

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ
ІВАНА ПУЛЮЯ

ШИМКО АНДРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 631.356.4

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ПІДКОПУВАЛЬНО-СЕПАРУВАЛЬНОГО РОБОЧОГО
ОРГАНА КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ**

05.05.11 – машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2020

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Луцькому національному технічному університеті
Міністерства освіти і науки України, м. Луцьк

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Налобіна Олена Олександрівна,
Національний університет водного
господарства та природокористування,
професор кафедри будівельних, дорожніх,
меліоративних, сільськогосподарських
машин і обладнання.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гевко Роман Богданович,
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя, завідувач
кафедри технічної механіки та
сільськогосподарських машин

кандидат технічних наук, доцент
Смолінський Станіслав Вікторович,
Національний університет біоресурсів і
природокористування України, доцент
кафедри сільськогосподарських машин та
системотехніки ім. акад. П.М. Василенка

Захист відбудеться «13» березня 2020 року о «13» годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 58.052.02 в Тернопільському національному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, аудиторія 79.

З дисертаційною роботою можна ознайомитися в бібліотеці Тернопільського національного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий «11» лютого 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

М.Я. Сташків

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Картопля є одним із основних продуктів харчування для населення, а також широко використовується як корм для худоби та сировина для промисловості. Цінність цієї культури визначається вмістом у бульбах крохмалю, білка, вітамінів, амінокислот та мінеральних солей.

У технологічному процесі виробництва картоплі найбільш трудомісткою операцією є механізоване збирання урожаю. На виконання даної технологічної операції припадає значна частина енерго- і трудовитрат, 40-60% і 70% відповідно. Ефективність виконання збиральних робіт в значній мірі визначається конструкцією робочих органів картоплезбиральних машин, зокрема підкопувального робочого органа. Існуючі конструкції підкопувальних робочих органів не забезпечують достатньої ступені розушільнення ґрунту та порушення його суцільності, що зумовлює зростання опору переміщенню машини та зменшення показників якості процесу збирання, зокрема до збільшення втрат урожаю.

З урахуванням вищезазначеного, підвищення ефективності процесу механізованого збирання бульб картоплі, за рахунок зменшення енергетичних витрат, підвищення продуктивності та зменшення втрат продукції (бульб), є актуальною науково-практичною задачею, яка потребує вирішення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, які покладено в основу дисертаційної роботи, виконано в Луцькому національному технічному університеті згідно договору з Волинською дослідною станцією Інституту Західного Полісся Національної академії аграрних наук України (№ 76 – с/МЛП) та в Національному університеті водного господарства та природокористування згідно з науково-дослідною роботою № 01515U002071, що виконується за державними науково-технічними програмами ДКНТП України з пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки за темою «Дослідження будівельних, дорожніх, сільськогосподарських машин і обладнання» (2015-2020 рр.).

Мета і завдання досліджень. Мета роботи – підвищення ефективності процесу викопування бульб картоплі шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування параметрів підкопувального робочого органа.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз існуючих способів збирання бульб картоплі, технічних засобів їх реалізації та конструкцій підкопувальних робочих органів із метою встановлення напрямків їх удосконалення;

- виконати теоретичний аналіз процесу взаємодії запропонованого підкопувально-сепарувального робочого органа з ґрунтом і розробити математичні моделі, які дозволять виявити закономірності впливу параметрів і режимів лемішної та сепарувальної частин на зміну динамічних характеристик ґрунтового середовища та встановити умови забезпечення найбільшого розпушення ґрунту;

- розробити математичні моделі, які розкривають взаємозв'язок тягового опору та конструктивних параметрів підкопувально-сепарувального робочого органа і характеристик ґрунту;

- обґрунтувати раціональні параметри підкопувально-сепарувального робочого органа, які забезпечать високі експлуатаційні та технологічні показники процесу викопування бульб картоплі;

- провести експериментальні дослідження фрикційних властивостей бульб, тягового опору та сепарувальної здатності робочого органа;

- провести польові дослідження показників якості роботи підкопувально-сепарувального робочого органа та визначити економічну ефективність його запровадження.

Об'єкт досліджень – технологічний процес викопування бульб картоплі.

Предмет досліджень – закономірності впливу конструктивних параметрів підкопувально-сепарувального робочого органа на зміну стану ґрунту.

Методи досліджень. Обґрунтування параметрів підкопувально-сепарувального робочого органа базувались на аналізі процесу взаємодії лемішної та сепарувальної частин робочого органа з ґрунтом. Теоретичні дослідження проводилися з використанням методів механіки твердого деформівного тіла, вищої математики, математичного моделювання процесів, теоретичної механіки.

Експериментальні дослідження проводилися із використанням стандартних і виготовлених лабораторних установок у лабораторних і виробничих умовах із застосуванням відомих і розроблених методик. Застосовували математичний метод планування експерименту. Обробка отриманих дослідних даних проводилася із використанням прикладних програмних продуктів MathCad, Microsoft Excel.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі вперше:

- розв'язано задачу про взаємодію робочого органа з ґрунтом у тримірній постановці із встановленням закономірностей впливу геометричних параметрів та режимів роботи підкопувально-сепарувального робочого органа на зміну стану ґрунту;

- аналітично розв'язано задачу визначення вигляду напруженого стану ґрунту з бульбами під дією підкопувально-сепарувального робочого органа;

- набуло подальшого розвитку аналітичне визначення опору переміщенню підкопувально-сепарувального робочого органа у ґрунтовому середовищі з бульбами.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено, виготовлено та експериментально досліджено конструкцію підкопувально-сепарувального робочого органа. Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено раціональні конструктивно-технологічні параметри розробленого підкопувально-сепарувального робочого органа. У ході досліджень виконано порівняльну оцінку удосконаленого та базового підкопувального робочого органа, яка підтвердила технологічну ефективність його застосування. Технічна новизна розробки підтверджена п'ятьма патентами на корисну модель України.

Результати досліджень підкопувально-сепарувального робочого органа впроваджено в «Інституті сільського господарства Західного Полісся НААН України» (с. Шубків, Рівненського району, Рівненської обл.) та використано у Волинській державній сільськогосподарській дослідній станції НААН (смт Рокині Луцького району, Волинської обл.).

Особистий внесок здобувача. Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертації отримано здобувачем самостійно [2; 4; 8; 9; 10]. Постановка завдання, аналіз і трактування результатів досліджень виконано спільно з науковим керівником. Автором виконано аналіз існуючих конструкцій робочих органів і запропоновано шляхи їхнього удосконалення [1; 3; 7]; розроблено методику проведення досліджень і виконано статистичну обробку результатів [5]; обґрунтовано залежності, які розкривають зв'язок напружень у ґрунтовому середовищі зі швидкостями деформацій [12; 13]; теоретично обґрунтованого та експериментально підтверджено раціональні параметри підкопувально-сепарувального робочого органа [7; 14]; виконано дослідження тягового опору робочого органа пропонованої конструкції [13].

У технічних рішеннях, які захищені патентами на корисну модель України, частка авторів однакова.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати досліджень доповідались та обговорювались на: звітних конференціях викладачів та аспірантів ЛНТУ (Луцьк, 2015-2017 роки), Міжнародній науково-практичній конференції «Настоящи изследвания и развитие - 2015» (м. Софія, 17-25 січня 2015 року), V всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційні технології в АПК» (м. Луцьк, 19-20 травня 2015 року), XII Міжнародній науково-практичній конференції «Vedecky pokrok na prelomu tysyuachalety» (м. Прага, 27 травня – 05 червня 2016 року), III Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» (м. Житомир, 29-30 березня 2017 року), Міжнародній науково-технічній конференції «Інженерія та технології: наука, освіта, виробництво» (м. Луцьк, 15-16 листопада 2018 року), I Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні моделі розвитку агропромислового виробництва: виклики та перспективи» (м. Глухів, 27 вересня 2018 року), I міжнародній науково-технічній інтернет конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем» (м. Рівне, 21-23 травня 2019 року).

Публікації. За результатами досліджень загалом опубліковано 19 наукових праць, зокрема 6 статей у фахових виданнях України, 1 стаття у міжнародному збірнику, 5 тез наукових конференцій, які проводилися в Україні, 2 тези наукових конференцій, які проводилися за кордоном, 5 патентів на корисну модель України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 151 найменування та 22 додатків. Основна частина виконана на 152 сторінці, містить 23 таблиці та 86 рисунків. Загальний обсяг роботи становить 208 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Сучасний стан та напрямки розвитку підкопувальних робочих органів» викладено результати аналізу способів збирання картоплі, проведено систематизацію виявлених недоліків існуючих конструкцій робочих органів і напрямків їхньої модернізації, проведено аналіз досліджень ґрунтів і моделей ґрунтового середовища та існуючих досліджень за темою дисертаційної роботи.

Дослідженням конструкцій підкопувальних робочих органів картоплезбиральних машин присвячено роботи Горячкіна В.П., Петрова Г.Д., Шеповалова В.Д., Костенка М.Ю., Піатта Х.В., Кембела А.Д., Бірта І., Маккінона Б., Бендери І.М., Бончика В.С., Грушецького С.М., Пасамана Б.Ф., Норчаєва Р.Н., Бішова М.В. та ін.

На основі аналізу чинних конструкцій підкопувальних робочих органів, призначених для підкопування скиби ґрунту разом з бульбоплодами, встановлено, що основними недоліками є втрати бульб (прямі та непрямі), недостатня степінь розуцільнення ґрунту, недостатня сепарація, велика метало- та енергоємність, складність конструкції підкопувальних робочих органів.

Розвиток досліджень, спрямованих на удосконалення технологічного процесу збирання картоплі та робочих органів картоплезбиральних машин і, зокрема, підкопувальних робочих органів, здійснюється за наступними напрямками: зменшення втрат і пошкодженості бульб; зменшення сил опору переміщенню та металомісткості конструкцій підкопувальних робочих органів.

Аналіз існуючих досліджень дозволив встановити, що недостатньо уваги приділено дослідженням впливу підкопувальних робочих органів на зміну стану ґрунту, тобто його ущільнення або руйнування, що забезпечить кращі умови просівання агрегатів ґрунту.

