

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ВОЛОХА МИКОЛА ПЕТРОВИЧ**

УДК 633.63: 631.35

**МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
ВИРОЩУВАННЯ І ЗБИРАННЯ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ**

05.05.11 «Машини і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Роботу виконано в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки та Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України

**Науковий консультант** доктор технічних наук, професор  
**Дорошенко Юрій Олександрович**,  
Національний авіаційний університет,  
завідувач кафедри архітектури

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Головач Іван Володимирович**,  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України,  
професор кафедри механіки

доктор технічних наук, професор  
**Морозов Іван Васильович**,  
Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка,  
професор кафедри сільськогосподарських машин

доктор технічних наук, доцент  
**Дерев'янюк Дмитро Аксентійович**,  
Житомирський національний  
агроекологічний університет,  
професор кафедри процесів, машин і обладнання

Захист відбудеться «02» жовтня 2020 року о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.06 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано «01» вересня 2020 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

І. Л. Роговський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У світовому землеробстві буряк цукровий вирощується на площі понад 9 млн га. В Україні з площі приблизно 1,7 млн га у 1990 р. зібрали 51 млн т буряків цукрових і виробили 5,6 млн т цукру, що становило біля 15 % усього світового обсягу. Впродовж років незалежності посіви буряків цукрових катастрофічно зменшувалися, внаслідок чого були втрачені зовнішні ринки збуту бурякового цукру, одним із світових лідерів виробництва якого багато років була Україна. У 2012 р. зібрали всього 17,55 млн т буряків і виробили 2,22 млн т цукру, в 2019 році вони зібрані на площі лише 220 тис. га.

Водночас, виробництво цукру в Україні і донині є одним з провідних стратегічних напрямів розвитку економіки країни і необхідною умовою незалежності від імпортерів та коливань цін на світовому ринку. Тому цукрова промисловість потребує власної сировини та підвищення врожайності буряків цукрових, що є надважливим завданням буряківників, особливо за умов такого значного скорочення площ посівів.

Значною проблемою процесу збирання, як найбільш витратного етапу у всій технології, є забрудненість вороху коренеплодів землею, особливо при роботі машин на твердих (понад 4,0–4,5 МПа) і щільних ґрунтах та забур'яненних полях, коли кількість невикопаних коренеплодів різко зростає до 13–15 % і до 40 % коренеплодів викопуються пошкодженими. Зокрема, за даними професора В. М. Балана у 1994 р. з господарств сировинної зони Погребищенського цукрового заводу на призаводський бурякопункт було привезено понад 25 тис. т землі і зеленої маси. Дослідженням професора В. М. Барановського також встановлено, що в складних умовах збирання з полів вивозиться значна кількість родючого ґрунту. Вочевидь, постає важлива народногосподарська проблема збереження родючості ґрунтів, вирішити яку можливо шляхом первинного очищення вороху викопуваних коренеплодів безпосередньо в полі.

Іншою, не менш важливою проблемою, що виникає під час переробки цукросировини, є забрудненість вороху коренеплодів залишками гички та бур'янів, адже кожний відсоток зеленої маси на коренеплодах призводить до зниження доброякісності дифузійного соку на 0,4–0,5 % і збільшення вмісту цукру в мелясі на 0,1 %. Загалом, при тривалому заводському зберіганні (більше 60 діб) сильно пошкоджених і забруднених землею та рослинними залишками коренеплодів значно погіршуються кондиції сировини внаслідок ураження кагатною гниллю, а втрати цукру значно зростають.

Буряки цукрові серед інших просапних культур є найвимогливішими як до ґрунтово-кліматичних умов, так і до робочих органів машин, виконуючих складні технологічні процеси їх вирощування і збирання. Продуктивність виробництва буряків цукрових визначається рівнем застосовуваних механізованих технологій і досконалістю технічних засобів на всіх етапах від передпосівного обробітку ґрунту і сівби насіння весною до отримання бурякової сировини на заводі восени.

