощують продукцію лише на ділянках 25–50 га, і промислове виробництво картоплі в Україні на сьогодні не перевищує 20 % від загального обсягу всього врожаю, тоді як близько 80 % збирається на присадибних ділянках.

Наявна структура виробництва цього стратегічного продукту становить серйозний виклик для державної продовольчої безпеки та галузевої політики забезпечення населення продукцією рослинництва. Відродження картоплярства на рівні сільськогосподарських підприємств могло б забезпечити стабільні запаси цієї культури, сприяти відновленню пов'язаних із картоплярством галузей промисловості й кормовиробництва, а також покращити і урізноманітнити сівозміни агроформувань.

Для ефективного відновлення промислового картоплярства необхідна комплексна державна та галузева стратегія, що передбачає визначення оптимальних технологій вирощування, забезпечення технічної та матеріально-технічної бази, цілеспрямований відбір сортів, а також контроль якості виконання всіх етапів технологічного процесу виробництва картоплі. Особливу увагу слід приділяти раціональному й відповідальному застосуванню засобів агрохімії, організації оперативного і економічно обґрунтованого вирощування врожаю цієї культури із мінімальними втратами.

Реалізація таких заходів вимагатиме координації зусиль на рівні держави, місцевих органів управління та самих господарств, а також інвестицій у знання, техніку й інфраструктуру, необхідні для переходу до рентабельного й стійкого промислового вирощування картоплі.

Місце картоплі в сівозміні та вимоги щодо ґрунту

Біологічні особливості картоплі свідчать, що для інтенсивного росту, нормального розвитку рослин та формування повноцінних бульб необхідно підтримувати у ґрунті оптимальний рівень кисню, води в доступному для рослин стані та поживних речовин. Комплексний аналіз природно-кліматичних умов дозволяє підтвердити, що найбільш сприятливими зонами для продуктивного вирощування картоплі в Україні є Північний Степ і Лісостеп, де поєднання

кліматичних і ґрунтових умов найбільше відповідають біологічним вимогам цього коренеплоду.

На відміну від присадибних ділянок, де вирощування картоплі зазвичай здійснюється без дотримання принципів сівозміни, у промисловому виробництві важливо забезпечити раціональне чергування культур. Дослідження агрономів підтверджують, що повторне вирощування картоплі на одному полі слід проводити не частіше ніж один раз на п'ять років. Такий підхід сприяє зниженню ризику поширення хвороб, шкідників і карантинних бур'янів природним шляхом, без надмірного використання хімічних засобів.

Для створення сприятливих умов живлення рослин та підвищення ефективності обробітку ґрунту найбільш бажаним попередниками картоплі є зернобобові культури і озимі та ярі зернові. В останні роки поширюється практика залишення на поверхні поля подрібнених рослинних решток попередника, що сприяє підвищенню вмісту органічної речовини у ґрунті, покращенню його водно-повітряного режиму й створює передумови для отримання стабільних, більш високих та якісних врожаїв картоплі.

Обробіток ґрунту при вирощуванні картоплі

Підготовка ґрунту до вирощування картоплі передбачає проведення його якісного та глибокого обробітку з метою оптимізації водного та повітряного режиму, що створює необхідні умови росту кореневої системи і формування бульб картоплі. Найкращі результати досягаються тоді, коли об'ємна маса орного шару не перевищує $1,2 \text{ г/см}^3$ для суглинкових ґрунтів та становить $1,3\text{--}1,4 \text{ г/см}^3$ для піщаних і супіщаних. З ціллю досягнення таких агрофізичних показників необхідно здійснити поетапний комплекс технологічних операцій, до якого входить лушення стерні, проведення глибокої оранки або розпушування, а також кількаразова передпосадкова обробка поля.

Лушення стерні доцільно виконувати відразу після збирання культури-попередника. Така своєчасність сприяє максимальному збереженню органічних решток і їх ефективному загортанню у ґрунт. Зазвичай глибина лушення становить не більше $6\text{--}8 \text{ см}$, однак на полях, засмічених коренепаростковими

бур'янами, глибину луцнення збільшують до 12...15 см. Для виконання цієї операції в господарстві застосовують дискові агрегати типу ЛДГ або сучасні дискатори іноземних виробників. У разі значного засмічення бур'янами разом із дискуванням проводять внесення гербіцидів, що забезпечує знищення бур'янів.

Основний обробіток ґрунту здійснюють за допомогою плугів ПЛН-5-35 або ПЛН-7-35, які забезпечують проведення глибокої зяблевої оранки на глибину до 30 см. Під час цієї операції, як правило, виконують одночасне поверхнєве внесення добрив з подальшим їх загортанням у шар ґрунту. У випадках, коли поля схильні до проявів вітрової або водної ерозії, а також за наявності ущільненого підорного горизонту, замість традиційної оранки застосовують плоскорізний обробіток. Для зазначених операцій використовують культиватори КПЕ-3,8 і КПШ-9, що агрегуються із тракторами ДТ-75М та Т-150К.

Передпосівну підготовку ґрунту починають ранньою весною. Першим етапом поверхневого обробітку є культивація на глибину 6...8 см із одночасним внесенням аміачної води, що сприяє збагаченню обробленого горизонту азотом. Другу культивацію виконують безпосередньо перед посадкою картоплі на глибину до 10 см. У базовому господарстві для проведення вказаних операцій використовується агрегат у складі трактора Т-150К і культиватора КПС-4.

Система удобрення картоплі в господарстві

З ціллю отримання запланованих урожаїв картоплі в господарстві необхідно забезпечити повний комплекс заходів по удобренню цієї сільськогосподарської культури. Правильно організована система живлення рослин дає змогу навіть за несприятливих погодних умов досягати стабільних результатів, що виражаються у високих валових зборах готової продукції.

Одним із найважливіших елементів технології вирощування картоплі є внесення органічних добрив. Вони позитивно впливають на фізичний стан і структуру ґрунту, активізують біологічні процеси та мікрофлору, що створює сприятливі умови для росту і розвитку рослин. Дослідження показують, що

оптимальна норма внесення органічної речовини для забезпечення стабільної урожайності картоплі складає біля 30...40 т/га.

Органічні добрива в зазначеній технології вносяться перед проведенням основного обробітку ґрунту, щоб до початку вегетаційного періоду відбулася їх часткова мінералізація, а поживні елементи перейшли у форму, доступну для споживання рослинами.

Через обмеженість традиційних джерел органічних добрив у багатьох фермерських господарствах України застосовують сидеральну систему удобрення. Для цього вирощують і заорюють у ґрунт культури-сидерати, серед найпоширеніших – ріпак, гірчиця, редька, люпин, озимі зернові або трав'яні суміші. Заробку сидератів реалізують шляхом луцення посівів, коли рослини перебувають у фазі активного росту, що забезпечує максимальне накопичення зеленої маси та поживних речовин.

У разі вирощування картоплі на ґрунтах із низьким вмістом елементів живлення доцільно збільшувати дози фосфорних і калійних добрив до 20...30 кг/га діючої речовини. Найефективніше вносити ці добрива локально, одночасно з посадкою картоплі, що сприяє кращому засвоєнню поживних елементів і підвищенню продуктивності картоплярства.

Підготовка бульб до посадки

Одним із важливих факторів, що дозволяє на початковому етапі забезпечити можливість отримання високого врожаю є якісний і ефективний підбір посадкового матеріалу. Використання якісних бульб, які пройшли сортування за розміром, не мають ознак виродження та ушкоджень шкідниками чи хворобами, сприяє підвищенню схожості рослин, а також забезпечує гарну дружність сходження.

При підготовці посадкового матеріалу до садіння бульби рекомендується сортувати за розмірами та обробляти комбінованими препаратами з стимулюючим і захисним ефектом. За наявності технічної можливості доцільно здійснювати посадку пророщеної картоплі, оскільки це сприяє більш рівномірному та швидкому розвитку рослин в полі.

Для посадки бульби калібрують на три фракції за вагою: крупна, що мають вагу більше 80 гр., середня, вага бульб в діапазоні 50...80 гр. та дрібна, з вагою 25...50 гр. У процесі посадки картоплі в полі до картоплесаджалки повинна завантажуватися виключно одна вагова фракція. Оптимальною є середня фракція, оскільки вона забезпечує найефективнішу роботу садильного апарату, раціональне використання посадкового матеріалу, рівномірний розподіл площ живлення по полі та високу схожість рослин.

Посадка картоплі в господарських умовах

Посадку картоплі розпочинають лише після того, як ґрунт досягне повного дозрівання, що характеризується його рівномірним прогріванням до 6...8 °С на глибину до 10 см. Для отримання бажаного врожаю ранніх сортів картоплі важливо висаджувати посадкову бульбу пророщеною та якнайраніше.

У промислових господарствах основними агрегатами для посадки картоплі є картоплесаджалки класичної будови, такі як КСМ-4, КСМ-6 або СН-4Б. Глибина загортання бульб зазвичай становить 6...8 см, але на легких ґрунтах картоплю при посадці заробляють на 2...3 см глибше. Якщо здійснюється посадка дрібної фракції, що має вагу 25...50 гр., глибину загортання при посадці потрібно зменшити на 2...3 см, порівняно з нормативною.

При проведенні посадки картоплі необхідно забезпечити рівномірний розподіл бульб уздовж рядка, оскільки цей параметр визначає площу живлення рослин і безпосередньо впливає на формування врожаю. Для промислового вирощування картоплі необхідно підтримувати щільність посадки 45...50 тис. кущів на гектар. Незалежно від способу висаджування, відстань між бульбами та рядками повинна знаходитися в межах 70×20 см – 70×30 см, що забезпечує найкращі умови для росту та розвитку рослин.

Операції догляду за картоплею

Якщо в господарстві забезпечується належний та своєчасний догляд за картоплею можна підвищити загальну врожайність цієї культури приблизно на 20%. Залежно від погодних умов перший обробіток ґрунту проводять через 7...12 днів після висаджування бульб в полі. У господарствах кількість обробок

визначається станом поля, рівнем опадів та температурним режимом і зазвичай становить 2-3 обробки до появи сходів та 2–3 після.

Боротьбу з бур'янами на полях із картоплею здійснюють механічним способом, проводячи міжрядний обробіток після повного сходження рослин. Найбільш ефективно знищувати бур'яни на ранніх стадіях їхнього розвитку, що сприяє більшій схожості та підвищеній силі росту рослин.