Проведений аналіз дозволив обґрунтувати напрямки досліджень, які покладено в основу даної дисертаційної роботи.

У другому розділі «Аналіз взаємодії підкопувально-сепарувального робочого органа з ґрунтом» наведено результати дослідження процесу взаємодії підкопувально-сепарувального робочого органа запропонованої конструкції з ґрунтом.

Процес викопування бульбоплодів складається з декількох послідовних операцій, а саме підкопування скиби ґрунту разом з бульбоплодами, транспортування скиби по підкопувальній поверхні, переміщення скиби по сепарувальній поверхні робочого органа і подальше переміщення картопляного вороху разом із залишками ґрунту на сепарувальну частину робочого органа.

У відповідності до поставлених задач досліджень проаналізовано вплив параметрів та режимів роботи лемішної та сепарувальної пруткової частини робочого органа на зміну стану ґрунту, його розуцільнення та можливість розпушення, що забезпечить кращі умови просівання агрегатів ґрунту через пруткову частину сепарувальної поверхні. В першому наближенні форму робочого органу при входженні в ґрунт приймаємо у вигляді поверхні, що наведена на рис. 1. На схемі прийняті наступні позначення: $f(\xi, \eta, \zeta)$ – рівняння поверхні леміша,

$p(\xi, \eta, \zeta)$ – рівняння поверхні сепарувального прутка, b – крок розстановки сепарувальних прутків у поперечному напрямку, тобто в напрямку осі y , N_l – нормаль до поверхні леміша, α_l – кут нахилу нормалі до поверхні леміша до осі ξ *idem* x , β_l – кут нахилу нормалі до поверхні леміша до осі η *idem* y , γ_l – кут нахилу нормалі до поверхні леміша до осі ζ *idem* z , V_m – швидкість переміщення робочого органа в напрямку осі x .

Рівняння поверхні леміша та поверхні, в якій розміщені сепарувальні прутки, можна записати у вигляді гіперболічного параболоїду у неявному вигляді:

$$f_l = \zeta - \left(d + c \left(\frac{((\phi \xi) + s)^2}{a} - \frac{(\kappa \eta)^2}{b} \right) \right), \quad (1)$$

де ϕ, s, a, κ, b, c – коефіцієнти, що характеризують форму, розташування та параметри кривизни поверхні лемішної частини, яка в подальшому переходить в

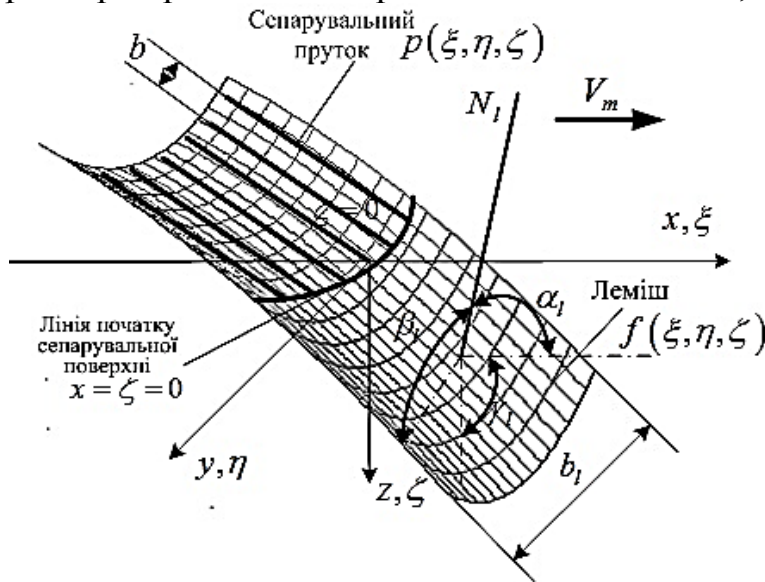


Рис. 1. Загальна схема підкопувально-сепарувального робочого органа

пругову сепарувальну частину при $\zeta = z$; d – коефіцієнт, який характеризує зміщення осі відносно центру координат по осі ζ *idem* z .

З урахуванням того, що на основі коефіцієнтів рівняння (1) визначалися конструктивні параметри робочого органа, в подальшому будемо їх називати формоутворювальними параметрами. Оскільки підкопувально-сепарувальний робочий

орган взаємодіє з ґрунтом, то виникає необхідність формалізації ґрунтового середовища.

Найбільш адекватним методом формалізації ґрунту є представлення його у вигляді суцільного деформівного середовища з проявом таких властивостей, як пружність, в'язкість та пластичність.

При розв'язанні контактних задач взаємодії робочих органів із ґрунтом за такої формалізації достатньо розв'язати задачу у пружній (мала швидкість руху робочого органа) або в'язко-пружній постановці. Такі розв'язки можна отримати в аналітичному вигляді, що дозволяє провести аналіз змін розподілу напружень та деформацій ґрунту в залежності від параметрів та режимів роботи робочого органа і встановити можливі зони стискання, розтягнення, зсуву, а також визначити критерій виду напруженого або деформованого стану ґрунту, використовуючи модифікований критерій Лоде-Надаї. При розв'язанні задачі про взаємодію робочого органа з ґрунтом для відокремлення скиби ґрунту з бульбоплодами та

подальшого руйнування її суцільності була прийнята модель ґрунту у вигляді в'язко-пружного середовища, яке може бути формалізоване моделлю Кельвіна-Фойгта.

Для аналізу впливу параметрів та режимів роботи лемішної частини підкопувально-сепарувального робочого органа, встановлено зв'язок динамічних величин, зокрема напружень у ґрунті, в залежності від його механічних властивостей та геометричних параметрів, і режимів роботи леміша. Такими динамічними величинами є компоненти напружень у ґрунтовому середовищі. Ці компоненти визначаються за залежностями, що описують зв'язок компонент напружень із компонентами швидкостей деформацій, як нормальних так і дотичних.

Слід відзначити, що значення величин компонент напружень у ґрунті не дають повної інформації про зміни його властивостей і можливі порушення його суцільності, тобто руйнування або ущільнення. Про характер цих змін можуть свідчити величини інтенсивності дотичних напружень або найбільш інформативний показник вигляду напружено-деформованого стану, такий як критерій Лоде-Надаї (2):

$$\mu_{\sigma_l} = \frac{\sqrt{3}(\sigma_{xl} + \sigma_{yl} + \sigma_{zl})}{2\sqrt{\tau_{xyl}^2 + \tau_{xzl}^2 + \tau_{yzl}^2}}; \mu_{\dot{\epsilon}_l} = \frac{\sqrt{3}(\dot{\epsilon}_{xl} + \dot{\epsilon}_{yl} + \dot{\epsilon}_{zl})}{2\sqrt{\dot{\gamma}_{xyl}^2 + \dot{\gamma}_{yzl}^2 + \dot{\gamma}_{xzl}^2}}, \quad (2)$$

де $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ – компоненти нормальних деформацій та деформацій зсуву, Па; $\dot{\epsilon}_x, \dot{\epsilon}_y, \dot{\epsilon}_z, \dot{\gamma}_{xy}, \dot{\gamma}_{xz}, \dot{\gamma}_{yz}$ – компоненти швидкостей лінійних деформацій та швидкостей деформацій зсуву, $1/c$;

Цей критерій вигляду в залежності від його величини та знаку трактується таким чином: при $\mu_{\sigma_l} > 0$ – превалювання розтягнення, причому, чим більша величина μ_{σ_l} тим більше розтягнення; при $\mu_{\sigma_l} < 0$ – превалювання стиснення, причому, чим менша величина μ_{σ_l} тим більше стиснення; при $\mu_{\sigma_l} = 0$ – чистий зсув.

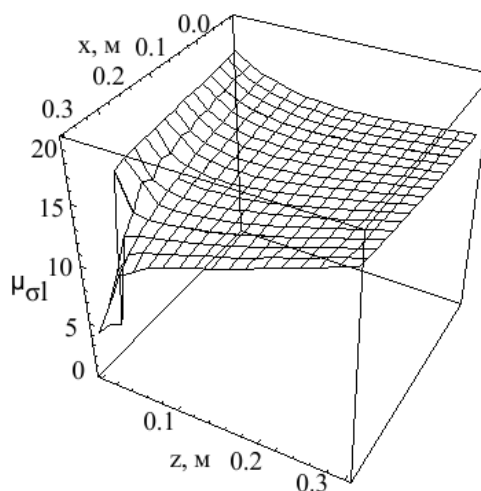
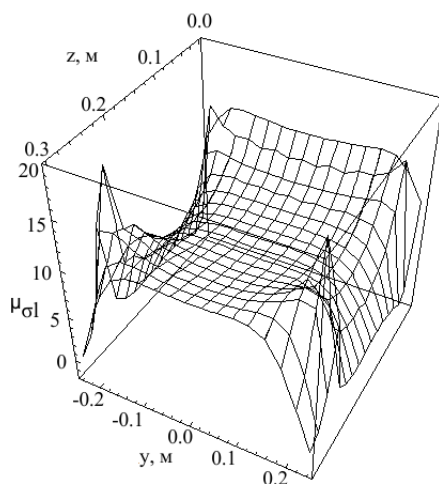


Рис. 2. Графічні залежності змін вигляду напруженого стану у ґрунті перед лемішем при

$.Vm \rightarrow 1 / .s \rightarrow 0.2 / .a \rightarrow 0.2 / .b \rightarrow 1.5 / .c \rightarrow 0.951 / .s \rightarrow 0.2$
 $/ .\phi \rightarrow 0.25 / .\kappa \rightarrow 1.5 / .d \rightarrow -0.15 / .bl \rightarrow 0.15 / .h \rightarrow 0.25$
 $/ .\delta \rightarrow 0.0005$

У системі символічних перетворень Mathematica отримано розгорнутий вигляд виразів та їх графічний розв'язок (рис. 2), який є підставою для аналізу впливу параметрів і режимів роботи лемішної частини робочого органа на умови змін властивостей ґрунту

під його дією.

Для наглядного представлення впливу параметрів лемішної частини робочого органа на напрям змін властивостей ґрунту отримано контурні графіки ізоліній величин впливу напруженого стану ґрунту за умови дії на нього лемішу з різними формоутворювальними параметрами (рис. 3).