Дослідження таких складних багатопараметричних систем пов'язане з проблемою вибору найбільш інформативних ознак, розроблення системних показників і обчислювального алгоритму, максимально наближених до природніх умов функціонування робочих органів машин, і потребує сучасних методів аналізу та структурно-параметричного синтезу, що наразі є мало вивченим у порівнянні з іншими відомими методами моделювання та прийняття рішень.

Наведене вказує на актуальність і значимість досліджень, спрямованих на підвищення продуктивності виробництва буряків цукрових за рахунок вирішення поставлених завдань на основі комплексного підходу до багатокритеріального оцінювання механізованих технологічних процесів шляхом їх моделювання, зокрема агентного імітаційного.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертацію виконано згідно з науково-технічними програмами Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН «Організувати організаційно-економічні моделі застосування прогресивних технологій виробництва цукрових буряків» (номер державної реєстрації 0104U002621, 2002–2005 рр.) і державними комплексними науково-дослідними роботами Національного авіаційного університету «Модернізація методичної системи підготовки майбутніх архітекторів» (номер державної реєстрації 0114U001605, 2014–2016 рр.).

**Мета та завдання дослідження.** Мета дослідження – підвищення продуктивності виробництва буряків цукрових шляхом моделювання технологічних процесів і технічних засобів для їх вирощування і покращення якості коренеплодів за рахунок первинного їх очищення під час викопування.

Відповідно до поставленої мети передбачалося вирішення таких завдань:

- провести аналіз сучасного стану технологій вирощування і збирання буряків цукрових, визначити технологічні операції, що суттєво впливають на польову схожість насіння та показники агротехнічних вимог при їх сівбі, вирощуванні та очищенні викопуваних коренеплодів від ґрунтових і рослинних залишків;

- дослідити за техніко-економічними і агротехнічними показниками сучасні агрегати для передпосівного обробітку ґрунту; розробити геометричну модель робочої поверхні знаряддя для розпушування ґрунту;

- визначити вплив основних експлуатаційних і технологічних факторів на показники точності розміщення насіння і сходів вздовж рядка при сівбі сівалками механічного і пневматичного типу;

- розробити і опрацювати математичну модель падіння відокремленої від висіваючого диска насінини при роботі висівного апарата пневматичного типу;

- визначити засадничі умови і особливості побудови імітаційних моделей механізованих технологічних процесів вирощування буряків на основі аналізу систем управління складними технологічними процесами;

- розробити методи моделювання складних технологічних процесів вирощування буряків цукрових та створити алгоритм розв'язання

оптимізаційної багатокритеріальної задачі забезпечення максимальної польової схожості насіння;

- провести комплексне оцінювання одержаних значень показників імітаційного моделювання;

- на базі дискового копача розробити геометричні моделі робочих поверхонь шнеків-транспортерів з метою удосконалення процесу первинного очищення коренеплодів від грудок землі та рослинних решток, особливо за умов роботи на ґрунтах підвищеної твердості, і провести їх експериментальні дослідження;

- розширити класифікацію робочих органів сучасних збиральних машин за ознакою можливості їх застосування при звужених міжряддях;

- розробити зразки машин для реалізації і впровадження у виробництво нового способу виробництва буряків цукрових з комбінованими міжряддями; обґрунтувати раціональну схему розміщення рослин за комбінованої ширини міжрядь;

- визначити економічну ефективність результатів досліджень на тлі оцінки варіантів технологій з використанням вітчизняних і зарубіжних машин.

*Об'єкт дослідження* – технологічні процеси і технічні засоби виробництва буряків цукрових.

*Предмет дослідження* – методи моделювання механізованих технологічних процесів і удосконалення технічних засобів для вирощування та збирання буряків цукрових.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження базуються на моделюванні механізованих технологічних процесів підготовки ґрунту і насіння до посіву, сівби, викопування коренеплодів і відокремлення від них домішок з використанням основних положень теорії управління складними системами і прийняття рішень, методології імітаційного моделювання в середовищі AnyLogic, теоретичної і землеробської механіки, прикладної геометрії та математичної статистики.