Для середньо- та пізньостиглих сортів під час догляду за посівами застосовують присипання (окучування) рослин ґрунтом на 6...8 см, що стимулює кущіння та зав'язування бульб. Рекомендується виконувати цю операцію за допомогою дискових робочих органів, тоді як лапи-підгортачі застосовують рідше або не рекомендують взагалі.

Ранньостиглі сорти картоплі на початкових етапах розвитку окучувати не слід, оскільки це може негативно вплинути на врожайність.

Використання засобів агрохімії при вирощуванні картоплі в господарстві

Картопля є культурою, яка надзвичайно вразлива до хвороб та шкідників, що негативно впливає на її врожайність та якість продукції, ускладнює умови зберігання бульб і знижує їх кінцеву вартість. У Центральному степу України основними шкідниками картоплі є фітофтороз та колорадський жук. Тому проведення агрохімічних заходів для боротьби з цими загрозами є критично необхідним для отримання стабільного та повноцінного врожаю.

Фітофтороз, подібно до інших пасльонових культур, проявляється передчасним пожовтінням листя та стебел, їх висиханням і відмиранням. Захворювання призводить до пригнічення фотосинтезу, а іноді й до його повної зупинки, що негативно впливає на кореневу систему та процес формування бульб. Навіть якщо ураження відбувається на пізніх етапах розвитку рослин, втрати врожаю картоплі можуть доходити до 30...45%.

Найбільш ефективним способом захисту картоплі від фітофторозу залишається обприскування системно-контактними фунгіцидами. Першу обробку слід проводити на початку фази бутонізації або цвітіння, а для

підтримки захисного ефекту повторювати обприскування через 10...14 днів. До дієвих системно-контактних препаратів відносяться: Авіксіл 70% (2,1–2,6 кг/га), Танос (0,6 кг/га), Акробат МЦ 69% (до 2 кг/га) та інші подібні засоби агрохімії.

Крім того, значну загрозу для картоплі становить колорадський жук, який швидко знищує листя та стебла рослин і може призвести до повної загибелі культури. Для боротьби з цим шкідником посадки обробляють до двох разів протягом вегетації. Використовуються препарати, зокрема: Децис 12,5%, Актара 25, Моспілан 20%, Конфідор 20%, Волатон 50%, Фюрі 10% тощо. Норма витрати робочої рідини під час обприскування становить приблизно 300 л/га, а точні дози зазначених засобів визначаються відповідно до інструкцій виробника.

У випадках, коли строки захисту від хвороб і шкідників збігаються або дуже близькі, доцільно проводити комбіноване обприскування, яке забезпечує комплексний захист рослин. Для цього спершу готують робочу рідину інсектициду, після чого поступово додають потрібну кількість фунгіциду, ретельно перемішуючи суміш перед нанесенням на рослини.

Збирання картоплі та підготовка врожаю до зберігання

Однією з найбільш трудомістких і витратних операцій у технологічному процесі вирощування картоплі є її збирання, яке водночас може супроводжуватися значними втратами та пошкодженням бульб. Пошкодження картоплі під час збирання виникають через контакт бульб із елементами збиральних машин, що можуть порізати, стискати або терти бульбу під час викопування, очищення та транспортування, що знижує вартість і якість зібраного врожаю. Втрати картоплі обумовлюються неповним викопуванням бульб, їх залишанням у ґрунті або випаданням під час очищення та транспортування.

Збирання картоплі розпочинають після повного її дозрівання. Ознаками фізіологічної зрілості картоплі є засихання бадилля, твердість бульб та щільна шкірка, яка не пошкоджується при легкому натисканні. Для високорослих сортів або за умов зтяжного збереження зеленого бадилля практикують його скошування за 3–5 днів до збору врожаю картоплі.

У господарствах збирання картоплі здійснюють сучасними картоплезбиральними комбайнами, наприклад, NETAGKO AVR 220B, які виконують повний цикл операцій: викопування, сепарування (відділення бульб від ґрунту), очищення від налиплого ґрунту, транспортування та завантаження врожаю в бункер із подальшим вивантаженням у транспортні засоби. Найкраще починати збір врожаю при температурі ґрунту вище +10 °С. Після збору картоплю рекомендується витримати кілька тижнів у кагатах для адаптації на повітрі, що сприяє проявленню прихованих пошкоджень та хвороб, а також покращує якість наступного сортування бульб.

Під час сортування видаляють пошкоджені, уражені хворобами та неповноцінні бульби, дрібні картоплини використовують у якості корму для тварин, для виробництва крохмалю чи органічних добрив, а товарну продукцію завантажують на зберігання для подальшої переробки або ж продажу.

Для закладання врожаю картоплі на продовольчі цілі слід забезпечити підтримання середньої температури +3...+5 °С та контроль вологості у приміщенні. Якщо картоплю зберігають як посадковий матеріал, температура повинна бути нижчою, +1...+3 °С, що дозволяє зберегти її життєздатність до наступного сезону.

Інтенсифікація технології вирощування картоплі в умовах фермерського господарства є доцільним напрямом підвищення ефективності виробництва та конкурентоспроможності вирощеної продукції. Впровадження сучасних технічних рішень, зокрема удосконалення конструкції та параметрів робочих органів картоплесаджалки, сприяє поліпшенню якості садіння, забезпеченню рівномірності розміщення бульб у рядку та зменшенню пошкоджень посадкового матеріалу. Це, у свою чергу, створює сприятливі умови для дружних сходів, рівномірного розвитку рослин і підвищення врожайності картоплі.

Дослідження робочих органів картоплесаджалки є важливим елементом технічного удосконалення процесу посадки, що дозволяє оптимізувати технологічні параметри агрегатів і забезпечити енергозбереження при одночасному підвищенні продуктивності.

3. Наукова частина

3.1. Опис об'єкту вдосконалення

В даній науковій роботі робиться спроба вдосконалити технологію промислового вирощування картоплі шляхом вдосконалення технологічного процесу посадки картоплі з модернізацією садильного апарату картоплесаджалки СН-4Б. В даній частині роботи запропоновано вдосконалення конструкції картоплесаджалки типу СН-4Б (рис. 5). Зазначена машина є двосекційним агрегатом, змонтованим на зварній рамі, що пересувається по полю спираючись на два опорні колеса. На секціях змонтовано по одному бункеру, нижня частина яких завужується та закінчується живильними ковшами. На секціях встановлено по два класичні ложково-дисківі садильні апарати, туковисівний механізм, по два сошники для формування борозни у яку скидається бульба, а також комплекту робочих органів, призначених для загортання картоплі ґрунтом. Додатково на рамі картоплесаджалки розміщено маркери, що дозволяють забезпечувати стикові міжряддя. Привід на робочі органи картоплесаджалки здійснюється за рахунок контрприводу та редуктора.

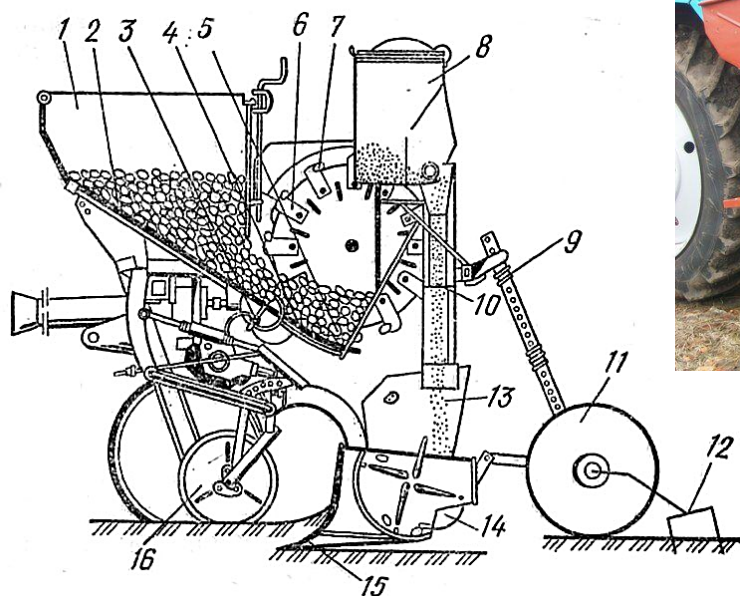


Рис. 5. Загальний вигляд та функціональна схема ложково-дисківі картоплесаджалки СН-4Б:

1 – бункер для картоплі; 2 – механічний струшувач; 3 – ворушильне пристосування; 4 – живильник (ківш); 5 – шнек; 6 – ложечки дискового

садильного апарату; 7 – пальці притискні; 8 – апарат туковисівний;
9 – підпружинена штанга; 10 – тукопровід; 11 – загортаючі диски;
12 – шлейф борінка; 13 – щоки сошника; 14 – щиток сошника; 15 – ніс (лезо)
сошника; 16 – копіювальне колесо

Картоплесаджалка при агрегуванні з трактором фіксується на його навісному механізмі. Після з'єднання машини з енергетичним засобом у бункер-накопичувач 1 завантажують посадкову картоплю, яка самопливом надходить до живильних ковшів 4. Останні забезпечують безперервне підведення посадкової бульби до ложково-дисккових садильних апаратів. Ложково-дискковий вичерпуючий апарат виконує функцію відбору картоплин із насипної маси, її транспортування до зони висаджування та скидання у борозну, сформовану сошником.

Сошник 15 формує в ґрунті борозну заданої глибини, формуючи вологе ложе для картоплі, після чого закриває бульби шаром ґрунту. Для правильного спрямування картоплин у борозну використовуються спеціальні відбивні щитки 14. Закривання борозен після висаджування здійснюють борознозагортаючі диски 11. Конструкція картоплесаджалки СН-4Б передбачає можливість гребеневого садіння шляхом відповідного налаштування зазначених дисккових загортачів 11.

Туковисівні апарати 8 забезпечують рівномірне внесення мінеральних добрив безпосередньо в борозни, що сприяє внутрішньогрунтовому дозуванню поживних речовин. Маркери формують на поверхні поля орієнтовні сліди для наступних проходів агрегату, що гарантує забезпечення встановленої ширини стикових міжрядь між проходами картоплесаджалки. Глибина висаджування картоплі регулюється опорними колесами 16, які визначають робоче положення сошників. Привід усіх робочих органів картоплесаджалки здійснюється від валу відбору потужності енергозасобу через редуктор, контрпривод і систему ланцюгових передач, що забезпечує обертання садильних і туковисівних апаратів. Зміна їх частоти обертання відбувається за рахунок встановлення змінних зірочок у приводі.