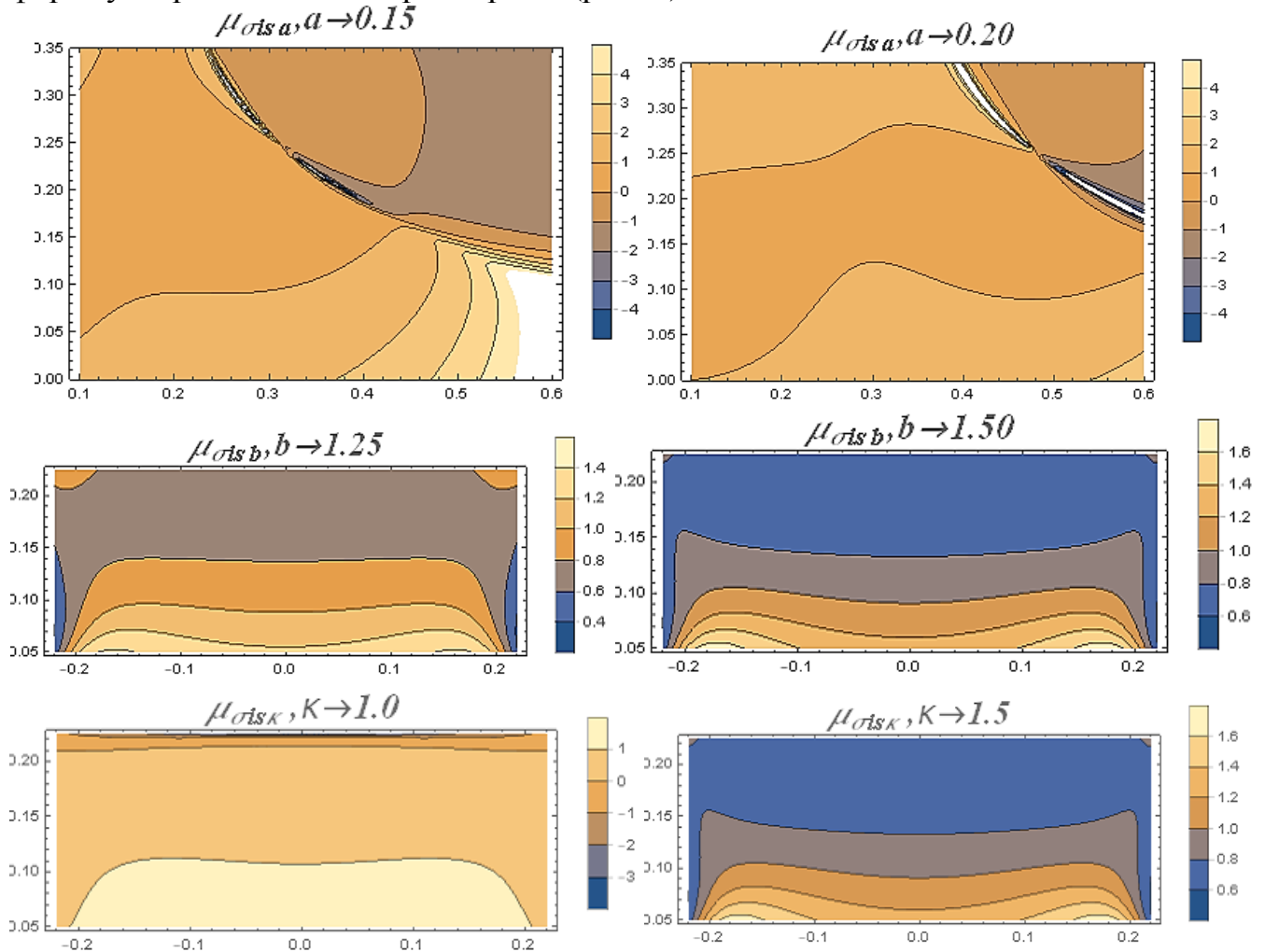


Рис. 3. Графічні залежності змін вигляду напруженого стану у ґрунті перед лемішем при зміні параметру a , b , k , (вертикальна вісь – z , горизонтальна – x), при $\nu \rightarrow 0.37 / \rho \rightarrow 1400 / E \rightarrow 10^7 / \eta_1 \rightarrow 5 \cdot 10^3 / L \rightarrow 1 / V_m \rightarrow 1 / s \rightarrow 0.2 / \phi \rightarrow 0.25 / c \rightarrow 0.951 / d \rightarrow -0.15 / bl \rightarrow 0.15 / h \rightarrow 0.25 / \delta \rightarrow 0.0005$

Аналіз впливу формоутворюючих параметрів поверхні лемеша робочого органа на величину критерію напруженого стану дозволив зробити такі висновки: 1) найбільшій зоні розпушення ґрунту можна досягти при величині формоутворювального параметру $a \approx 0.2$; 2) раціональне значення формоутворювального параметру b знаходиться в межах від 1.50 до 1.75, але оскільки цей параметр визначає кривизну леміша в напрямку поперечному до напрямку руху, то подальше його збільшення зменшить висоту «боковин» підкопувального робочого органа, а зменшення – призведе до зростання ущільнення ґрунту в зонах «боковин»; 3) формоутворювальний параметр c визначає позовжній кут нахилу поверхні. При його збільшенні зростає кут входження леміша у ґрунт,

при цьому зменшується величина критерію виду напруженого стану, а його зменшення призводить до зростання довжини леміша з метою забезпечення необхідної глибини ходу, забезпечуючи при цьому більшу область розпушення. Виходячи з цих міркувань, параметр $c=0.95$ може вважатися раціональним; 4) величина формоутворювального параметру ϕ повинна знаходитись в межах $\phi=0.25$, оскільки його зменшення хоч і впливає позитивно на збільшення зони розпушення, але при цьому не забезпечується необхідна глибина ходу робочого органа, а збільшення цієї величини веде до переущільнення ґрунту; 5) раціональне значення параметру κ становить $\kappa=1.5$ (рис. 3).

Параметри лемішної частини підкопувально-сепарувального робочого органа впливають на витрати енергії при виконанні процесу викопування бульб. Відомо, що основним чинником витрати енергії є опір переміщенню робочого органа при виконанні технологічного процесу.

Складові сил опору ґрунту переміщенню лемішної частини робочого органа діють на його поверхню в трьох взаємно перпендикулярних напрямках:

$$\begin{aligned} F_{xli} &= \int_0^h \int_{-b_l}^{b_l} (\sigma_{xl} l_l + \tau_{xyl} m_l + \tau_{xzl} n_l) d\eta d\zeta; \\ F_{yli} &= \int_0^h \int_{-L_l}^0 (\tau_{xyl} l_l + \sigma_{yl} m_l + \tau_{yzl} n_l) d\xi d\zeta; \\ F_{zli} &= \int_0^h \int_{-L_l}^0 (\tau_{xyl} l_l + \tau_{yzl} m_l + \sigma_{yl} n_l) d\xi d\zeta, \end{aligned} \quad (3)$$

де $l_l \rightarrow \frac{\frac{\partial f_l}{\partial \xi}}{\sqrt{(\frac{\partial f_l}{\partial \xi})^2 + (\frac{\partial f_l}{\partial \eta})^2 + (\frac{\partial f_l}{\partial \zeta})^2}}$, $m_l \rightarrow \frac{\frac{\partial f_l}{\partial \eta}}{\sqrt{(\frac{\partial f_l}{\partial \xi})^2 + (\frac{\partial f_l}{\partial \eta})^2 + (\frac{\partial f_l}{\partial \zeta})^2}}$, $n_l \rightarrow \frac{\frac{\partial f_l}{\partial \zeta}}{\sqrt{(\frac{\partial f_l}{\partial \xi})^2 + (\frac{\partial f_l}{\partial \eta})^2 + (\frac{\partial f_l}{\partial \zeta})^2}}$; f_l – рівняння поверхні леміша та поверхні, в якій розміщені сепарувальні прутки; h – глибина ходу робочого органа, м; b_l – напівширина робочого органа, м; L_l – довжина дуги поперечного перетину поверхні, м.

Для визначення сумарної сили опору руху, необхідно врахувати складову сили опору у напрямку руху (вісь ox) та зовнішнє тертя на поверхні робочого органа:

$$F_{xl} = F_{xli} + \sqrt{F_{xli}^2 + F_{yli}^2 + F_{zli}^2} tg[\psi], \quad (4)$$

де $tg[\psi]$ – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту по матеріалу робочого органа.

Виконавши розрахунки за залежностями (3) та (4) в програмі Mathematica отримали графічні залежності змін тягового опору F_{xl} за різних формоутворювальних параметрів. На рис. 4 подано графічні залежності $F_{xl} = f(a, b)$. На основі отриманих графічних залежностей встановлено, що мінімуму тягового опору можна досягти при використанні робочого органа з формоутворювальними параметрами поверхні: $c \rightarrow 0.95$, $\phi \rightarrow 0.25$, $a \rightarrow 0.20$, $b \rightarrow 1.50$, $\kappa \rightarrow 1.50$. Такі значення формоутворювальних параметрів збігаються зі значеннями, обґрунтованими вище, як такі, що забезпечують ефективне розпушення ґрунту.

Аналітичне дослідження взаємодії сепарувальної поверхні з ґрунтом виконувалось із застосуванням методики аналізу напружено-деформованого стану, що є аналогічною тій, що застосовувалась до дослідження взаємодії лемішної частини з середовищем.