Експериментальні дослідження на стендах, однорядних установках і зразках модернізованих машин проводились в лабораторних, лабораторно-польових та виробничих умовах з використанням методів планування і реалізації багатофакторних експериментів. Статистична обробка експериментальних даних та креслення виконувалися з використанням прикладних програм Statistica, Maple, MS Excel, KOMPAS.

**Наукова новизна одержаних результатів.** *Вперше:*

- розроблено методи і структуру дворівневого моделювання двоєдиного механізованого технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби буряків цукрових як складної системи;

- створено алгоритмічний опис розв'язання оптимізаційної багатокритеріальної задачі отримання максимальної польової схожості насіння шляхом пошуку локальних критеріїв продуктивності окремих технологічних операцій на засадах методу конфігурацій, що деформуються;

– розроблено комплекс машин для реалізації нового способу вирощування і збирання буряків цукрових з комбінованою шириною ( $3 \times 30$  см +  $1 \times 45$  см) міжрядь.

*Удосконалено:*

– геометричну модель робочої поверхні зубчастого типу для рихлення поверхневого шару ґрунту при передпосівному обробітку;

– форму робочої поверхні гелікоїдального шнека-очищувача дискового копача для первинного очищення викопаних коренеплодів від ґрунтових і рослинних залишків за умов підвищеної і нормальної твердості ґрунту;

– конструкцію пристрою для передпосівного розділення насіння за масою в межах однієї фракції.

*Дістало подальший розвиток:*

– диференційне рівняння руху падаючої насінини при висіві апаратом пневматичного типу;

– принципи побудови моделі двоєдиного технологічного процесу;

– класифікація робочих органів сучасних збиральних машин за ознакою можливості застосування при звужених та комбінованих міжряддях.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено:

– комплекс машин (сівалка, культиватор, гичко- та коренезбиральна машина, очисник головок коренеплодів) для реалізації нового способу вирощування і збирання буряків цукрових з комбінованою шириною міжрядь, що забезпечує підвищення врожайності коренеплодів на 5,6–6,0 т/га.

– розпушувач зубчастого типу знаряддя для передпосівного обробітку ґрунту, що забезпечує суттєве підвищення польової схожості насіння на 2,6 % при зменшенні витрат пального на 0,2 кг/га;

– пристрій для передпосівного розділення насіння за масою в межах однієї фракції, що за умови варіювання маси насінини до 20–25 % покращує рівномірність інтервалів між висіяними у ґрунт насінинами;

– гелікоїдальні прямий і похилий шнеки дискового копача для очищення коренеплодів від ґрунтових і рослинних залишків, які за умов роботи на ґрунтах підвищеної твердості (4,0–4,5 МПа) забезпечують зменшення забрудненості вороху коренеплодів великими грудками ( $\varnothing > 50$  мм) майже вдвічі (17,9 %, 18,5 % проти 35,7 %) та суттєве зниження маси пошкоджених коренеплодів на 6,0–8,5 %, в порівнянні з серійним бітерним очисником.

Встановлено, що найбільш сприятливою для рівномірності розміщення насіння вздовж рядка є норма висіву  $N=7-8$  шт./м за робочої швидкості сівалки 1,2–1,4 м/с.

Результати розробок і досліджень впроваджено у Білоцерківській дослідно-селекційній станції, Державному підприємстві «Дослідне господарство Шевченківське» Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, Приватному підприємстві імені Зубковського Полтавської області; передано до використання у Публічне акціонерне товариство «Борекс» та у навчальному процесі Національного університету біоресурсів і природокористування України при підготовці фахівців зі спеціальності «Агроінженерія» освітнього ступеня «Магістр»; використано у методичних

рекомендаціях з освоєння та апробації наукових розробок Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН.