Робота картоплесаджалки СН-4Б проходить наступним чином. Посадковий матеріал вручну або механічно завантажують у бункер-накопичувач 1 (рис. 5). Картопля надходить до живильних ковшів 4, де за допомогою струшувачів 2 і ворушилок 3 бульба розшаровується, що дозволяє уникненню її злипанню. Живильний ківш 4 підводить матеріал у зону дії садильного апарата, при цьому товщина шару картоплі регулюється спеціальною заслінкою. Усередині ковша 4 потік ділиться подільником на два напрямки, з яких шнеки 5 транспортують бульби до ложечок 6 дискових апаратів.

Під час обертання диска ложечки 6 захоплюють окремі бульби, які фіксуються пружинним затискачем 7 і транспортуються до зони скидання. Коли ложечка 6 досягає зони скидання, важіль затискача 7 взаємодіє з копіювальною шиною садильного диска, що забезпечує звільнення картоплини і її падіння у верхній отвір сошника 13. Усередині сошника траєкторія падіння бульби регулюється відбивними щитками 14. Після висіву ложечка 6 знову проходить крізь шар картоплі у ковші 4, і процес повторюється циклічно до зупинки машини або закінчення посадкового матеріалу у бункері 1.

Норми внесення мінеральних добрив регулюються туковисівним апаратом 8. Під час його роботи забезпечується надходження відібраних туків по тукопроводах до борозни, в якій засоби агрохімії рівномірно розподіляються вздовж рядка. Після цього борозни загортаються ґрунтом дисками-загортачами 11, а вирівнювання поверхні поля здійснюється вирівнюючими борінками 12. Тиск робочих органів на поверхню поля регулюється натягом пружини, що діє на штангу механізму 9.

Зведені окремі технічні характеристики картоплесаджалки СН-4Б представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика картоплесаджалки СН-4Б

Показник	Одиниця виміру	Величина
1	2	3
Середня продуктивність агрегату, за робочої швидкості 5 км/год.	га/год	до 0,60

1	2	3
Вага картоплесаджалки	кг	850
Робоча швидкість під час посадки картоплі	км/год	4,8...6,5
Ширина захвату картоплесаджалки	м	2,8
Максимальна швидкість транспортування: - при русі дорогах із твердим покриттям; - при русі по ґрунтовим дорогам	км/год	до 13 до 7
Просвіт транспортний, не менше	мм	300
Клас трактора із яким може агрегатуватися картоплесаджалка - гусеничний - колісний		3 1,4
Допустима відстань між бульбами під час садіння (діапазон зміни)	м	0,2...0,4
Міжряддя посадки картоплі	м	0,6...0,7
Місткість ємкості для добрив	шт×кг	2×24
Місткість бункеру для посадкової бульби	шт×кг	2×180
Висота розміщення бункерів для завантаження (розмір від підніжок агрегату)	мм	880
Привід робочих органів		ВВП трактора
Кількість обслуговуючого персоналу на етапі роботи агрегату	осіб	1 механізатор

3.2. Обґрунтування напрямків вдосконалення картоплесаджалки

Картоплесаджалка СН-4Б, як і більшість машин із ложково-дисковими садильними апаратами вичерпуючого типу, володіє головним недоліком, що погіршує умови використання агрегату, а саме – має обмежену частоту подачі бульб у ложечки, що у середньому не перевищує 4...5 картоплин за секунду. Така особливість конструкції не дозволяє забезпечити стабільну роботу апарата при швидкості руху понад 6 км/год, що сьогодні є бажаною швидкістю проведення операції посадки картоплі. За результатами випробувань дослідників і практичних результатів роботи в полі картоплесаджалки доведено, що збільшення швидкості призводить до зростання кількості пропусків бульб уздовж рядка, що унеможлиблює дотримання агротехнічних вимог, зокрема

показника допустимого відсотка пропусків, що має бути не більшим за 3 %. Підвищена кількість пропусків бульб у рядках в результаті роботи картоплесаджалки створює умови для активного розвитку бур'янів у міжкучових зонах рядків рослин, що призводить до їх конкуренції з культурними рослинами за елементи живлення та, як наслідок, забезпечує зниження урожайності картоплі.

Аналіз наукових і технічних досліджень у сфері підвищення ефективності роботи ложково-дискових садильних апаратів картоплесаджалок як вітчизняного, так і імпортного виробництва підтверджує, що одним із напрямів усунення зазначеного недоліку є збільшення кількості ложечок на диску садильного апарата агрегату. Часткову реалізацію цього принципу можна спостерігати в конструкції іншої серійної картоплесаджалки СКС-4. Отже, логічним кроком в подальшій роботі є спроба адаптації аналогічного підходу до конструкції серійної картоплесаджалки СН-4Б.

Виходячи із зазначеної вище інформації, метою подальших наукових досліджень є вдосконалення конструкції ложково-дискового садильного апарата картоплесаджалки СН-4Б шляхом обґрунтування оптимальної кількості ложечок і конструктивних параметрів, що забезпечать стабільну роботу агрегату на підвищених швидкостях без втрати якості посадки картоплі.

3.3. Аналітичні дослідження роботи ложково-дискового садильного апарата картоплесаджалки СН-4Б

Садильний апарат картоплесаджалки є основним робочим органом агрегату, який забезпечує дозовану подачу бульб картоплі в борозну із заданим інтервалом. У картоплесаджалці СН-4Б використовується ложечко-дисковий тип садильного апарата, який поєднує простоту конструкції, надійність і задовільну рівномірність подачі посадкового матеріалу, за умови, що швидкість роботи є меншою за 8 км/год.

Конструктивно апарат складається з вертикально розміщеного диска (рис. б), на ободі якого закріплені ложечки (ковшики) для захоплення бульб із живильного бункера картоплесаджалки. Диск обертається від приводу через

ланцюгову передачу, синхронізовану з обертанням коліс картоплесаджалки. У нижній частині диска бульби скидаються у напрямний жолоб, з якого вони надходять у сошник (рис. 1).

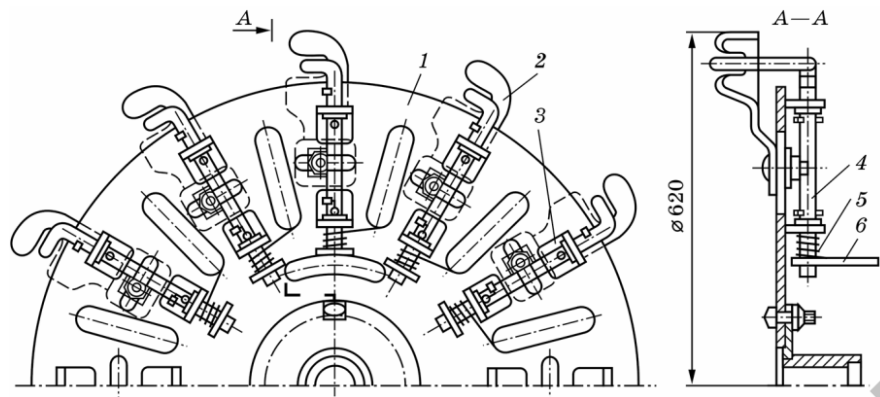


Рис. 6. Дісковий із ложечками садильний апарат картоплесаджалки
функціональна схема:

1 – диск; 2 – ложечка для картоплі; 3 – кронштейн; 4 – затискач; 5 – пружина затискача; 6 – важіль

Основними параметрами садильного ложково-дискowego апарату (рис. 6) є:

- діаметр диска D , мм;
- кількість ложечок на диску z , шт;
- частота обертання диска n , об/хв;
- швидкість руху картоплесаджалки V , м/с;
- відстань між картоплинами в одному рядку l , м;
- коефіцієнт однонасінності k_0 .

Забезпечення рівномірності висадки картоплі полягає в тому, щоб кожна ложечка при своєму проходженні через зону захоплення відбирала із загальної маси лише одну бульбу та в момент висипання скидала її у борозну без пропусків і двійників.

Обґрунтування кінематичних параметрів садильного апарата

Під час руху картоплесаджалки по полю садильний апарат повинен забезпечувати подачу бульб з інтервалом l уздовж рядка. Відомо, що інтервал

між бульбами визначається співвідношенням між лінійною швидкістю агрегату та частотою обертання диска:

$$l = \frac{V}{n \cdot z}$$

де V – поступальна швидкість руху картоплесаджалки, м/с;

n – частота обертання садильного диска, об/с;

z – кількість ложечок на диску.

Наведене вище рівняння підтверджує, що збільшення швидкості руху або зменшення кількості ложечок призводить до зростання відстані між бульбами. Для забезпечення стабільної схеми посадки необхідно узгодити кінематику садильного апарата з ходом агрегату.

З урахуванням того, що обертання диска здійснюється від опорного колеса діаметром D_k , кінематичний зв'язок між швидкістю руху агрегату та обертанням садильного диска описується таким співвідношенням:

$$n = \frac{V}{\pi \cdot D_k \cdot i}$$

де i – передаточне відношення механізму передач.

Підставивши це значення в попередню формулу та провівши перетворення, отримаємо залежність відстані між бульбами від параметрів садильного апарата:

$$l = \frac{\pi \cdot D_k \cdot i}{z}$$

Із отриманої залежності видно, що відстань між бульбами визначається не швидкістю руху агрегату, а передаточним відношенням механізму приводу і кількістю ложечок. Це важливе конструктивне положення, яке дає змогу забезпечити постійну схему посадки картоплі при різних швидкостях руху агрегату по полю.

На практиці ж за умови збільшенні швидкості руху картоплесаджалки мають місце динамічні похибки дозування, зумовлені інерцією бульб та їхньою взаємодією з ложечками і пальцями садильного апарату. Тому при проектуванні

апарата важливо враховувати не лише геометричні, а й динамічні параметри всієї системи дозування бульб.

З метою пошуку раціональної частоти обертання диска картоплесаджалки скористаємося початковою формулою, що дозволяє отримати:

$$n = \frac{V}{l \cdot z}$$

Так, до прикладу, якщо швидкість руху посадкового агрегату $V = 2,0$ м/с, що відповідає робочій швидкості 7,2 км/год бажана відстань між бульбами у рядку $l = 0,25$ м, а кількість ложечок на диску $z = 15$, то частота обертання диска картоплесаджалки дорівнює:

$$n = \left(\frac{2,0}{0,25 \cdot 15} \right) \cdot 60 = 0,53 \cdot 60 = 31,8 \text{ об/хв.}$$

Отже, для забезпечення рівномірної посадки картоплі при швидкості агрегату 7...8 км/год садильний диск повинен обертатися з частотою близько 30...32 об/хв, що відповідає конструктивним параметрам серійного садильного апарата СН-4Б.