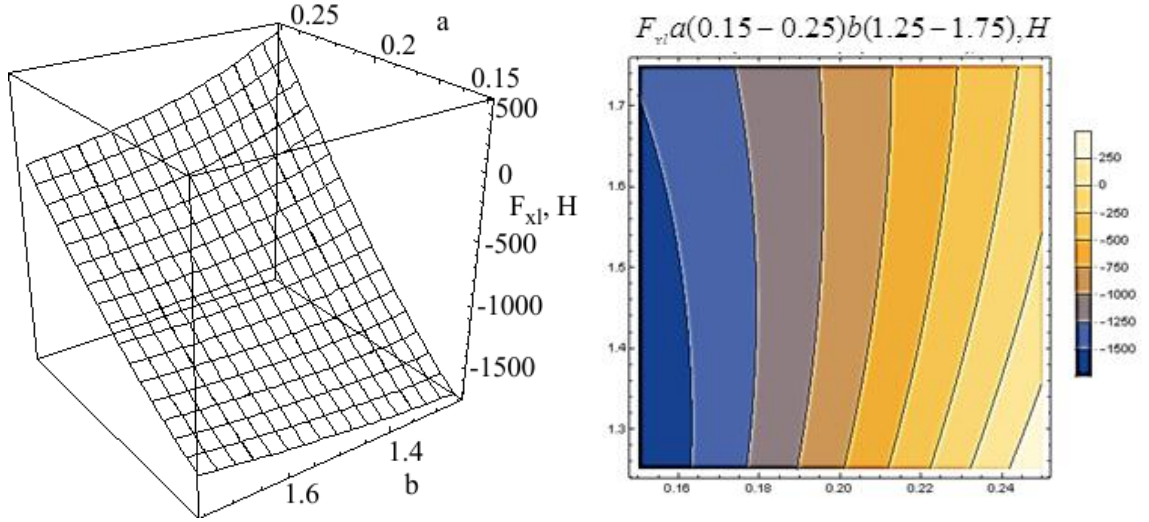


Рис. 4. Графічні залежності змін тягового опору F_{xl} при різних формоутворювальних параметрах поверхні леміша підкопувального робочого органа c, a, b, ϕ, κ

Кількість прутків, що належать сепарувальній поверхні, визначена з довжини дуги її поперечного перетину, яка визначається як криволінійний інтеграл.

$$L_p \rightarrow \int_{-b_p/2}^{b_c/2} \sqrt{1 + \left(\frac{df_p}{db_p} \right)^2} db_p = \int_{-b_p/2}^{b_c/2} \sqrt{1 + \left(\frac{d}{db_p} \left(d + c \left(\frac{(s)^2}{a} - \frac{(k(\chi + b_p^{n_{pp}}))}{b^2} \right) \right) \right)^2} db_p =$$

$$= \frac{1}{2n_{pp}^2} \left(\begin{aligned} & 2n_{pp}(b_p^{n_{pp}} + \chi) \sqrt{\frac{b^2 + 4c^2 n_{pp}^2 k^4 (b_p^{n_{pp}} + \chi)^2}{b^2}} + \\ & b \arcsin h \left[\frac{2cn_{pp}k^2 (b_p^{n_{pp}} + \chi)}{b} \right] \\ & + \frac{\quad}{ck^2} \end{aligned} \right), \quad (5)$$

де b_c – ширина сепарувальної поверхні; χ – величина поперечного перетину прутка; b_p – відстань між прутками у поперечному напрямку; n_{pp} – порядковий номер прутка.

З іншого боку, довжина дуги поперечного перетину сепарувальної поверхні може бути виражена шляхом використання в криволінійному інтегралі рівняння поверхні, в якій лежать прутки:

$$L_l \rightarrow 2 \int_0^{b_c/2} \sqrt{1 + \left(\frac{d}{d\eta} \left(d + c \left(-\frac{(\kappa\eta)^2}{b} \right) \right) \right)^2} d\eta = b_c \sqrt{1 + \frac{4b_c^2 c^2 \kappa^4}{b^2}} + \frac{b \arcsin h \left[\frac{2b_c c \kappa^2}{b} \right]}{2c\kappa^2}. \quad (6)$$

Наведений інтеграл має односторонній вигляд внаслідок симетрії поверхні відносно осі on . Знаючи значення формоутворювальних параметрів поверхні, в якій лежать прутки, та її ширину b_c , можна обчислити довжину кривої поперечного перетину поверхні. Враховуючи те, що b_p – відстань між серединами прутків, то їх кількість на поверхні сепарування визначаємо як $n_{pp} = L_l / b_p$.

З метою аналізу спільного впливу сепарувальних прутків на зміну напружень у середовищі, використаємо метод суперпозиції, оскільки дія кожного з прутків є дискретною по відношенню до простору, в якому аналізуються напруження. Тому вигляд компонент напружень від дії декількох прутків може бути представлений виразами:

$$\begin{aligned} s\sigma_{xp} &= \sum_{n_{pp}=1}^{n_{pp}} \sigma_{xp}; s\sigma_{yp} = \sum_{n_{pp}=1}^{n_{pp}} \sigma_{yp}; s\sigma_{zp} = \sum_{n_{pp}=1}^{n_{pp}} \sigma_{zp}; \\ s\tau_{xyp} &= \sum_{n_{pp}=1}^{n_{pp}} \tau_{xyp}; s\tau_{xzp} = \sum_{n_{pp}=1}^{n_{pp}} \tau_{xzp}; s\tau_{yzp} = \sum_{n_{pp}=1}^{n_{pp}} \tau_{yzp}. \end{aligned} \quad (7)$$

Деякі з графічних зображень спільної дії прутків на зміну компонент напружень наведено на рис. 5.

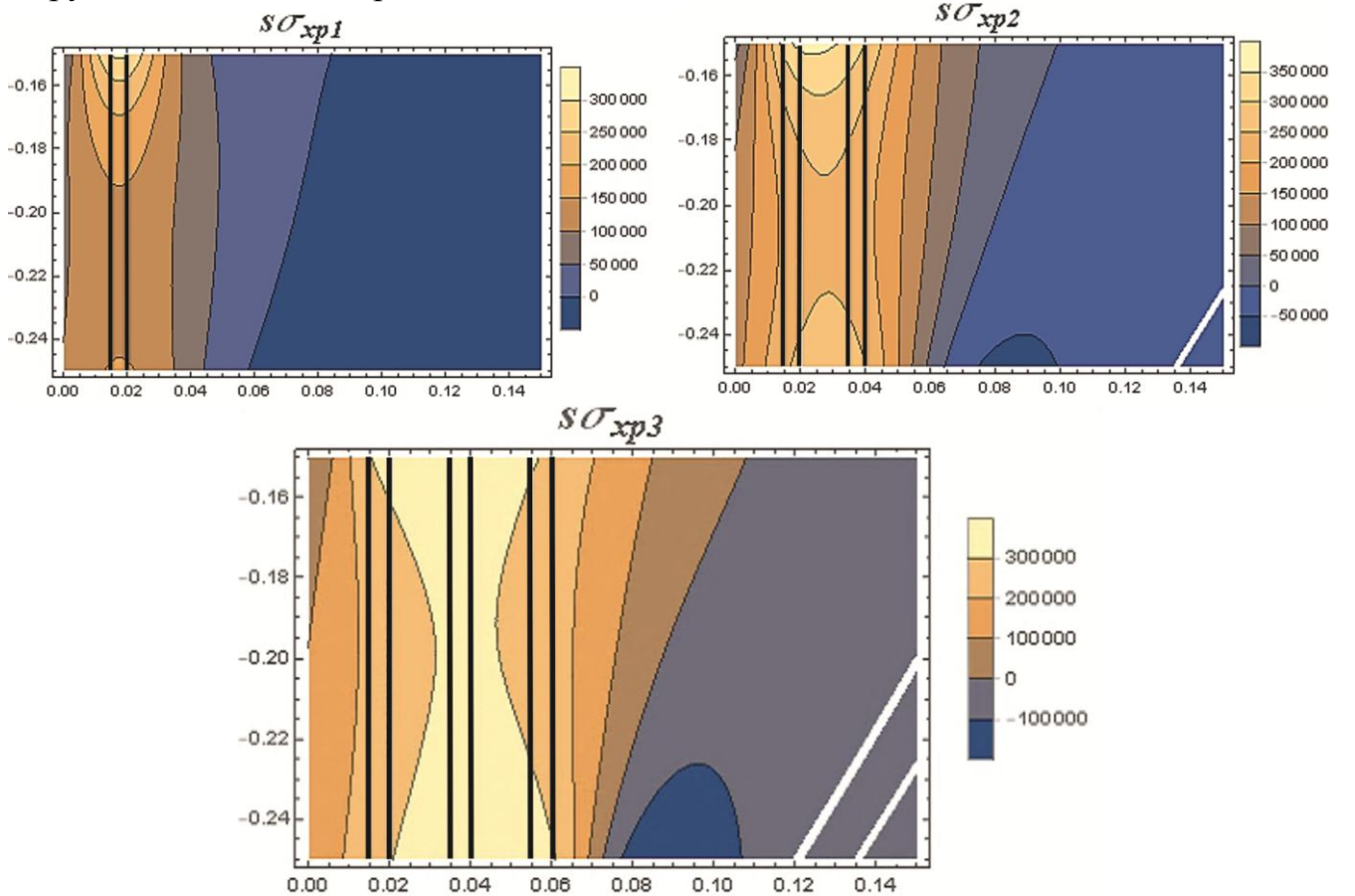


Рис. 5. Контури зміни суми компоненти нормальних напружень $s\sigma_{xp}$ від дії прутків

$$n_{pp} = (1, 2, 3) b_p = 0.02, V_m = 1 \text{ м/с}$$

Із аналізу отриманих залежностей можна зробити висновок, що зони абсолютних значень компонент напружень зростають із збільшенням кількості прутків.

Аналогічно до наведеного вище аналізу напруженого стану середовища від дії леміша можна застосувати критерій вигляду напруженого стану від дії декількох прутків сепарувальної поверхні. При цьому в критерії застосовуються сумарні величини компонент напружень від дії декількох прутків.

Такий вираз має вигляд:

$$\mu_{s\sigma_p} = \frac{\sqrt{3}(s\sigma_{xp} + s\sigma_{yp} + s\sigma_{zp})}{2\sqrt{s\tau_{xyp}^2 + s\tau_{xzp}^2 + s\tau_{yzp}^2}}. \quad (8)$$

Графічно ця залежність відображена на рис. 6.