**Особистий внесок здобувача.** Наукові положення, розробки і результати теоретичних та експериментальних досліджень, виконаних за темою дисертації, отримано здобувачем самостійно. Із спільних експериментальних досліджень і публікацій та технічних рішень, у тому числі тих, що захищені патентами, здобувачем, за згодою співавторів, використано лише власну частину результатів. Постановку завдань, аналіз і трактування отриманих результатів виконано спільно з науковим консультантом.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати досліджень за темою дисертації обговорено і схвалено на: міжкафедральних семінарах факультету архітектури, будівництва та дизайну Національного авіаційного університету; науково-методичній раді Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН; міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні проблеми геометричного моделювання» (м. Луцьк, 2008 р., м. Севастополь, 2010 р., м. Ужгород, 2011 р., м. Сімферополь, 2011 р., м. Мелітополь, 2012 р., 2013 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Моделювання об'єктів, процесів та систем» (м. Київ, 2011 р.); V, VII і VIII Міжнародних науково-практичних конференціях «Архітектура та екологія» (м. Київ, 2013–2016 рр.); 16-й Міжнародній науковій конференції «Наука – будущее Литвы» (м. Вільнюс, Литовська Республіка, 2013 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин» (м. Кіровоград, 2013 р.); Міжнародній науковій інтернет-конференції «Методика, механізація, автоматизація та комп'ютеризація досліджень у землеробстві, рослинництві, садівництві та овочівництві» (м. Київ, 2014 р.); XV Міжнародній науково-практичній конференції «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» (сmt Дослідницьке, 2014 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (сmt Глеваха, 2015 р.); XVI і XVIII міжнародних наукових конференціях «Сучасні проблеми землеробської механіки» (м. Київ, 2015 р., м. Кам'янець-Подільський, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя» (м. Київ, 2018 р.); XIV і XV міжнародних науково-практичних конференціях «Обуховські читання» (м. Київ, 2019 р., 2020 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Агроінженерія: сучасні проблеми та перспективи розвитку» (м. Київ, 2019 р.); VII і X міжнародних науково-практичних конференціях «КЗЯТПС–2017», «КЗЯТПС–2020» (м. Чернігів, 2017 р., 2020 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Біоенергетичні системи» (м. Житомир, 2020 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертації викладено у 88 наукових працях, з яких монографія, 10 статей у наукових фахових виданнях України, 9 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 12 статей у наукових виданнях інших держав,

21 стаття в інших наукових виданнях, 2 патенти на винахід, 6 патентів на корисну модель, 5 методичних розробок, 22 тези наукових доповідей.

**Структура та обсяг дисертації.** Загальний обсяг дисертації становить 343 сторінки. Робота складається з анотацій, вступ, 6 розділів, висновків, списку використаної літератури із 274 найменувань (35 латиницею) та додатків. Дисертація містить 119 рисунків і 22 таблиці.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У першому розділі **«Сучасний стан проблеми і основні задачі досліджень»** викладено аналіз етапів існуючих технологій і сучасних тенденцій розвитку технічних засобів вітчизняного і зарубіжного виробництва, виділено основні технологічні процеси вирощування і збирання буряків цукрових, на основі чого визначено напрями проведення дослідження.

Значних результатів теоретичних та експериментальних досліджень з розробок індустріальних технологій і машин для вирощування та збирання буряків цукрових досягнуто під керівництвом відомих вчених В. С. Басіна, П. М. Василенка, А. А. Василенка, В. М. Булгакова, В. В. Адамчука, В. С. Глуховського, С. Є. Наливайко, А. К. Нанаєнко, О. Ф. Нікітіна, В. І. Паламарчука, Л. В. Погорілого, Г. Д. Петрова, П. В. Савича, Ф. М. Солов'я, О. Ф. Ушакова, М. М. Хелемендика, О. Г. Цимбала, Б. П. Шабельника, D. Shpar, A. Draycott, W. Gruber, P. Fechner, R. Freckleton, H. Pirkelmann та їх учнів.