Аналіз впливу кількості ложечок на відстань між бульбами

При фіксованих швидкості руху та частоті обертання збільшення кількості ложечок зменшує інтервал між бульбами:

$$l = \frac{V}{n \cdot z}$$

Якщо прийняти, що $V = 2,0$ м/с а $n = 0,5$ об/с отримаємо наступні значення

Кількість ложечок на диску картоплесаджалки z , шт	Відстань між бульбами по довжині рядка l , м
10	0,40
12	0,33
15	0,27
18	0,22

Як видно із представленої таблиці, при ($z = 15$) забезпечується відстань між бульбами 0,25...0,27 м, що відповідає агротехнічним вимогам для схеми посадки 70×25 см при швидкості 7...8 км/год.

Отже, рівномірність садіння картоплі визначається взаємодією трьох основних параметрів: швидкості руху агрегату, частоти обертання диска і кількості ложечок. Так, для картоплесаджалки СН-4Б при швидкості 7–8 км/год і схемі посадки 70×25 см оптимальна кількість ложечок становить 15, що забезпечує інтервал між бульбами $\approx 0,25$ м. Подальші теоретичні дослідження мають уточнити умови роботи ложечок, силу дії пружин притискних пальців та вплив цих параметрів на якість дозування картоплі садильним апаратом картоплесаджалки.

Обґрунтування параметрів механізму приводу садильного апарата

Привід садильного диска СН-4Б здійснюється від вала відбору потужності (ВВП) трактора Т-70С з частотою $N_{\text{ВВП}} = 540$ об/хв. Через вузол передач (ланцюг/шестерня/редуктор) рух передається на вал диска садильного апарата. Відомо, що загальне передаточне відношення від ВВП трактора до диска становить:

$$i = \frac{N_{\text{ВВП}}}{N_d},$$

де N_d – частота обертання диска картоплесаджалки, об/хв.

Маємо врахувати, що

$$n = \frac{N}{60}, \frac{\text{об}}{\text{с}};$$
$$\omega = 2\pi n, \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Виходячи із наведених залежностей можемо записати рівняння для визначення частоти обертання диска при відомому передаточному відношенні механізму приводу картоплесаджалки, що має вигляд:

$$N_d = \frac{N_{\text{ВВП}}}{i},$$

або в об/с:

$$n_d = \frac{n_{\text{ВВП}}}{i} = \frac{N_{\text{ВВП}}}{60 \cdot i}$$

Таким чином, передаточне відношення i є визначальним параметром, при зміні якого змінюється частота обертання садильного диска N_d , яка безпосередньо впливає на відстань між бульбами (через число ложечок z) та на відцентрові сили, що діятимуть на картоплину при її транспортуванні ложково-дисковим садильним апаратом.

Взаємозв'язок швидкості руху агрегату, частоти диска та інтервалу між бульбами

Основне кінематичне співвідношення для інтервалу між бульбами l наступне:

$$l = \frac{V}{n_d \cdot z},$$

де V – лінійна швидкість садильного агрегату, м/с;

n_d – частота обертання садильного диска, об/с;

z – кількість ложечок на диску, шт.

Якщо підставити відомі величини та врахувати розмірності, можна отримати залежність, яка визначає зв'язок між передаточним відношенням i інтервалом між картоплинами. Маємо:

$$l = \frac{V \cdot i}{n_{\text{ВВП}} \cdot z / 60} = \frac{60 \cdot V \cdot i}{n_{\text{ВВП}} \cdot z},$$

або якщо виразити через передаточне відношення, отримаємо наступне:

$$i = \frac{N_{\text{ВВП}} \cdot z \cdot l}{60 \cdot V}.$$

Отримана залежність дозволяє знайти необхідне передаточне відношення механізму приводу картоплесаджалки для забезпечення потрібного інтервалу між бульбами l .

Якщо в отриману залежність підставити наступні значення: $N_{\text{ВВП}} = 540$ об / хв; $z = 15$ ложечок; $l = 0,25$ м; $V = 7,5$ км/год = $2,0833$ м/с, отримаємо:

$$i = \frac{540 \cdot 15 \cdot 0,25}{60 \cdot 2,0833} = \frac{2025}{125} = 16,2.$$

Отже, маємо забезпечити для роботи картоплесаджалки загальне передаточне відношення $i \approx 16,2$, тобто $\approx 16:1$. Це значить, що при обертах ВВП 540 об/хв і наявності 15 ложечок на диску маємо забезпечити його частоту обертання на рівні 33,3 об/хв або ж 0,5556 об/с. З практичної точки зору маємо вибрати стандартне передаточне відношення в діапазоні $i = 15 \div 18$. Відмітимо, що співвідношення 16:1 – оптимальний компроміс; 18:1 – забезпечить занижену частоту обертання садильного диска, що є корисним при садінні крупної бульби; 15:1 – забезпечує дещо вищу частоту обертання диска.

Вплив частоти обертання садильного диска на утримання картоплі

Кутова швидкість садильного апарата картоплесаджалки може бути знайдена за відомою залежністю:

$$\omega = 2\pi n_d = 2\pi \frac{N_d}{60}.$$

Відцентрова сила, що діє на бульбу може визначатися так:

$$F_c = m_b \cdot \omega^2 \cdot r_d,$$

де m_b – маса бульби, яка висаджується;

r_d – відстань від осі садильного диска до центру ложечки.

Вага бульби складає:

$$G_b = m_b \cdot g.$$

Умова мінімальної сили притискання F_p для утримання бульби, враховуючи, що складова ваги картоплини по напрямку викидання враховується через кут φ , описується нерівністю:

$$F_p \geq F_c + G_b \cdot \sin\varphi.$$

Так, встановлено вище, що при $i = 16,2$ частота $N_d \approx 33,33$ об/хв. Переведемо $n_d = \frac{33,33}{60} = 0,5556$ об/с; $\omega = 2\pi \cdot 0,5556 = 3,49$ рад/с. Для $m_b = 0,08$ кг та $r_d = 0,175$ м отримаємо:

$$F_c = 0,08 \cdot 3,49^2 \cdot 0,175 \approx 0,17 \text{ Н.}$$

$$G_b = 0,08 \cdot 9,81 \approx 0,785 \text{ Н.}$$

За умови, що $\varphi = 45^\circ$ маємо:

$$F_p \approx 0,17 + 0,785 \cdot 0,7071 \approx 0,73 \text{ Н.}$$

Подальший підбір пружини-затискача буде відбуватися нижче виходячи із знайдених величин.

Визначення кількості ложечок та оцінка коефіцієнта однонасінності

Наведемо залежність, що визначає взаємозв'язок кількості ложечок z за умови, що відомі частота обертання ВВП трактора $N_{\text{ВВП}}$ та передаточне відношення механізму приводу i , яка має наступний вигляд:

$$z = \frac{V}{n_d \cdot l} = \frac{60 \cdot V}{N_d \cdot l},$$

де $N_d = N_{\text{ВВП}}/i$

Після підстановки отриманих величин маємо кінцеву залежність:

$$z = \frac{60 \cdot V \cdot i}{N_{\text{ВВП}} \cdot l}.$$

Так як у картоплесаджалки, яку взято за прототип до вдосконалення кількість ложечок для картоплі $z = 15$ приймемо таку ж кількість ложечок. Якщо ж підставити крім кількості ложечок числові значення $i = 16,2$ та провести зворотній розрахунок, є очевидним, що інтервал між бульбами, який згідно із агрономічними вимогами становить $l \approx 0,25$ м забезпечується при частоті садильного диска 33 об/хв.

Коефіцієнт однонасінності садильного апарату картоплесаджалки k_o є модельною оцінкою його роботи, який емпірично залежить від z , V , N_d , конструкції ложечки і затискача. З ціллю аналітичної оцінки цього коефіцієнту застосуємо апроксимацію. Враховуючи це, можемо записати залежність, яка дозволяє із певним припущенням оцінити коефіцієнт однонасінності, що в символічному вигляді описується наступним виразом:

$$k_o = k_{o\text{max}} \cdot \exp\left(-a(z - z_{\text{opt}})^2 - b(N_d - N_{\text{opt}})^2 - c(V - V_{\text{opt}})^2\right),$$

де $k_{o\text{max}} \approx 0,98$ – максимально досяжний коефіцієнт за ідеального збігу;

z_{opt} , N_{opt} , V_{opt} – оптимальні значення зазначених параметрів картоплесаджалки;

a , b , c – емпіричні коефіцієнти, що задаються на основі експерименту чи попередніх досліджень.

На рис. 7 наведено емпіричну залежність впливу кількості ложечок на садильному диску картоплесаджалки на коефіцієнт однонасінності за умови, що робоча швидкість агрегату становить 7...8 км/год.

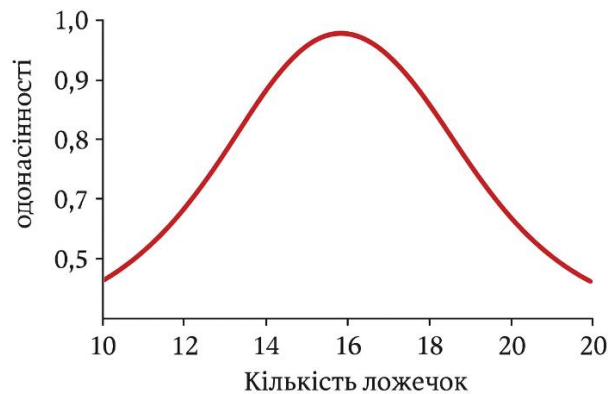


Рис. 7. Вплив кількості ложечок на коефіцієнт однонасінності при швидкості 7...8 км/год

Обґрунтування тиску пружини для виключення пошкодження картоплин притискними пальцями

Одним із показових факторів якісної роботи ложечко-дискового садильного апарата картоплесаджалки є забезпечення надійного утримання картоплин у ложечках без їхнього механічного пошкодження. Це досягається завдяки дії притискних пальців, з'єднаних із пружинами, що створюють певне зусилля натиску на бульбу. Надмірний тиск призводить до розчавлення м'якоті картоплі, мікротріщин у шкірці та втрати схожості насіннєвого матеріалу. Недостатній тиск викликає прослизання або випадання бульб із ложечок під час обертання диска.

У моделі картоплесаджалки СН-4Б, як і в більшості інших подібних агрегатів, пружинні пальці розташовані таким чином, що в момент проходження між ложечкою, картоплиною і пальцем виникає короткочасна контактна взаємодія. Для аналізу введемо такі позначення:

$$F_p = k \cdot \Delta x,$$

де F_p – сила притискання пальця до картоплини, Н;

k – жорсткість пружини, Н/м;

Δx – деформація пружини, м.