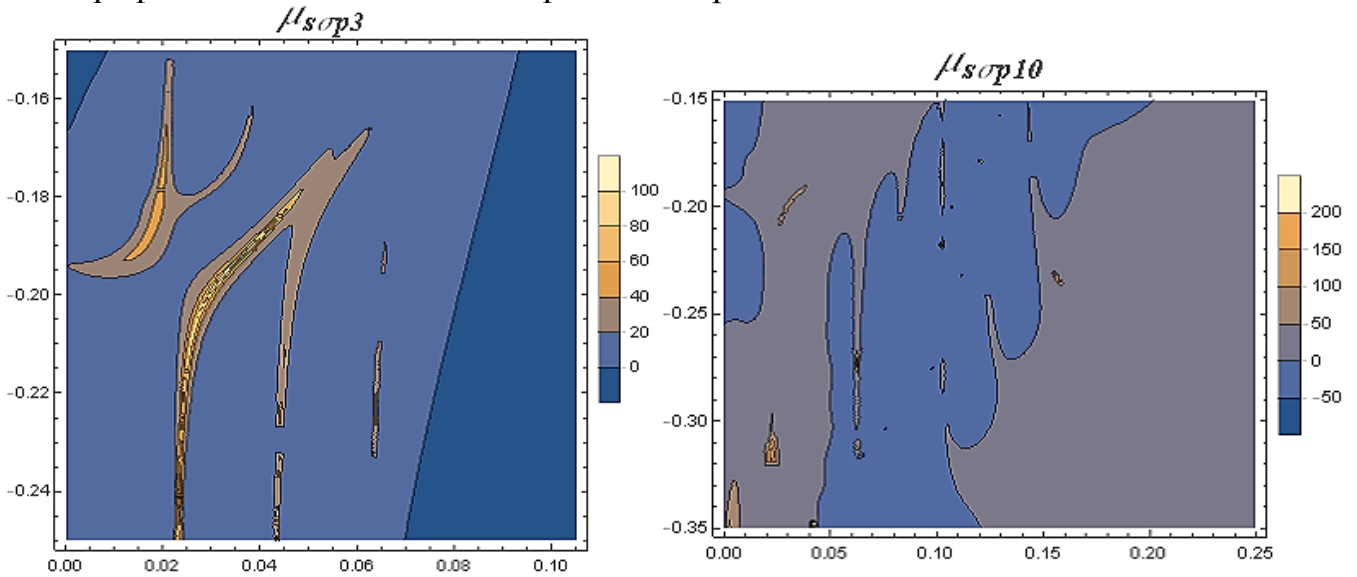


Рис. 6. Контури зміни вигляду напруженого стану ґрунту з бульбами $\mu_{s\sigma_p}$ від дії

$3 n_{pp} = (1 \div 3)$ та $10 n_{pp} = (1 \div 10)$ прутків сепарувальної поверхні, $b_p = 0.02$,

$$V_m = 1 \text{ м / с}$$

Як бачимо, при збільшенні зони сепарувальної поверхні умови для покращення сепарації стають більш сприятливими. Збільшення зон із значенням критерію вигляду напруженого стану, що наближається до нуля, свідчить про те, що в даних зонах переважно проявляються деформації зсуву. Матеріал при цьому розпушується та руйнується.

Оскільки сепарувальна поверхня є продовженням лемішної поверхні, то параметри, які характеризують її геометричну форму, залишаються незмінними. З урахуванням цього, єдиними змінними величинами сепарувальної поверхні залишаються геометричний розмір прутка χ та відстань між прутками на поверхні b_p . Графічно вплив цих параметрів на прикладі трьох прутків поверхні наведений на рис. 8.

Аналіз отриманих контурних графіків виявив, що збільшення геометричних розмірів перетину прутка χ при постійній відстані між прутками b_p призводить до

збільшення зони ущільнення, що небажано для умов сепарації. Разом із тим, збільшення b_p покращує умови розпушення.

Було проаналізовано сили опору, які виникають на сепарувальній поверхні. Загальний опір переміщенню маси ґрунту з бульбами по сепарувальній поверхні:

$$F_{xp} = F_{xpi} + \left(\sqrt{F_{xpi}^2 + F_{ypi}^2 + F_{zpi}^2} \right) \operatorname{tg}[\psi]. \quad (9)$$

Аналіз графічних залежностей та контурів ізоліній зміни повного опору переміщенню ґрунту з бульбами по сепарувальній поверхні дозволив встановити раціональну кількість прутків ($n_{pp} = 13$).

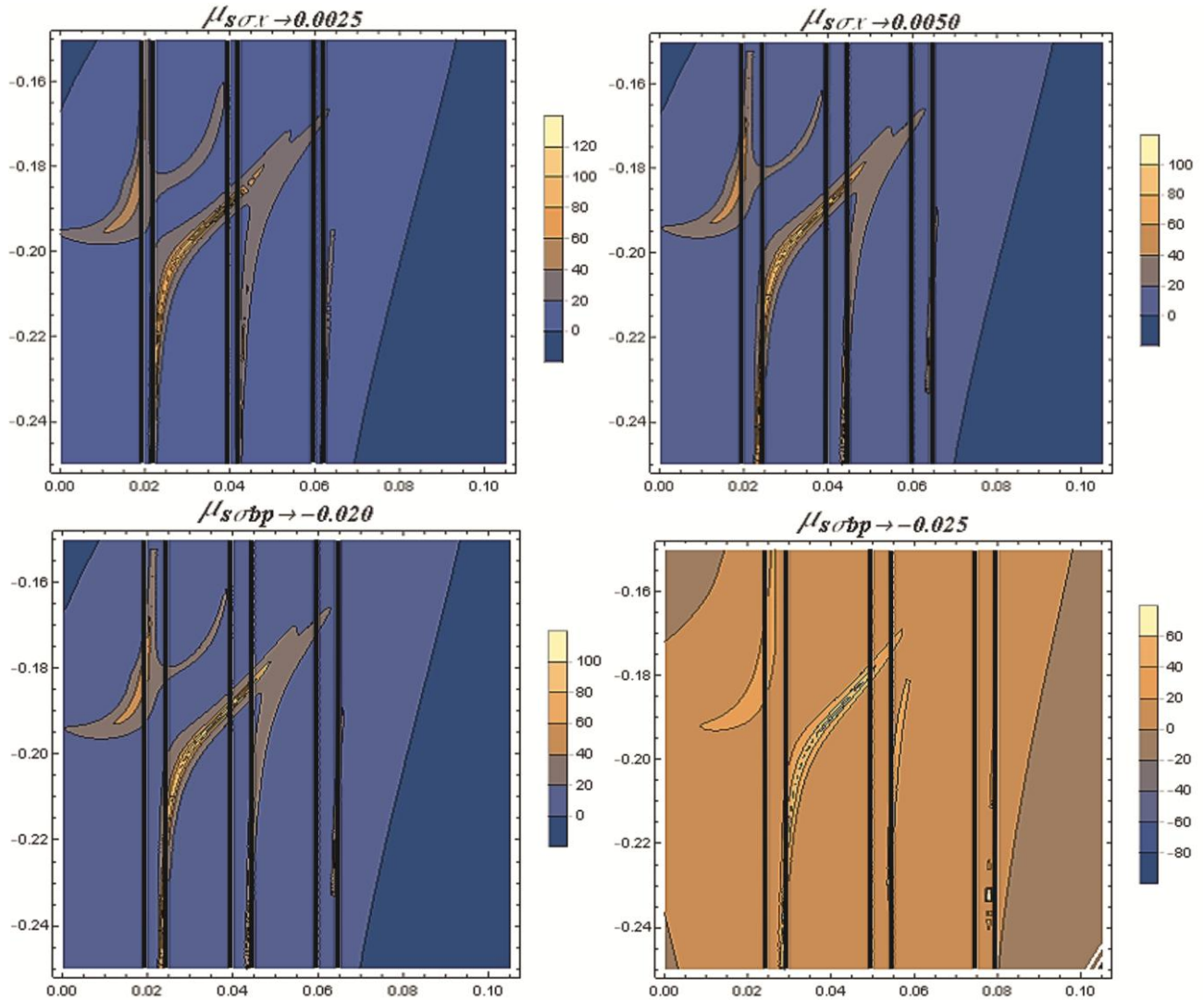


Рис. 8. Конттури зміни вигляду напруженого стану ґрунту з бульбами $\mu_{s\sigma_p}$ та $\mu_{s\sigma_{bp}}$ від дії 3 прутків сепарувальної поверхні при зміні величини геометричного перетину прутка $\chi = \{0.0025, 0.0050\}$ та відстані між прутками $b_p = \{0.020, 0.025\}$ при $n_{pp} = 3$,

$$V_m = 1 \text{ м/с}$$

У третьому розділі «Програма та методика проведення експериментальних досліджень» наведено програму експериментальних досліджень, викладено методики їхнього проведення, наведено опис обладнання.

Програма експериментальних досліджень передбачала: визначення коефіцієнтів тертя для пар тертя «бульба – сталь» з метою встановлення закономірностей впливу

маси бульб картоплі та степені їх забруднення на величини коефіцієнтів тертя, а також для виконання необхідних теоретичних розрахунків; визначення величини тягового опору робочого органа та встановлення впливу швидкості руху та вологості ґрунту на якість його сепарування; дослідження тягового опору робочого органа; оцінювання сепарувальної здатності робочого органа.

Для проведення досліджень фрикційних властивостей бульб використано стандартне (похилий маятник) та виготовлене лабораторне обладнання для визначення коефіцієнтів тертя. Дослідження впливу зміни формоутворювальних параметрів робочого органа на величину тягового опору виконували на ґрунтовому каналі (рис. 9). З цією метою було виготовлено три моделі робочого органа з різними формоутворювальними параметрами. Робочий орган попередньо моделювали в 3D за умови підстановки формоутворюючих параметрів в рівняння (1) лемішної та сепарувальної частин робочого органа. В ході моделювання визначено конструктивні параметри робочого органа, які було використано для його виготовлення.



Рис. 9. Загальний вигляд ґрунтового каналу

Вплив відстані між прутками, величини їхнього геометричного перерізу та швидкості переміщення робочого органа на тяговий опір досліджували методом математичного планування експерименту.

Сепарувальну здатність робочого органа оцінювали за умови зміни швидкості руху робочого органа на ґрунтовому каналу. При цьому на візку додатково закріплювали вісь із рулоном плівки для оцінювання кількості ґрунту, який не просіявся крізь отвори сепарувальної поверхні.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» викладено та проаналізовано результати експериментальних досліджень.