Стосовно розробки технічних засобів і технологій у рослинництві широко відомі в Україні і за її межами праці вітчизняних науковців В. В. Адамчука, В. М. Булгакова, В. М. Барановського, Д. Г. Войтюка, В. І. Ветохіна, І. В. Головача, Р. Б. Гевка, Д. А. Дерев'янка, В. І. Кравчука, І. В. Морозова, С. Ф. Пилипаки, В. Ф. Пащенко, В. І. Пастухова, В. П. Юрчука, М. В. Роїка, В. М. Балана, О. А. Маковецького, В. Л. Курило, О. О. Іващенко, В. М. Сінченка, Е. Р. Ермантраута, В. Т. Саблука, Я. П. Цвея та ін.

Аналіз досліджень вказаних та інших авторів, проведений стосовно оцінки значимості окремих етапів технології виробництва буряків цукрових свідчить про те, що серед низки складних механізованих технологічних процесів, визначальними є підготовка ґрунту та насіння до посіву, сівба та збирання урожаю. На підставі цього визначено завдання дослідження.

У другому розділі **«Теоретико-експериментальні передумови підвищення польової схожості насіння і рівномірності розміщення сходів за рахунок досконалості технічних засобів»** викладено результати досліджень з розроблення геометричної моделі поверхні робочого органу для розпушування поверхневого шару ґрунту та порівняння показників роботи сучасних агрегатів для проведення передпосівного обробітку ґрунту, складено і опрацьовано диференційне рівняння руху падаючої насінини при сівбі пневматичним апаратом, визначено залежності спільного впливу взаємодії робочої швидкості сівалки і норми висіву насіння на рівномірність інтервалів його розміщення у рядку, одержано рівняння регресії коефіцієнта варіації



розміщення сходів вздовж рядка, наведено результати досліджень з розробки пристрою для розділення насіння за масою в межах однієї фракції.

При проведенні однієї з найважливіших операцій механізованої технології вирощування буряків цукрових – сівби, відповідно до показників агротехнічних вимог, насіння з високим рівнем одноростковості та лабораторної схожості має розміститися у заздалегідь підготовленому ґрунті певної структури, вологості і твердості, на заданій глибині висіву і з рівномірним інтервалом вздовж рядка. Дотримання рівномірності глибини обробітку сприяє ущільненню насінневого ложа, а завдяки дрібним фракціям грудочок обробленого поверхневого шару ґрунту забезпечується якісніше загортання насінин та поліпшується доступ світла до паростків. Зазначене має позитивний вплив на рівень польової схожості насіння та одночасність (дружність) сходів, що загалом підвищує стартовий розвиток рослин і, як наслідок, урожайність культури.

Подрібнення – процес перетворення деякого об'єму  $V=abv$  скиби ґрунту шириною  $a$  і товщиною  $b$  ( $v$  – відстань, пройдена за одиницю часу) на частини (грудочки) заданого розміру.

Відповідно до гіпотези Ріттинґера робота, яка витрачається на руйнування твердого тіла, пропорційна поверхні утворених із нього часточок, тобто сумарна поверхня грудочок, утворених проходом ґрунтообробної машини за одиницю часу, буде дорівнювати

$$s = abv \sum_{t=1}^n \frac{P_t}{d_t},$$

де  $n$  – кількість фракцій;  $P_t$  – частка відповідної фракції;  $d_t$  – середньозважене значення розміру грудочки фракції.

Узагальнений закон (Ребіндер П. А., 1968) для визначення роботи при кришінні ґрунту має вигляд:

$$A = \kappa_s S + \kappa_v V,$$

де  $\kappa_s$  – питома поверхнева енергія;  $\kappa_v$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить від твердості ґрунту, рівний за величиною об'ємній роботі деформації.

Після підстановки та виконання відповідних перетворень:

$$A = \frac{\pi d_{\text{гр}}^2}{4E} \sigma^2 \ln \xi,$$

де  $\xi = d_n/d_{\text{гр}}$  – ступінь кришіння ґрунту;  $d_n$  – початковий діаметр грудочки;  $d_{\text{гр}}$  – середній діаметр грудочки після розпушування;  $\sigma$  – напруження (тимчасовий опір) ґрунту при стисканні, г/см<sup>2</sup>;  $E$  – модуль пружності, МПа.