Сила притискання пальця до картоплини F_p повинна бути достатньою для утримання бульби в ложечці під дією відцентрових і гравітаційних сил:

$$F_p \geq F_c + G_b \cdot \sin \varphi,$$

де $F_c = m_b \cdot \omega^2 \cdot r_d$ – відцентрова сила;

$G_b = m_b \cdot g$ – вага бульби;

φ – кут розташування ложечки відносно вертикалі;

r_d – радіус обертання центру ложечки.

Враховуючи наведені вище величини, отримуємо кутову швидкість:

$$\omega = \frac{2\pi n_d}{60} = 3,14 \text{ рад/с.}$$

Для середньої маси бульби $m_b = 0,08$ кг і радіуса $r_d = 0,175$ м отримаємо:

$$F_c = 0,08 \cdot 3,14^2 \cdot 0,175 = 0,14 \text{ Н.}$$

Вага бульби, яка висаджується

$$G_b = 0,08 \cdot 9,81 = 0,78 \text{ Н.}$$

Таким чином, мінімальна сила утримання повинна становити приблизно $F_{\min} = 0,92$ Н.

Умова непошкодження бульби під час роботи садильного апарату

Механічна міцність тканин картоплі обмежується допустимим контактним тиском $p_{\text{дон}} = 0,08 \dots 0,12$ МПа. Для визначення тиску в зоні контакту можна скористатися залежністю:

$$p = \frac{F_p}{A_c},$$

де A_c – площа контакту притискного пальця з поверхнею бульби.

Якщо прийняти ширину контакту $b = 8$ мм і довжина дуги контакту $l = 12$ мм, то $A_c = 9,6 \times 10^{-5}$ м².

Для запобігання пошкодженню:

$$F_p \leq p_{\text{дон}} \cdot A_c = 0,1 \cdot 9,6 \cdot 10^{-5} = 0,0096 \text{ Н.}$$

Оскільки ця сила менша від мінімальної сили утримання 0,92 Н, слід враховувати, що частина тиску передається через шкірку бульби із урахуванням пружності м'якоті. Згідно з експериментальними даними [17], допустимий локальний тиск може бути підвищений у 10...15 разів через еластичну деформацію шару шкірки. Тоді допустиме зусилля на картоплину становить:

$$F_{\text{дон}} = 0,0096 \cdot 12 = 0,115 \text{ Н.}$$

Остаточна умова рівноваги є наступною:

$$F_p = F_c + G_b \cdot \sin \varphi \leq F_{\text{дон}}.$$

Враховуючи те, що кут $\varphi = 45^\circ$, $\sin 45^\circ = 0,707$, можемо отримати

$$F_p = 0,14 + 0,78 \cdot 0,707 = 0,69 \text{ Н.}$$

Отримане розрахункове значення перевищує $F_{\text{дон}}$, що свідчить про потребу зниження жорсткості пружини.

З рівняння $F_p = k \cdot \Delta x$ при деформації $\Delta x = 5$ мм отримаємо оптимальну жорсткість:

$$k = \frac{0,115}{0,005} = 23 \text{ Н/м.}$$

Практичні дослідження показали, що для садильного апарата СН-4Б оптимальна жорсткість пружини становить 20...25 Н/м, що забезпечує стале утримання бульби без її пошкодження при робочих швидкостях 7–8 км/год.

Обґрунтування розмірів ложечок садильного апарата

Розміри ложечок садильного апарату картоплесаджалки визначають стабільність дозування картоплі та рівномірність подачі картоплин у сошник. Занадто великі ложечки спричиняють подачу двох бульб одночасно, занадто малі – випадання картоплі, та як наслідок маємо пропуск рослини у самому рядку.

Для садильного апарата СН-4Б ложечки мають напівсферичну форму з округлим дном.

Під час обґрунтування розміри ложечки врахуємо, що середні розміри насінневої картоплі мають становити $d_b = 50$ мм.

Діаметр ложечки d_l повинен забезпечувати надійне утримання бульби:

$$d_l = (1,05 \dots 1,1) d_b = 52,5 \dots 55 \text{ мм.}$$

Глибина ложечки визначається геометричною умовою розташування центру бульби нижче площини дотику:

$$h = r_b - \sqrt{r_b^2 - \left(\frac{d_l}{2}\right)^2},$$

де $r_b = \frac{d_b}{2}$.

Для $d_b = 50$ мм, $d_l = 55$ мм отримаємо глибину ложечки:

$$h = 25 - \sqrt{25^2 - 27,5^2} \approx 15,6 \text{ мм.}$$

Тобто оптимальна глибина ложечки становить 15...16 мм, що забезпечує стаке положення бульби навіть при вібраціях.

Умова стабільності захоплення картоплі ложечкою садильного апарату

Під час руху ложечки з бульбою діє відцентрова сила F_c , що прагне викинути бульбу назовні. Для утримання бульби необхідно виконати:

$$F_p + N \sin \alpha \geq F_c,$$

де N – реакція опори ложечки;

α – кут нахилу стінки ложечки до вертикалі.

З досліджень [18] рекомендовано приймати $\alpha = 25 \dots 30^\circ$, що дозволяє зменшити втрати картоплі на 15–20 %.

Залежно від обраного кута нахилу формується внутрішній радіус кривизни ложечки R_l :

$$R_l = \frac{d_l}{2 \sin \alpha}.$$

Для $d_l = 55$ мм і $\alpha = 27^\circ$ отримаємо:

$$R_l = \frac{55}{2 \sin 27^\circ} = 60 \text{ мм.}$$

Цей радіус ложечки картоплесаджалки забезпечує плавний контакт між ложечкою та поверхнею бульби, мінімізуючи локальні напруження.

Висновки по теоретичним дослідженням

1. Теоретичний аналіз показав, що оптимальна кількість ложечок на диску картоплесаджалки СН-4Б становить 15 шт., що забезпечує рівномірне дозування при швидкості руху агрегату 7–8 км/год.
2. Розрахунки тиску пружини довели, що при жорсткості 20–25 Н/м і деформації 5 мм сила натиску на бульбу становить близько 0,1 Н, що не перевищує межі пошкодження тіла картоплини.
3. Оптимальні розміри ложечки: діаметр 52...55 мм, глибина 15...16 мм, кут нахилу стінки 27° , радіус кривизни 60 мм – забезпечують надійне утримання картоплини без подвійних захоплень.
4. Узгодження параметрів ложечки, пружини та швидкісного режиму сприяє стабільній роботі садильного апарата і рівномірному розподілу бульб у рядку.

3.4. Експериментальна перевірка ефективності роботи картоплесаджалки

З метою визначення оптимальної кількості ложечок на садильному диску ложково-дискового апарата картоплесаджалки було проведено серію польових досліджень із використанням серійного агрегату СН-4Б. У процесі експерименту, відповідно до загальноприйнятої методики, оцінювали вплив кількості ложечок на диску та відстані між висадженими бульбами вздовж рядка на кількість пропусків під час садіння. Робоча швидкість агрегату підтримувалася на рівні 7...8 км/год, що попередньо було обґрунтовано інженерними розрахунками. Для забезпечення достовірності результатів використовували бульби середньої фракції, масою 50...80 гр, які вважається найбільш придатними для проведення садіння картоплі.

Якість розподілу бульб за довжиною рядка визначали за стандартною методикою: сошникову групу картоплесаджалки піднімали, здійснювали подачу картоплі без загорання в ґрунт, після чого проводили вимірювання інтервалів

між бульбами та порівнювали отримані результати з номінальними значеннями. На основі цих даних розраховували відсоток пропусків. Дослідження проводили для варіантів із різною кількістю ложечок на садильному диску – 9, 12, 15, 18 та 21.

Отримані результати, що характеризують вплив кількості ложечок на рівномірність розподілу бульб і відсоток пропусків, були зведені в узагальнену таблицю (рис. 8). Подальший аналіз експериментальних даних здійснювали із використанням програмного комплексу STATISTICA 10, що дозволило визначити закономірності зміни основних показників роботи садильного апарата картоплесаджалки.

	1	2	3
	п, шт	а, см	С, %
1	9	20	8,2
2	9	25	7,4
3	9	30	7,1
4	9	35	6,5
5	9	40	5,8
6	12	20	7,0
7	12	25	6,2
8	12	30	6,0
9	12	35	5,5
10	12	40	4,2
11	15	20	3,0
12	15	25	2,0
13	15	30	2,4
14	15	35	1,8
15	15	40	1,4
16	18	20	3,2
17	18	25	3,6
18	18	30	3,4
19	18	35	3,0
20	18	40	2,5
21	21	20	4,4
22	21	25	4,0
23	21	30	4,5
24	21	35	4,8
25	21	40	5,2

Рис. 8. Експериментальна таблиця оцінки впливу кількості ложечок на садильному диску картоплесаджалки та інтервалу садіння бульб на кількість пропусків під час технологічного процесу садіння картоплі

Обробку результатів експериментальних досліджень виконували у програмному середовищі STATISTICA 10 із використанням загальноприйнятої

методики планування та аналізу експериментів [20]. Це дало змогу побудувати поверхню відгуку (рис. 9), яка відображає взаємозв'язок між кількістю ложечок на садильному диску та інтервалом розміщення бульб у рядку та вплив зазначених факторів на критерій оптимізації, яким виступав відсоток пропусків бульб.

У процесі роботи з програмою було також отримано рівняння регресії, що описує вплив кожного із досліджуваних факторів на кількість пропусків картоплин уздовж рядка.