Дослідження коефіцієнтів тертя бульб різної маси по сталевій поверхні, зокрема бульб із налиплим ґрунтом виконано з метою використання отриманих даних в ході теоретичних розрахунків і обґрунтуванні раціональних параметрів

запропонованого робочого органа. Гістограма розподілу коефіцієнту тертя руху, залежно від стану забруднення бульб подана на рис. 10.

Встановлено, що забрудненість поверхні бульб ґрунтом в середньому на 35-40% , призводить до зростання коефіцієнту тертя кочення приблизно на 28%.

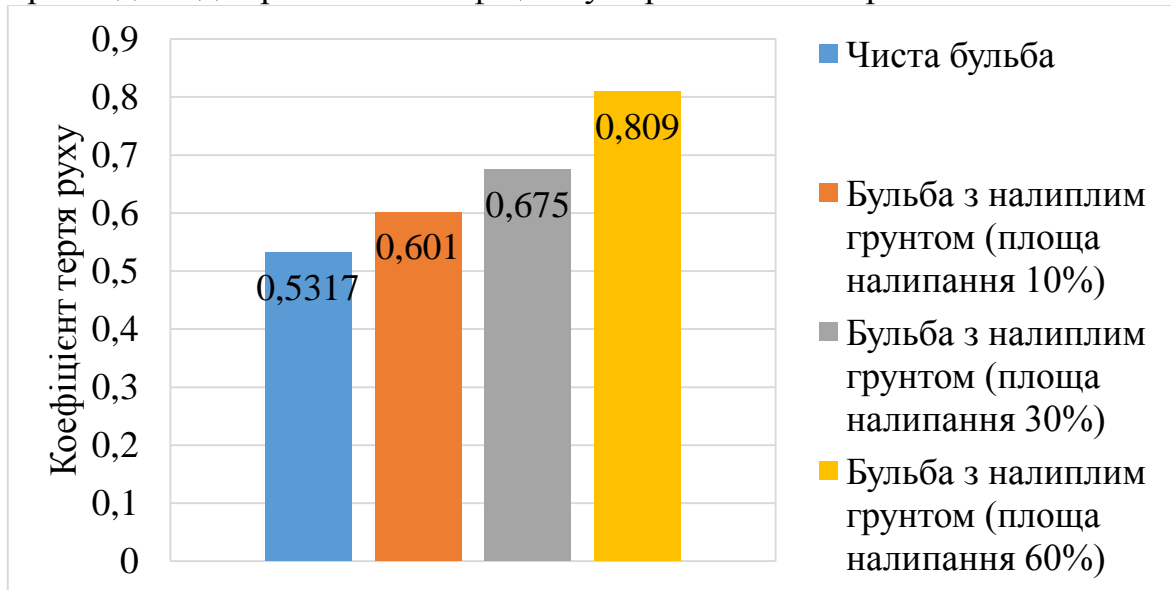


Рис. 10. Гістограма розподілу коефіцієнтів тертя руху залежно від стану забруднення бульб

У ході дослідження тягового опору встановлено, що мінімальне значення тягового опору досягається за умови використання робочого органа з формоутворювальними параметрами: $c = 0.95$, $b = 1.5$, $\phi = 0.25$, що підтверджує результати теоретичних досліджень. Середнє значення тягового опору становить 3425Н.

Робочий орган виготовлено за умови підстановки даних формоутворювальних параметрів у рівняння, що описують його поверхню, які є раціональними: довжина підкопувального робочого органа – 37 см; довжина підкопувальної частини – 20 см; довжина сепарувальної частини – 17 см; довжина сепарувальної частини з отворами – 10 см; ширина підкопувального робочого органа – 30 см; кількість прутків – 13; відстань між осями прутків – 2,5 см; розмір геометричного перерізу прутка – 0,25 см; товщина металу, з якого виготовлений підкопувальний робочий орган, – 5 мм; позовжній кут нахилу поверхні – 14°.

Вплив відстані між осями прутків X_1 , їхнього геометричного перерізу X_2 та швидкості руху машини X_3 на показник тягового опору досліджували методом математичного планування експерименту. Отримано модель, яка розкриває вплив окремих параметрів на величину тягового опору:

$$Y = 596.64 \cdot X_3 - 72713.64 \cdot X_2 - 65943.94 \cdot X_1 + 6.55 \cdot X_1 \cdot X_2 - 6806.06 \cdot X_1 \cdot X_3 - 79503.03 \cdot X_2 \cdot X_3 + 2.75 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 + 4023.2 \quad (12)$$

На рис. 11 подано поверхні відгуку, побудовані за рівнянням (12).

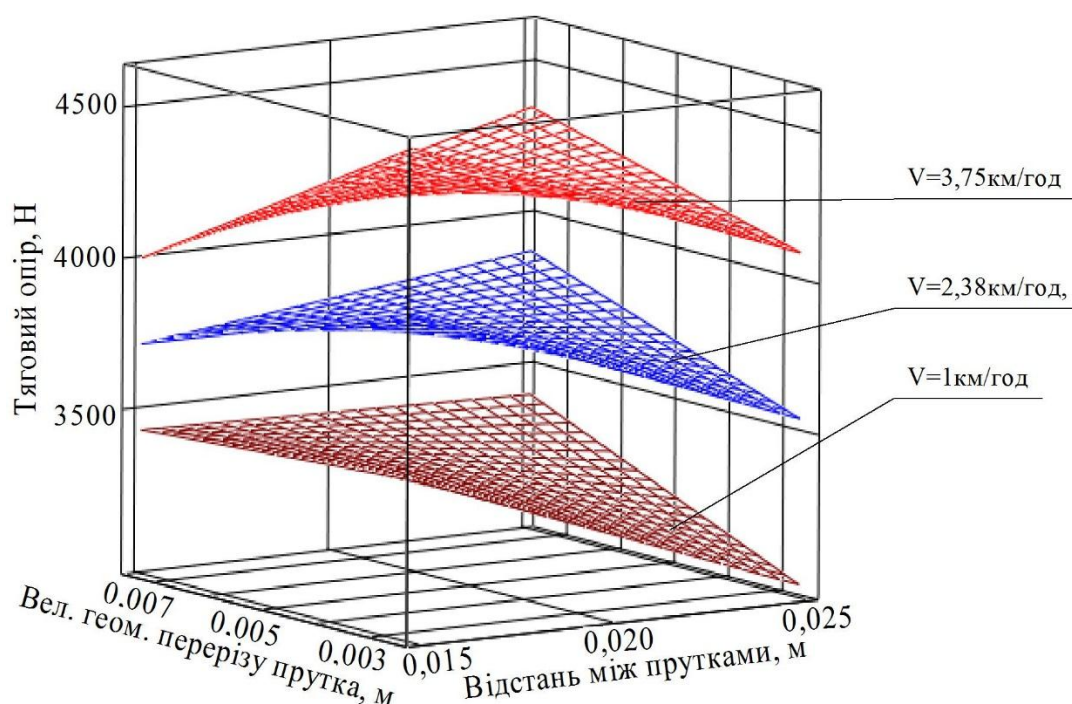


Рис. 11. Поверхня відгуку зміни тягового опору від відстані між осями прутків, величини розміру геометричного перерізу прутків та швидкості руху

За результатами дослідження рекомендовано: ширина прутків – 0,25 см, відстань між прутками – 2,5 см.



Рис. 12. Фото підкопувально-сепарувального робочого органа з рулоном плівки

Дослідженням сепарувальної здатності робочого органа (рис. 12) встановлено значний вплив на сепарацію ґрунту при його проходженні по сепарувальній частині робочого органа, швидкості його переміщення та вологості ґрунту (коефіцієнт кореляції >0.7). За результатами дослідів надано рекомендації щодо застосування робочого органа, а саме: рекомендовано застосування на ґрунті, вологість якого не перевищує 20% при швидкості руху машини 1,0-2,0 км/год.

У п'ятому розділі «Результати польових досліджень удосконаленого підкопувально-сепарувального робочого органа картоплезбиральної машини та розрахунок економічної ефективності» викладено результати польових досліджень робочого органа

картоплезбиральної машини, які виконувались на полях Інституту господарства Західного полісся Національної академії аграрних наук України та Волинської сільськогосподарської дослідної станції Національної академії аграрних наук України. Дослідження проводилися з урахуванням вимог ДСТУ 7794:2015. Процес збирання оцінювали такими показниками: втрати бульб, пошкодженість бульб, продуктивність.

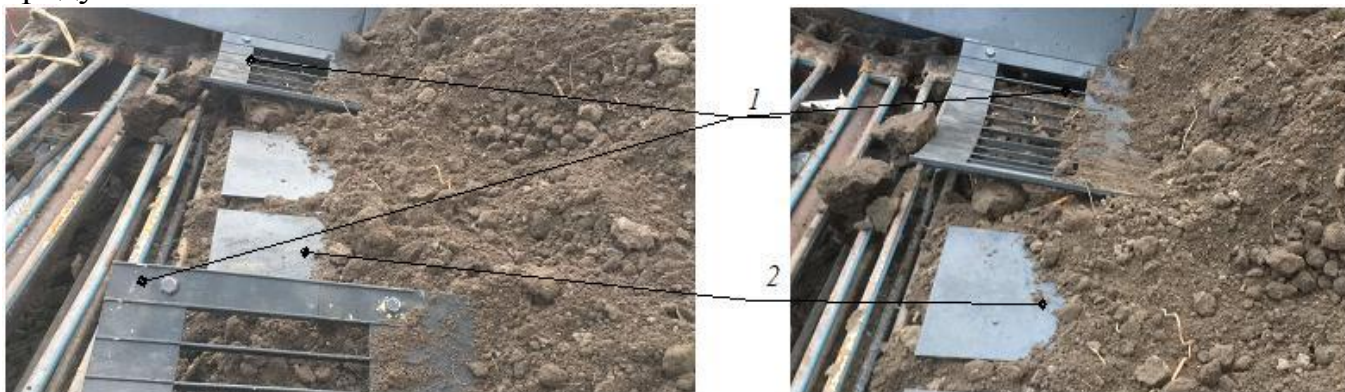


Рис. 13. Удосконалений підкопувально-сепарувальний робочий орган:
1 – підкопувально-сепарувальний робочий орган; 2 – вставні секції

Спосіб висадки бульб – гребневий, вологість ґрунту знаходилась в межах 14-16%, максимальна глибина залягання бульб досягала 18 см. Досліджуваний підкопувально-сепарувальний робочий орган встановлювали на картоплекопачки КТН-В та Agromet Z609/2. У ході польових досліджень встановлено, що продуктивність зросла в середньому на 6,3% за рахунок зменшення згруджування ґрунту на робочому органі, що дало можливість зменшити число зупинок картоплекопачки (рис. 14). Інші показники роботи наведено в табл. 1.

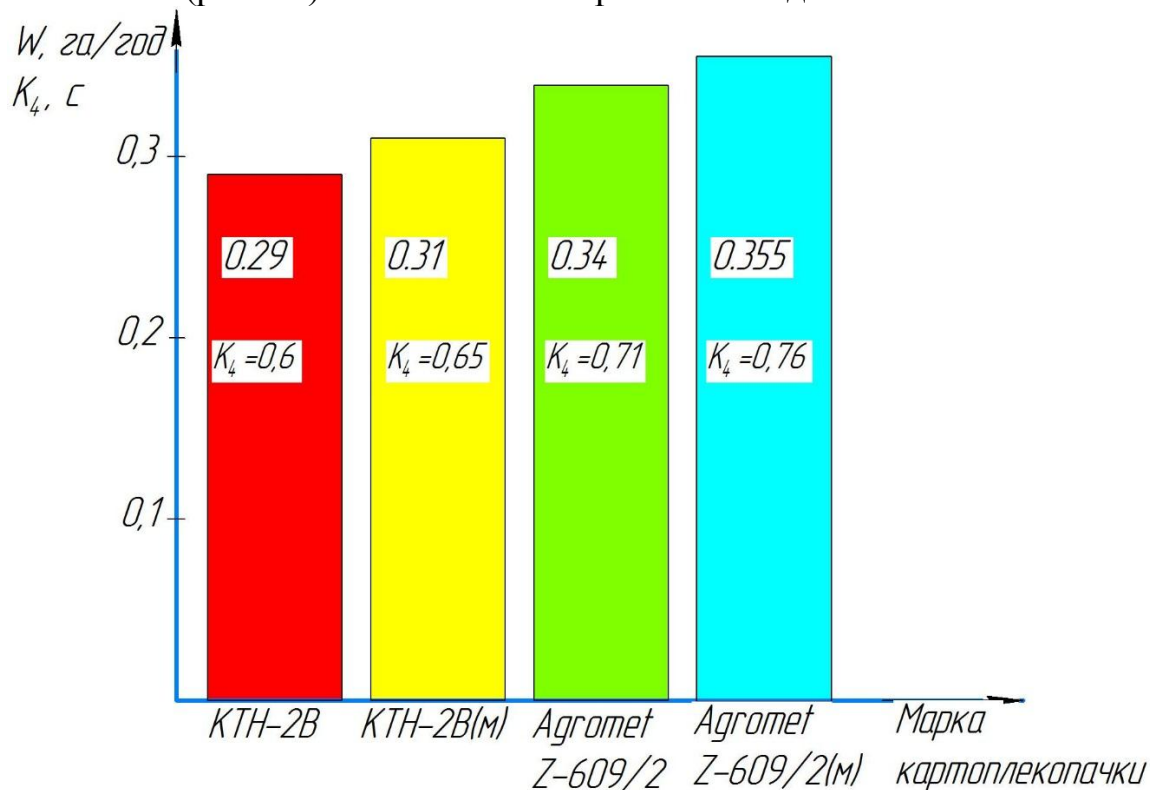


Рис. 14. Продуктивність картоплекопалок

Таблиця 1

Експериментальні показники роботи картоплекопачів

Показник	Картоплекопачка Agromet Z609/2		Картоплекопачка КТН-2В	
	Базова	З експериментальним робочим органом	Базова	З експериментальним робочим органом
Швидкість руху, км/год	2,5	2,5	2,5/1,8	2,5/1,8
Повнота викопування, %	96,0	98,0	96,9/97,2	98,6/98,8
Бульби не викопані, %	4,0	2,0	3,1/2,8	1,4/1,2
Пошкодженість бульб, %	1,6	1,4	1,7/1,8	1,4/1,28

Результати розрахунку економічної ефективності підтверджують доцільність використання запропонованого робочого органа, при цьому річний економічний ефект становить 93578 грн, або ж 20818,24 грн/га за цінами 2019 р.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено завдання підвищення ефективності процесу викопування бульб картоплі шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування параметрів підкопувально-сепарувального робочого органа.

1. Аналіз конструкцій підкопувальних робочих органів бульбозбиральних машин виявив ряд недоліків, а саме: втрати бульб під час проходження бульбоносної маси по поверхні леміша та транспортера; пошкодження бульб під час підкопування; згруджування ґрунту на підкопувальних робочих органах; значна металоємкість конструкцій підкопувальних робочих органів.

2. Для теоретичного аналізу процесу взаємодії запропонованого підкопувально-сепарувального робочого органа з ґрунтом розроблено математичні моделі, які розкривають закономірності впливу параметрів і режимів лемішної та сепарувальної частини робочого органа на зміну динамічних характеристик ґрунтового середовища та встановлюють умови забезпечення найбільшого розпушення ґрунту. Отримано значення компонент напружень в аналітичному вигляді, які дозволяють прогнозувати зміни щільності ґрунту та можливі порушення його суцільності, що важливо для подальшого його просіювання через сепарувальну поверхню.

3. Запропоновано рівняння поверхні леміша та поверхні, в якій розміщено сепарувальні прутки, яке записано у вигляді гіперболічного параболоїду у неявному вигляді. Обґрунтовано раціональні значення формоутворювальних параметрів, які

входять у рівняння та характеризують форму, розташування, параметри кривизни поверхні лемішної частини, яка в подальшому переходить в пруткову сепарувальну частину:

- формоутворювальний параметр поверхні $a \approx 0.2$, що забезпечує найбільшу зону розпушення ґрунту;
- формоутворювальний параметр $b = 1.50 - 1.75$, що визначає кривизну леміша в поперечному до напрямку руху, то подальше його збільшення зменшить висоту «стінок» підкопувального робочого органа, а зменшення – призведе до зростання ущільнення в зонах «стінок»;
- формоутворювальний параметр $c = 0.95$ – забезпечує потрібну глибину входження леміша у ґрунт без значного зростання його довжини;
- формоутворювальні параметри $\kappa = 1.5$ і $\phi = 0.25$, які впливають позитивно на збільшення зони розпушення та унеможливають переущільнення ґрунту.

4. Аналіз залежностей опору ґрунту з бульбами, що знаходиться на сепарувальній поверхні свідчить про те, що збільшення величини геометричного розміру перетину прутків χ призводить до суттєвого зростання опору середовища. При цьому збільшення відстані між осями прутків b_p має несуттєвий вплив на зміну опору переміщенню при малих значеннях χ , але цей опір суттєво зростає при збільшенні χ . Отже, найбільш раціональними значеннями відстані між осями прутків b_p , а величини геометричного розміру перетину прутків $\chi \in 0,025$ м та $0,0025$ м відповідно; кількість сепарувальних прутків – 13.

5. Застосування запропонованого підкопувально-сепарувального робочого органа забезпечує:

- зменшення кількості невикопаних бульб на 2,0% при швидкості 2,5 км/год та при зменшенні швидкості руху агрегату до 1,8 км/год – 1,6%;
- зменшення пошкодження бульб з 1,6 до 1,4% (картоплекопачка Agromet Z609/2) і з 1,7% до 1,4% (картоплекопачка КТН-2В при робочій швидкості 2,5 км/год) та з 1,0% до 1,28% (картоплекопачка КТН-2В при робочій швидкості 1,8 км/год);

6. Результати польових досліджень показали підвищення продуктивності машини до 8% та до 4.5% при проведенні польових випробувань, відповідно, на полях Інституту господарства Західного полісся Національної академії аграрних наук України та Волинської сільськогосподарської дослідної станції Національної академії аграрних наук України.

7. Річний економічний ефект від експлуатації картоплекопачки з удосконаленим підкопувальним робочим органом становить 93561 грн за цінами 2019 року.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Налобіна О. О., Шимко А. В. Аналіз розвитку галузі картоплярства та огляд картоплезбиральної техніки. *Сільськогосподарські машини* : зб. наук. ст. Луцьк : ЛНТУ, 2015. Вип. № 31. С.106–113.

2. **Шимко А. В.** Удосконалення підкопуючих робочих органів корнеклубнезбиральних машин. *Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Сер. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2015. Вип. № 2(70). С. 165–171.

3. Налобіна О. О., Грушецька М. Г., **Шимко А. В.** Системний аналіз підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин. *Сільськогосподарські машини*. : зб. наук. ст. Луцьк : ЛНТУ, 2015. Вип. № 32. С. 134–138.

4. **Шимко А. В.** Дослідження коефіцієнтів тертя кочення та ковзання бульб картоплі. *Сільськогосподарські машини* : зб. наук. ст. Луцьк : ЛНТУ, 2016. Вип. № 34. С. 124–129.

5. Налобіна О. О., **Шимко А. В.** Дослідження взаємодії модернізованого підкопуючого робочого органа картоплезбиральної машини з бульбою. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету* : науково-теоретичний зб. Житомир : ЖНАУ, 2017. Вип. № 1(58). Т. 1. С. 279–283.

6. **Шимко А. В.**, Серілко Л. С. Визначення раціональної частоти обертання ротору очисного пристрою. *Сільськогосподарські машини* : зб. наук. ст. Луцьк : ЛНТУ, 2017. Вип. № 37. С. 106–111.

Наукові праці у науковому виданні іншої держави:

7. Аналіз впливу лемішної частини підкопуючого робочого органа на напрям змін властивостей ґрунту / **А. Шимко**, О. Налобіна. European Cooperation. Warszawa, 2018. Scientific Approaches and Applied Technologies. No 6 (37). P. 21–35.