Отримана статистична математична модель наступна:

$$Y(C) = 31,7683 - 0,2033 \cdot x_1 - 3,0403 \cdot x_2 - 0,001 \cdot x_1^2 + 0,0794 \cdot x_2^2 + 0,0137 \cdot x_1 \cdot x_2$$

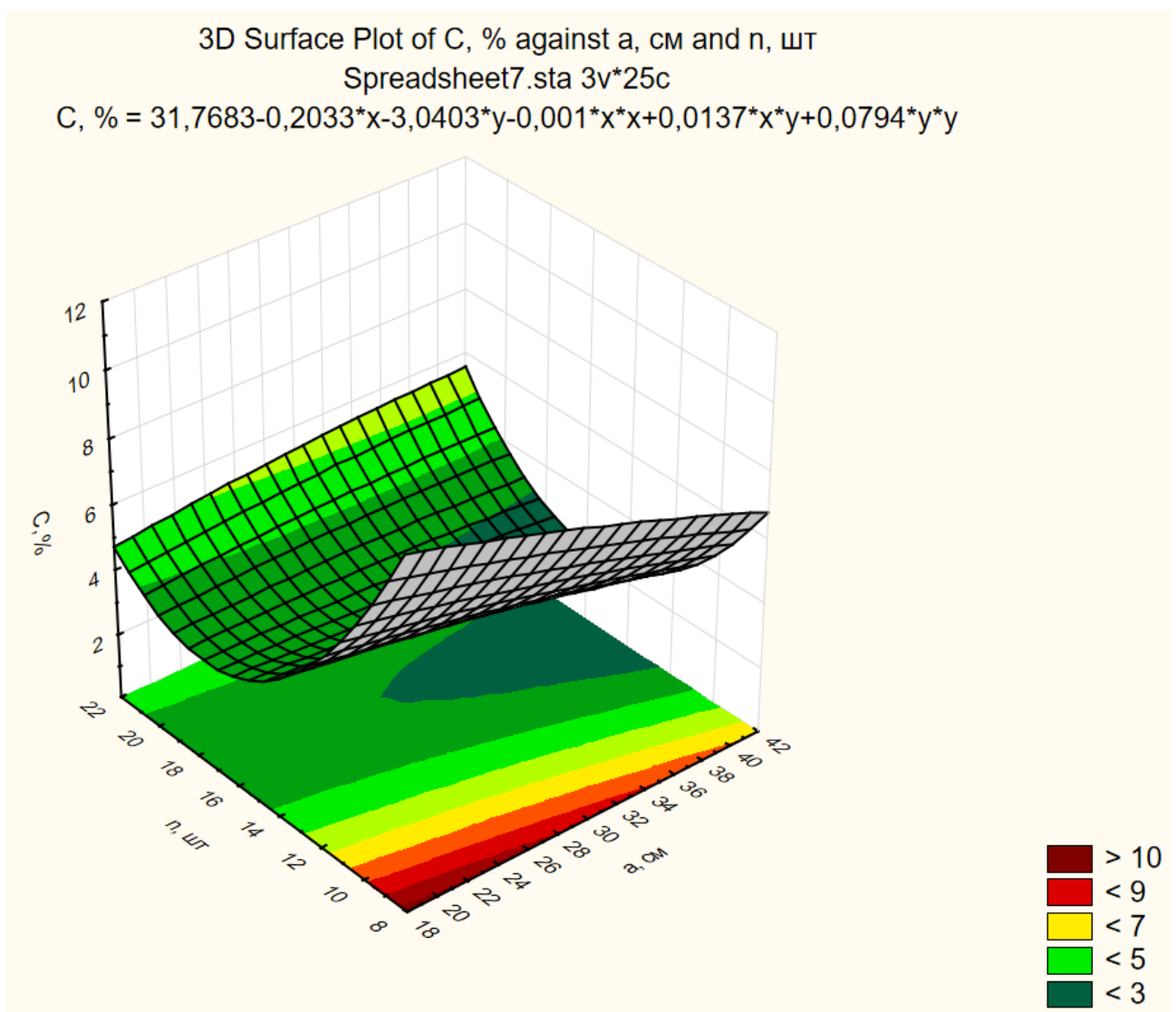


Рис. 9. Поверхня відгуку та лінії рівного виходу по оцінці впливу кількості ложечок та інтервалу між картоплинами на кількість пропусків

Подальшу статистичну обробку експериментальних даних здійснювали за стандартною методикою із використанням пакета програм STATISTICA 10. Графічне представлення отриманих результатів подано на рис. 9.

Відповідно до загальноприйнятої методики, у програмному середовищі STATISTICA 10 в автоматичному режимі виконано перевірку отриманої математичної моделі на відтворюваність та адекватність, а також визначено ступінь статистичної значущості окремих коефіцієнтів рівняння регресії відносно їх впливу на критерій оптимізації.

Аналіз рівняння регресії та побудованого графічного відображення (рис. 9) показав, що картоплесаджалка СН-4Б, працюючи зі швидкістю руху близько 7...8 км/год і оснащена садильним диском із 8...14 ложечками, незалежно від заданого інтервалу садіння, забезпечує 4,5...10 % пропусків бульб, що перевищує допустимі агротехнічні норми. Це підтверджує, що серійна конструкція картоплесаджалки СН-4Б із 12 ложечками на одному диску не може забезпечити якісну посадку за вказаних умов експлуатації.

Водночас збільшення кількості ложечок до 15...21 шт. сприяє зменшенню відсотка пропусків, хоча ефект зберігається лише до певного рівня – надлишок ложечок призводить до взаємного заважання їх роботи. Крім того, надмірна кількість ложечок ускладнює процес монтажу, регулювання та налаштування притискних механізмів садильного апарата.

На підставі аналізу експериментальних результатів встановлено, що оптимальна кількість ложечок на одному садильному диску становить 15 шт., що дозволяє знизити кількість пропусків до 3 % при швидкості руху 7...8 км/год. Отже, результати експериментів підтвердили теоретичні обґрунтування, згідно з якими для забезпечення якісної роботи картоплесаджалки СН-4Б доцільно встановлювати по 15 ложечок на кожному садильному апараті агрегату.

Короткі висновки по розділу

На основі проведених теоретичних обґрунтувань і експериментальних досліджень роботи садильного апарата картоплесаджалки СН-4Б встановлено наступне:

1. Раціональна кількість ложечок на садильному диску становить 15 штук, що забезпечує рівномірне подавання бульб та стабільну роботу апарата при швидкості руху 7...8 км/год., за таких умов вдається знизити кількість пропусків бульб до 3 %

2. Параметри пружного елемента з жорсткістю 20...25 Н/м і деформацією приблизно 5 мм створюють силу натиску на картоплину близько 0,1 Н, що не перевищує допустимого рівня пошкодження насінневої бульби.

3. Визначені раціональні геометричні параметри ложечки, а саме – діаметр 52...55 мм, глибина 15...16 мм, кут нахилу стінки приблизно 27°, радіус кривизни 60 мм. Саме наведені параметри ложечки забезпечують надійне захоплення й утримання бульб без двійників і пропусків.

4. Узгоджене співвідношення геометричних параметрів ложечки, пружини та швидкісного режиму дозволяє досягти стабільної роботи садильного апарата, підвищити рівномірність розподілу картоплин у рядку та зменшити кількість пропусків до нормативних значень.

Таким чином, результати досліджень підтверджують доцільність удосконалення конструкції садильного апарата картоплесаджалки СН-4Б, що сприяє підвищенню якості виконання технологічного процесу посадки і створює передумови для інтенсифікації технології вирощування картоплі.

4. Практична реалізація результатів досліджень

Обґрунтування складу вдосконаленого агрегату для садіння картоплі

При підборі та формуванні оптимального машинно-тракторного агрегату для посадки картоплі маємо вибрати енергетичний засіб, забезпечуючи його максимально ефективну роботу у парі з відповідною сільськогосподарською машиною [5...11]. Комплектування картоплесаджалки із енергетичним засобом відбувається з урахуванням низки факторів, зокрема:

- типу та стану ґрунту, ґрунтово-кліматичних характеристик району вирощування картоплі, рельєфу поверхні поля, вихідних характеристик посадкового матеріалу картоплі тощо;

- стану сівозміни, культур, що вирощуються перед та після картоплі;
- форми, геометричних розмірів та розташування поля, а також відстані до основних виробничих об'єктів фермерського господарства;
- особливостей технологічного виконання попередніх і наступних операцій, їх якості та продуктивності.

Роботи, що виконуються під час виробництва рослинницької продукції за величиною опору сільськогосподарських машин поділяють на кілька груп. Для посадки картоплі застосовують агрегати другої групи, що за потребою тягових зусиль порівнюються з сівбою просапних культур або їх міжрядним обробітком. Для цієї категорії робіт характерний опір агрегату в межах 4,0...4,5 кН, тому доцільно використовувати універсальні трактори, у господарствах для таких завдань застосовують машини тягового класу 14,0 кН.

Правильне комплектування агрегату для посадки картоплі дозволяє забезпечити високі показники якості виконання операцій та раціональне використання енергії. Зокрема, при формуванні агрегату на базі картоплесаджалки СН-4Б необхідно узгодити тягове зусилля трактора з опором машини та врахувати енергетичні витрати на приведення в рух її робочих органів. Після підбору трактора за потужністю та тяговими характеристиками здійснюють вибір робочих передач агрегату та виконують перевірку їх завантаження відповідно до загальноприйнятої методики. Наступним етапом є розрахунок кінематики отриманого посадкового агрегату, що включає визначення тягового зусилля трактора та розрахунок робочих швидкостей агрегату.

Обґрунтування технологічних показників агрегату для садіння картоплі

Відповідно до стандартних принципів підбору машинно-тракторних агрегатів та з урахуванням агротехнічних вимог до посадки картоплі й особливостей технологічного процесу роботи картоплесаджалки СН-4Б, запропоновано для вдосконаленої технології комплектувати дану машину з енергозасобом Т-70С. У базовому варіанті енергетичним засобом виступав трактор МТЗ-80. Враховуючи, що допустима швидкість посадки картоплі за

базовою технологією забезпечується трактором МТЗ-80 на II робочій передачі і становить 6,0 км/год, трактор Т-70С у складі вдосконаленого агрегату дозволяє реалізувати посадку на швидкості 7,2 км/год, що відповідає V робочій передачі зазначеного енергетичного засобу.

На основі табличних даних [13] визначено робочі швидкості тракторів та відповідні їм тягові зусилля для базової та проектної технологій садіння картоплі:

$$\begin{aligned} V_{p.\delta} &= 4,26 \text{ км/год}, & P_{n.\text{зак}.\delta} &= 14 \text{ кН}; \\ V_{p.np} &= 6,67 \text{ км/год}, & P_{n.\text{зак}.np} &= 25 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Відомо, що для знаходження тягового зусилля на гаку агрегату слід скористатися формулою, яка враховує можливу зміну рельєфу поля. Ця залежність має такий вигляд:

$$P_{\text{зак}} = P_{n.\text{зак}} - G_{\text{тр}} \cdot i$$

де $P_{n.\text{зак}}$ – тягове зусилля трактора на робочій передачі, кН;

$G_{\text{тр}}$ – вага енергетичного засобу, що за довідниковими даними [8] складає для трактора Т-70С $G_{\text{тр}.np} = 44,8$ кН, для МТЗ-80 – $G_{\text{тр}.\delta} = 33,4$ кН.

i – кут підйому чи спуску рельєфу поля, що з достатньою точністю для розрахунків приймемо $i = 0,05$.