Опубліковані праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. **Шимко А. В.** Картоплезбиральна техніка в Україні: стан та напрямки удосконалення. *Настоящи изследвания и развитие – 2015* : зб. тез доп. XI Міжн. наук.-практ. конф. Софія, 17-25 січня 2015 року. Софія, 2015. С. 48–51.

9. **Шимко А. В.** Регіональні особливості вирощування картоплі на Рівненщині. *Інноваційні технології в АПК* : зб. тез доп. V Всеукраїнської наук.-практ. конф., Луцьк, 19-20 травня 2015 року. Луцьк : ЛНТУ, 2015. С. 148–150.

10. **Шимко А. В.** Дослідження коефіцієнтів кочення та ковзання бульб картоплі. *Vedecky pokrok na prelomu tysyuachalety* : зб. тез доп. XII Міжн. наук.-практ. конф., Прага, 27 травня – 05 червня 2016 року. Прага, 2016. С. 68–69.

11. Налобіна О. О., **Шимко А. В.** Дослідження взаємодії валика модернізованого підкопуючого робочого органа картоплезбиральної машини з бульбою. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь* : зб. тез доп. III Всеукраїнської наук.-практ. конф., Житомир, 29-30 березня 2017 року. Житомир : ЖНАУ, 2017. С. 196–197.

12. **Шимко А. В.**, Налобіна О. О. Аналіз впливу лемішної частини підкопуючого робочого органа на зміну властивостей ґрунту. *Інженерія та технології: наука, освіта, виробництво* : зб. тез доп. Міжн. наук.-техн. конф., Луцьк, 15-16 листопада 2018 року. Луцьк : ЛНТУ, 2018. С. 277–280.

13. Налобіна О. О., **Шимко А. В.** Аналіз зміни компонентів напружень у ґрунті від дії пруткової сепарувальної поверхні робочого органа картоплезбиральної

машини. *Сучасні моделі розвитку агропромислового виробництва: виклики та перспективи* : зб. тез доп. І Всеукраїнської наук.-практ. конф., м. Глухів, 27 вересня 2018 року. Глухів : ГАТІ ім. С.А. Ковпака. С. 125–128.

14. **Шимко А.В.**, Налобіна О.О. Формалізація форми та параметрів удосконаленого підкопуючого органу картоплезбиральної машини. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем* : зб. тез доп. І міжн. наук.-техн. інтернет конф., Рівне, 21-23 травня 2019 року. Рівне : НУВГП, 2019. С. 57–59.

Патенти України на корисні моделі:

15. Налобіна О.О., **Шимко А.В.** Підкопуючий робочий орган бульбозбиральної машини : патент на корисну модель № 114596 Україна : № u201610046; заявл. 03.10.2016; опубл. 10.03.2017. Бюл. № 5. 5 с.

16. Налобіна О.О., **Шимко А.В.** Підкопуючий робочий орган картоплезбиральної машини : патент на корисну модель № 103967 Україна : № u201505929; заявл. 16.06.2015; опубл. 12.01.2016. Бюл. № 1. 3 с.

17. Налобіна О.О., **Шимко А.В.** Підкопуючий робочий орган бульбозбиральної машини : патент на корисну модель № 115204 Україна : № u201610045; заявл. 03.10.2016; опубл. 10.04.2017. Бюл. № 7. 5 с.

18. Налобіна О.О., **Шимко А.В.** Активний підкопуючий робочий орган картоплезбиральної машини : патент на корисну модель № 103214 Україна : № u201504886; заявл. 19.05.2015; опубл. 10.12.2015. Бюл. № 23. 3 с.

19. Налобіна О.О., **Шимко А.В.** Підкопуючий робочий орган бульбозбиральної машини : патент на корисну модель № 131318 Україна : № u201807674; заявл. 09.07.2018; опубл. 10.01.2019. Бюл. № 1. 4 с.

АНОТАЦІЯ

Шимко А.В. Обґрунтування параметрів підкопувально-сепарувального робочого органу картоплезбиральної машини. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2020.

У дисертації на підставі сукупності узагальнених наукових результатів вирішено задачу підвищення ефективності процесу викопування бульб картоплі шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування раціональних параметрів підкопувально-сепарувального робочого органу картоплезбиральної машини.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень обґрунтовано раціональні конструктивні параметри запропонованого підкопувально-сепарувального робочого органу, які дозволили забезпечити високу степінь розуцільнення ґрунту та зниження енергетичних витрат.

Запропонований підкопувально-сепарувальний робочий орган пройшов апробацію у Волинській державній сільськогосподарській дослідній станції НААН (сmt Рокині Луцького району, Волинської області) та Інституті сільського

господарства Західного Полісся НААН України (с. Шубків, Рівненський район, Рівненська область). Технічне рішення захищене 5 патентами на корисну модель України. Встановлення підкопувально-сепарувального робочого органа забезпечило: зменшення кількості не викопаних бульб на 2,0% при швидкості 2,5 км/год та при зменшенні швидкості руху агрегату до 1,8 км/год – 1,6%; зменшення пошкодження бульб з 1,6 до 1,4% (картоплекопачка Agromet Z609/2) і з 1,7% до 1,4% (картоплекопачка КТН-2В при робочій швидкості 2,5 км/год) та з 1,0% до 1,28% (картоплекопачка КТН-2В при робочій швидкості 1,8 км/год). Результати польових досліджень показали ріст продуктивності машини, в середньому, на 6%. Річний економічний ефект від експлуатації картоплекопачки із удосконаленим підкопувальним робочим органом становить 93561 грн за цінами 2019 року.

Ключові слова: бульба картоплі, підкопувально-сепарувальний робочий орган, збирання, ґрунт, параметри.

АННОТАЦІЯ

Шимко А.В. Обоснование параметров подкапывающе-сепарирующего рабочего органа картофелеуборочной машины. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2020.

В диссертации на основании совокупности обобщенных научных результатов решена задача повышения эффективности процесса выкапывания клубней картофеля путем совершенствования конструкции и обоснования рациональных параметров подкапывающе-сепарирующего рабочего органа картофелеуборочной машины. В первой главе проведен анализ существующих способов уборки картофеля, моделей почвы, действующих конструкций подкапывающих рабочих органов, а также обосновано направление усовершенствования рабочего органа.

Во второй главе проведен анализ процесса взаимодействия подкапывающе-сепарирующего рабочего органа с почвой, обоснованы рациональные конструктивные параметры подкапывающе-сепарирующего рабочего органа, которые позволяют обеспечить минимум тягового сопротивления и качественное сепарирование почвы через сепарирующую поверхность подкапывающе-сепарирующего рабочего органа.

В третьей главе представлена программа экспериментальных исследований, приведен перечень оборудования, приборов, разработанных опытных установок и методик проведения исследований.

В четвертой главе приведены результаты исследования влияния массы картофеля и процента его загрязнения почвой на показатели коэффициентов трения качения, покоя и движения. Установлено влияние параметров рабочего органа и скорости движения на показатель тягового сопротивления. Проведена оценка влияния влажности почвы и скорости движения на сепарирующую способность подкапывающе-сепарирующего рабочего органа.

В пятой главе, представлены результаты полевых исследований, в ходе которых установлено, что использование рабочего органа обеспечило уменьшение

количества не выкопанных клубней на 2,0% при скорости 2,5 км/ч и на 1,6% при скорости 1,8 км/ч; повреждения клубней уменьшилось с 1,6 до 1,4% (картофелекопалка Agromet Z609/2) и с 1,7% до 1,4% (КТН-2В при рабочей скорости 2,5 км/ч) и с 1,0% до 1,28% (КТН-2В при рабочей скорости 1,8 км/ч). Продуктивность процесса возросла, в среднем, на 6%. Годовой экономический эффект составил 93561 грн. по ценам 2019 года. Техническое решение защищено 5 патентами на полезную модель Украины.

Ключевые слова: клубень картофеля, подкапывающе-сепарирующий рабочий орган, уборка, почва, параметры.

ANNOTATION

Shymko A. V. Justification of the parameters of the digging and separating working body for the root potato harvester. – Manuscript copyright.

The thesis for attaining the Candidate of Science Degree in Specialty 05.05.11 – Machines and Means of Mechanization of Agricultural Production. – Ternopil Ivan Pului National Technical University, Ternopil, 2020.

The thesis is devoted to solving the problem of increasing the efficiency of the process of harvesting potatoes by improving the design and substantiating the rational parameters of the digging and separating working body of the root potato harvester, taking into account the generalized research results.

The aim of the first chapter is to conduct an analysis of the existing methods of harvesting potatoes, soil models, existing structures of the digging working bodies, as well as to substantiate the direction of their improving.

The second chapter focuses on the analysis of the process of interaction between the digging and separating working body with the soil, justification of the rational parameters of the digging and separating working body, which allow providing the minimum traction resistance and quality separation of the soil through the separating surface of the digging and separating working body.

The third chapter presents the program for the experimental research, the list of equipment, devices, the developed research facilities and research methodology.

The fourth chapter demonstrates the results of studying the influence of the potato mass and the percentage of its soiling on the coefficients of rolling, static and kinetic friction. The impact of the parameters of the working body and the travelling speed on the traction resistance index is determined. The influence of soil humidity and travelling speed on the separation capacity of the digging and separating working body is estimated.

The fifth chapter suggests the results of the field studies, during which it is found that the use of the proposed working body ensured the reduction in the number of the undug potatoes by 2.0% at the speed of 2.5 km/h and by 1.6% at the speed of 1.8 m/h; potato damage decreased from 1.6 to 1.4% (Agromet Z609 / 2) and from 1.7% to 1.4% (КТН-2В at the operating speed of 2.5 km/h) and from 1.0% to 1.28% (КТН-2В at the operating speed of 1.8 km/h). The process productivity increased on average by 6%. The annual economic effect amounted to UAH 93561 according to the prices of 2019. The technical solution was defended with 5 patents for utility models in Ukraine.

Keywords: root potato, digging and separating working body, harvesting, soil, parameters.

Підписано до друку 10.02.2020 р. Формат 60×90¹/₁₆.
Ум.-друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим.
Зам. № 5464.

*Видавець і виготовлювач
Національний університет
водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*