Враховуючи наведені цифрові значення розрахуємо тягові зусилля для картоплесадильних агрегатів, що працюватимуть за обома технологіями:

$$P_{\text{зак}}^{\delta} = 14,0 - 33,4 \cdot 0,05 = 12,33 \text{ кН};$$

$$P_{\text{зак}}^{np} = 25,0 - 44,8 \cdot 0,05 = 22,76 \text{ кН}.$$

Визначимо максимально допустиму ширину захвату картоплесаджалки скомплектованих агрегатів, використовуючи залежність:

$$B_{\text{max}} = \frac{P_{\text{зак}}}{K + R_i},$$

де K – величина питомого опору картоплесаджалки СН-4Б, за [10] $K = 3,5$ кН/м;

R_i – значення додаткового опору картоплесаджалки, що виникає під час робочого ходу агрегату на підйом, кН/м. Цей додатковий опір можна знайти використовуючи відому формулу:

$$R_i = \frac{G_M}{B_k} \cdot i,$$

де G_M – сумарна споряджена вага картоплесаджалки СН-4Б, яка за [10] складає

$$G_M = 10,2 \text{ кН};$$

B_k – значення розрахункової ширини захвату картоплесаджалки, яка має враховувати кількість рядків, що висаджує агрегат та ширину міжрядь з якою картопля садиться. Враховуючи це, знайдемо розрахункову ширину захвату картоплесаджалки СН-4Б наступним чином:

$$B_k = 0,7 \cdot 4 = 2,8 \text{ м.}$$

Враховуючи проведені розрахунки можемо розрахувати додатковий тяговий опір скомплектованого агрегату, який складає:

$$R_i = \frac{10,2}{2,8} \cdot 0,05 = 0,18 \text{ кН/м.}$$

Таким чином, розрахункове значення максимально допустимої ширини захвату картоплесаджалки, що буде працювати в господарстві як за базовою так і за проектною технологією складає:

$$B_{\max}^{\delta} = \frac{12,33}{3,5 + 0,18} = \frac{12,33}{3,68} = 3,35 \text{ м};$$

$$B_{\max}^{np} = \frac{22,76}{3,5 + 0,18} = \frac{22,76}{3,68} = 6,18 \text{ м.}$$

Далі можемо знайти максимальну кількість сільськогосподарських машин, що за тяговим зусиллям можуть працювати із кожним трактором, для чого скористаємося залежністю:

$$n_c = \frac{B_{\max}}{B_k}.$$

Враховуючи наведену формулу, визначимо для базової та проектної технологій:

$$n_c^{\delta} = \frac{3,35}{2,8} = 1,2 \text{ шт.};$$

$$n_c^{np} = \frac{6,18}{2,8} = 2,21 \text{ шт.}$$

Необхідно враховувати, що робочі органи картоплесаджалки мають привід робочих органів від валу відбору потужності (ВВП) трактора. Тому, незалежно від розрахованої максимальної кількості машин у складі агрегату, як у базовому, так і у проектному варіантах технології, у роботі з обраним трактором використовується лише одна картоплесаджалка типу СН-4Б.

Варто також зазначити, що під час виконання процесу садіння агрегат може перебувати під дією короткочасних перевантажень. Робота з однією садильною машиною у складі проектного агрегату забезпечує необхідний запас потужності для стабільного функціонування та подолання можливих перевантажень під час виконання робіт в полі.

Для визначення тягового опору обох агрегатів проведемо розрахунок за відомою формулою:

$$R = (K + R_1) \cdot B_K \cdot n_c.$$

Очевидно, що цей тяговий опір буде однаковий для агрегатів, що працюватимуть за обома технологіями, отже в цифровому вигляді маємо:

$$R_{agr}^{\delta} = R_{agr}^{np} = (3,5 + 0,18) \cdot 2,8 \cdot 1 = 10,3 \text{ кН.}$$

Виконаємо розрахунок для базової та проектної технологій, враховуючи опір агрегату та розрахункове тягове зусилля трактора при обраній робочій швидкості:

$$\eta_{mz}^{\delta} = \frac{R_{agr}^{\delta}}{P_{зак}^{\delta}} = \frac{10,3}{12,33} = 0,84;$$

$$\eta_{mz}^{np} = \frac{R_{agr}^{np}}{P_{зак}^{np}} = \frac{10,3}{22,76} = 0,45.$$

Виконаємо обчислення змінної продуктивності посадкового агрегату, враховуючи його робочу ширину захвату, швидкість руху під час виконання операції та тривалість робочого часу. Можемо записати:

$$W_{зм} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_p,$$

де B_p – ширина захвату картоплесаджалки, що складає $B_p = 2,8$ м;

V_p – робоча швидкість картоплесадильного агрегату, км/год;

$$V_p = V_T \left(1 - \frac{\delta}{100} \right),$$

де V_T – значення теоретичної швидкості роботи картоплесаджалки в полі, що для

базової технології складає дорівнює $V_T^{\delta} = 4,26$ км/год та, відповідно для

проектної технології $V_T^{np} = 6,67$ км/год;

δ – коефіцієнт просковзування приводних рушіїв енергозасобу, для розрахунків прийmemo – $\delta = 12\%$.

Враховуючи наведені величини визначимо робочу швидкість картоплесаджалок під час їх роботи за базовою і проектною технологіями, маємо:

$$V_p^{\delta} = 4,26 \left(1 - \frac{12}{100} \right) = 3,75 \text{ км/год};$$

$$V_p^{np} = 6,67 \left(1 - \frac{12}{100} \right) = 5,87 \text{ км/год}.$$

T_p – тривалість робочого ходу картоплесаджалки, год.

$$T_p = T_{зм} \cdot \tau,$$

де $T_{зм}$ – тривалість часу зміни на етапі проведення операції садіння картоплі,

приймаємо $T_{зм} = 8$ год;

τ – коефіцієнт ефективності використання змінного часу, який за умови, що довжина гонів на полі становить у середньому 1000 м складає $\tau = 0,8$.

Враховуючи зазначені вище дані, час роботи картоплесаджалки дорівнює:

$$T_p = 8 \cdot 0,8 = 6,4 \text{ год}.$$

Таким чином, в результаті підстановки зазначених числових значень розрахуємо показники змінної продуктивності агрегату для садіння картоплі, що працює за базовою та проектною технологіями. Маємо наступні продуктивності:

$$W_{зм}^{\bar{o}} = 0,1 \cdot 2,8 \cdot 3,75 \cdot 6,4 = 6,72 \text{ га/зм};$$

$$W_{зм}^{np} = 0,1 \cdot 2,8 \cdot 5,87 \cdot 6,4 = 10,52 \text{ га/зм}.$$

Далі можна визначити витрати пального, які слід забезпечити для роботи картоплесаджалки. Для цього використаємо відому залежність:

$$Q_{ca} = \frac{Q_{зм}}{W_{зм}},$$

де $Q_{зм}$ – витрати пального, що припадають за зміну роботи картоплесадильного агрегату, кг/зм;

$W_{зм}$ – змінна продуктивність картоплесаджалки, га/зм.

З метою розрахунку необхідної для роботи картоплесаджалки кількості пального за зміну роботи використаємо формулу:

$$Q_{зм} = Q_p \cdot T_p + Q_x \cdot t_x + Q_3 \cdot t_3,$$

де Q_p – розрахункові витрати пального за годину робочого ходу картоплесаджалки, за умови базової технології, коли агрегат працює у складі картоплесаджалки СН-4Б і трактора МТЗ-80 – за [10], витрати пального складають $Q_p^{\bar{o}} = 15,4$ кг/год, якщо ж за проектною технологією працюватиме агрегат працює у складі картоплесаджалки СН-4Б і трактора Т-70С – за [10], витрати пального складають $Q_p^{np} = 15,0$ кг/год;

Q_x – витрати пального, які припадають на холості проходи агрегату [10], так для базової технології (трактор МТЗ-80) – $Q_x^{\bar{o}} = 9,7$ кг/год; та відповідно для проектної технології (трактор Т-70С) – $Q_x^{np} = 9,3$ кг/год;

Q_3 – годинні витрати пального, що припадають на зупинки трактора картоплесадильного агрегату із працюючим двигуном, знову за [10], для базової технології (трактор МТЗ-80) – $Q_3^{\bar{o}} = 1,9$ кг/год; для проектної технології (трактор Т-70С) – $Q_3^{np} = 1,4$ кг/год;

T_p – тривалість чистої роботи скомплектованого агрегату під час садіння картоплі, год;

t_x – тривалість проведення в полі холостих проходів скомплектованого агрегату, год;

t_z – тривалість зупинок агрегату під час роботи із працюючим двигуном, год;

$$t_x = t_z = \frac{T_{zm} - T_p}{2},$$

де T_{zm} – час, протягом якого триває одна робоча зміна, так під час садіння картоплі, $T_{zm} = 8,0$ год;

T_p – час протягом якого в полі відбувається безпосередньо технологічний процес садіння (робочий хід), із врахуванням вище проведених розрахунків, прийmemo, $T_p = 6,4$ год.

Після підстановки даних, отримаємо:

$$t_x = t_z = \frac{8 - 6,4}{2} = 0,8 \text{ год.}$$

Таким чином, розрахункові значення витрат палива для базової і проектної технологій складають:

$$Q_{zm}^{\delta} = 15,4 \cdot 6,4 + 9,7 \cdot 0,8 + 1,9 \cdot 0,8 = 107,08 \text{ кг/зм};$$

$$Q_{zm}^{np} = 15 \cdot 6,4 + 9,3 \cdot 0,8 + 1,4 \cdot 0,8 = 104,56 \text{ кг/зм.}$$

Отримані розрахункові значення витрат пального дозволяють оцінити годинні витрати, що будуть мати місце при роботі агрегату за базовою і проектною технологіями. Отже, годинні витрати пального складають:

$$Q_{ga}^{\delta} = \frac{107,08}{6,72} = 15,94 \text{ кг/год};$$

$$Q_{ga}^m = \frac{104,56}{10,62} = 9,94 \text{ кг/год.}$$

Отримані результати розрахунків підтверджують те, що запропонований склад проектного машинно-тракторного агрегату, який включає трактор Т-70С та картоплесаджалку СН-4Б, є більш ефективним для виконання процесу садіння картоплі в умовах базового фермерського господарства. Застосування зазначеного агрегату забезпечує можливість роботи з вищою робочою швидкістю при збереженні належної якості виконання технологічного процесу.

Зокрема, трактор Т-70С здатний ефективно працювати із картоплесаджалкою на V робочій передачі, а за потреби – на IV, при цьому реальна робоча швидкість може становити до 5,87 км/год. Окрім того, використання проектної технології дає змогу знизити витрати пального приблизно на 25% порівняно з базовим агрегатом на базі трактора МТЗ-80 з тією ж картоплесаджалкою СН-4Б.

5. Охорона праці

Безпечні умови праці під час виконання технологічних процесів вирощування картоплі є важливою складовою ефективного функціонування виробничих підрозділів господарства. При використанні машинно-тракторного агрегату, до складу якого входить трактор Т-70С і вдосконалена картоплесаджалка СН-4Б, необхідно забезпечити дотримання вимог законодавства України у сфері охорони праці, а також правил експлуатації сільськогосподарських машин.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами під час садіння картоплі є рухомі частини машин, підвищений рівень шуму та вібрації, запиленість повітря робочої зони, ризик ураження струмом під час технічного обслуговування, а також можливість травмування при зчепленні агрегату та трактора. З метою запобігання нещасним випадкам слід виконувати вимоги «Правил охорони праці під час експлуатації сільськогосподарської техніки» та відповідних ДСТУ і технічних регламентів.

Перед початком роботи агроінженер має пройти інструктаж з охорони праці, а також перевірку знань з безпечної експлуатації машин. До роботи допускаються лише особи, які досягли 18-річного віку, пройшли медичний огляд і мають відповідну кваліфікацію. Перед агрегуванням картоплесаджалки з трактором необхідно перевірити справність усіх вузлів і механізмів, наявність захисних кожухів, правильність під'єднання карданної передачі та гідросистеми енергозасобу.

На етапі виконання робіт, особливу увагу слід приділити справності вала відбору потужності трактора Т-70С, оскільки саме через нього відбувається привід робочих органів садильного апарата. Під час роботи категорично

забороняється перебувати поблизу елементів, що обертаються, а регулювання, очищення або технічне обслуговування картоплесаджалки потрібно виконувати лише після повної зупинки двигуна та від'єднання приводу.

Для зниження рівня шуму і вібрації трактор має бути обладнаний герметизованою кабіною, а сидіння механізатора – пружинною підвіскою. Робоче місце має відповідати ергономічним вимогам, що зменшують стомлюваність тракториста під час тривалої роботи. Механізатор повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту – спецодягом, рукавицями, захисними окулярами та взуттям із нековзною підошвою.

У процесі садіння картоплі необхідно забезпечити безпечні умови руху агрегату по полю. Вся площа поля має бути очищена від сторонніх предметів, каміння, дроту та залишків рослин, які можуть потрапити в робочі органи. При русі на схилах потрібно повністю дотримуватись меж допустимого нахилу, передбаченого технічною характеристикою трактора Т-70С, щоб запобігти перекиданню.

Обслуговування агрегату потрібно проводити на рівному майданчику із заглушеним двигуном і встановленими під колеса упорами. Під час роботи біля картоплесаджалки необхідно не допускати потрапляння рук або одягу в механізми подачі та дощування бульб. Забороняється перебування сторонніх осіб у зоні роботи агрегату.

Під час транспортування картоплесаджалки дорогами загального користування потрібно дотримуватись вимог Правил дорожнього руху України: на машині мають бути встановлені світловідбивальні елементи та сигнальні ліхтарі, а транспортна швидкість не повинна перевищувати допустимі норми.

У системі охорони праці важливу роль відіграє профілактичне обслуговування обладнання. Регулярне змащення, очищення робочих органів, перевірка стану гідросистеми, приводів та кріплень дозволяють запобігти аваріям та поломкам під час виконання садіння картоплі. При виявленні будь-яких несправностей роботу агрегату потрібно негайно припинити до усунення проблеми.

Додатково слід забезпечити контроль за мікрокліматом робочої зони: рівнем шуму, освітленістю, концентрацією пилу та відпрацьованих газів. У випадку перевищення допустимих норм необхідно використовувати засоби колективного захисту, вентиляцію або фільтрувальні системи.

Отже, впровадження заходів з охорони праці при експлуатації вдосконаленої картоплесаджалки СН-4Б у агрегаті з трактором Т-70С забезпечує безпечне виконання технологічних операцій, підвищення продуктивності праці, зменшення травматизму та створення комфортних умов для агроінженера. Дотримання вимог безпеки є обов'язковою умовою раціональної експлуатації машинно-тракторних агрегатів у системі інтенсивного вирощування картоплі.

6. Висновок

У процесі виконання магістерської роботи було проведено комплексне дослідження сучасних технологій вирощування картоплі в умовах базового фермерського господарства. Детально проаналізовано біологічні особливості та морфологічні характеристики картоплі, визначено чинники, що впливають на продуктивність та якість вирощеного врожаю. Встановлено переваги й недоліки існуючої технології вирощування, що дозволило визначити напрями її вдосконалення.

У ході дослідження запропоновано заходи з інтенсифікації процесу вирощування картоплі, зокрема вдосконалення операції садіння шляхом модернізації картоплесаджалки СН-4Б і використання її в агрегаті з трактором Т-70С. Таке поєднання забезпечує оптимальні умови для якісного виконання технологічного процесу.

На основі проведених технологічних розрахунків обґрунтовано раціональну організацію роботи вдосконаленого агрегату. Розроблено оновлену операційно-технологічну карту процесу садіння картоплі, що враховує особливості роботи вдосконаленого обладнання.

У науковій частині роботи проведено теоретичні й експериментальні дослідження робочого процесу картоплесаджалки СН-4Б. На основі аналізу отриманих результатів обґрунтовано доцільність збільшення кількості ложечок

на садильному диску до 15 шт., що забезпечує стабільне дозування посадкової бульби при робочій швидкості 7,2 км/год. Отримане рівняння регресії описує вплив кількості ложечок на рівномірність розміщення бульб у рядку, а результати експериментів підтвердили ефективність такого технічного рішення.

Модернізована картоплесаджалка забезпечує підвищення продуктивності агрегату до 30% без зниження якості садіння. Розроблені рекомендації з охорони праці та техніки безпеки, що гарантують безпечну експлуатацію вдосконаленого агрегату під час проведення польових робіт.

Таким чином, результати виконаної роботи мають як наукове, так і практичне значення для підвищення рівня механізації та продуктивності технологічного процесу вирощування картоплі у фермерському господарстві.

Список використаної літератури

1. Технологія виробництва продукції рослинництва: навч. посіб. Ч.2 / Мельник С.І., Муляр О.Д., Кочубей М.Й., Іванцов П.Д. – К. : Аграрна освіта, 2010. – 405 с.
2. Алімов Д.М. Технологія виробництва продукції рослинництва / Д.М. Алімов, Ю.В. Шелестов. – К.: Вища школа, 1995. – 271 с.
3. Єщенко В.О. Загальне землеробство / Єщенко В.О., Копитко П.Г., Опришко В.П. та ін. – К.: Вища школа, 2004. – 335 с.
4. Кравченко М.С. Землеробство / Кравченко М.С., Злобін Ю.А., Царенко О.М. – К.: Либідь, 2002. – 496 с.
5. Олефіренко В.І. Захист рослин / В.І. Олефіренко, М.В. Скалій. – К.: 2007. – 301 с.
6. Кравченко М.С. Практикум із землеробства / Кравченко М.С., Царенко О.М., Міщенко Ю.Г. та ін. – К.: Мета, 2003. – 318 с.
7. Механізація технологічних процесів в землеробстві: Навчально-методичний комплекс: навч. посіб. / С.М. Грушецький, І.М. Бендера, Т.Д. Іщенко та ін.. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2011. – 352 с.
8. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: Підруч. у 2 т: Т. 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. – К. Агроосвіта, 2012. – 434 с.
9. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.
10. 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, О.М. Васильковський, Д.І. Петренко, П.Г. Лузан – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 170 с.

11. Методичні рекомендації до виконання дипломної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності Н7 «Агроінженерія» за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / уклад.: Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, С.М. Мороз, Ю.В. Мачок, О.В. Нестеренко. М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025.– 47 с.
12. Лімонт А.С., Мельник І.І., Малиновський А.С. і ін. Практикум із машиновикористання в рослинництві: Навчальний посібник /. За ред. І.І. Мельника. – Київ: Кондор. – 2004. – 284 с.
13. Машиновикористання у рослинництві. Технологічний регламент використання машин у рослинництві: Навчальний посібник. / Гарькавий А.Д., Калетнік Г.М., Мельник І.І. та ін. – ВДАУ, НУБІП, ЛДАУ, 2009. – 160 с.
14. Довідник з машиновикористання в землеробстві / За ред. В.І. Пастухова – Харків: Веста, 2001. – 347 с.
15. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування, Книга 1. Машини для рільництва / за ред. Черновола М.І. – К. Урожай, 2001. – 384 с.
16. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
17. Rady, A. M., & Soliman, N. (2015). Evaluation of mechanical damage of Lady Rosetta potato tubers using different methods. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 5(2), 125-148. <https://doi.org/10.1504/IJPTI.2015.074322>.
18. Вітенко В.А., В.М. Куценко В.С., Власенко М.Ю./ Картопля – К.: Урожай – 1990 – 236 с.
19. Гречкосій В.Д., Погорілець О.М., Ревенко І.І. та ін. Довідник сільського інженера / За ред. В.Д. Гречкосія. – 2-е вид., перероб. і доповнене. – К.: Урожай, 1991. – 400 с.

20. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини// За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
21. Деталі машин: курс лекцій / Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш, О.П. Цьонь. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. – 160 с.
22. Іванчук А. В. Деталі машин: Навч. посібник / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.
23. Охорона праці при вирощуванні сільськогосподарських культур: Навчальний посібник / М.М.Сақун, В.Ф. Нагорнюк; Одеський державний аграрний університет/. Кафедра безпеки життєдіяльності. – Одеса: «Видавництво», 2009. – 184 с.
24. Основи охорони праці. Курс лекцій: Навчальний посібник для студентів вищих педагогічних навчальних закладів всіх спеціальностей за освітньо-кваліфікаційним рівнем "бакалавр" / А.І. Ткачук, С.М. Богомаз-Назарова. – Перевидання, доповнене та перероблене. – Кропивницький: ПП "Центр оперативної поліграфії "Авангард", 2017. – 156 с.
25. Проектування технологій та розрахунок витрат на вирощування сільськогосподарських культур: Навч. посібник / За ред. Г.Є. Мазнева. – Харків: «Майдан», 2009. – 257 с.

ДОДАТКИ