Отже, робота на подрібнення ґрунту збільшується із збільшенням ступеня його кришіння та тимчасового опору при стисканні і залежить від форми розпушувача.

Виділимо нескінченно малий об'єм ґрунту у вигляді паралелепіпеда зі сторонами  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ :

$$\Delta V = dV = dx \cdot dy \cdot dz,$$

що знаходиться під тиском трьох головних взаємно перпендикулярних напружень:  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ . При цьому відносна об'ємна деформація дорівнює

$$\Delta V = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 3\varepsilon_{\text{ср}},$$

$$\varepsilon_1 = [\delta_1 - \mu(\delta_2 + \delta_3)] / E;$$

де  $\varepsilon_2 = [\delta_2 - \mu(\delta_1 + \delta_3)] / E$ ; – головні лінійні деформації.

$$\varepsilon_3 = [\delta_3 - \mu(\delta_1 + \delta_2)] / E$$

Тоді  $\Delta V = 1/E[\delta_1 - \mu(\delta_2 + \delta_3) + \delta_2 - \mu(\delta_1 + \delta_3) + \delta_3 - \mu(\delta_1 + \delta_2)] = 3\delta_{\text{ср}}/E_0$ , де  $E_0 = E/(1 - 2\mu)$  – об'ємний модуль пружності;  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона (0,35 – для чорнозему, по В. Ф. Бабкову, 1981);  $E$  – модуль пружності (40 МПа – для чорнозему, по С. С. Вялову, 1978).

Експериментальні дані професора В. Ф. Рубіна (1960) про опір зразків чорноземів різним деформаціям за різної вологості дозволяють дослідити параметри робочого органа.

Розроблена геометрична модель робочої поверхні зубчастого диска ґрунтообробного знаряддя, поперечний переріз зубців якого виконаний у вигляді рівнобічної трапеції, а радіальний – прямокутного трикутника, довший катет якого розташований перпендикулярно до осі маточини і до основ трапеції, завдяки чому зуб диска, перекочуючись у ґрунті, розтягує оброблювану скибу у повздовжньому напрямку і одночасно стискає у поперечному, створюючи при цьому такий напружено-деформований стан ґрунту, при якому відповідно до теорії Кулона-Мора про баланс стискаючих і розтягуючих деформацій забезпечується підвищення якості розпушування ґрунтового моноліту і зниження енерговитрат, особливо при роботі на твердих ґрунтах.

Порівняльні польові дослідження знаряддя з новими робочими органами у складі котка борончастого та серійного культиватора УСМК-5,4Б, проведені в Державному підприємстві «Дослідне господарство Шевченківське» показали, що експериментальні робочі органи не поступаються серійним, а за щільності ґрунту 1,2–1,3 г/см<sup>3</sup> та вологості 16–18,5 % суттєво їх переважають (у середньому на 4–6 % за НІР<sub>05</sub>=2,75 %) за кількістю грудочок діаметром до 25 мм у розпушеному поверхневому шарі ґрунту, що забезпечило суттєве (НІР<sub>05</sub>=0,96 %) підвищення польової схожості на 2,6 % (рис. 1) при зменшенні витрат пального на 0,2 кг/га (рис. 2).

У смт Дослідницьке Київської області проводили порівняльні дослідження за техніко-економічними та агротехнічними показниками виконання технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту сучасними вітчизняними і зарубіжними технічними засобами: культиватор УСМК-5,4Б виробництва «Уманьферммаш»; комбіновані агрегати АРВ-8,1-01 і АРВ-8,1-02, розроблені в Українському науково-дослідному інституті сільсько-господарського машинобудування (м. Харків) спільно з Інститутом біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН за участю здобувача; Компактор «К-600А» (Німеччина). Агрегатували машини з тракторами

МТЗ-1025, ХТЗ-17221 і ХТЗ-121, а сівбу проводили сівалкою Мультикорн (Німеччина) після кожного з ґрунтообробних агрегатів.

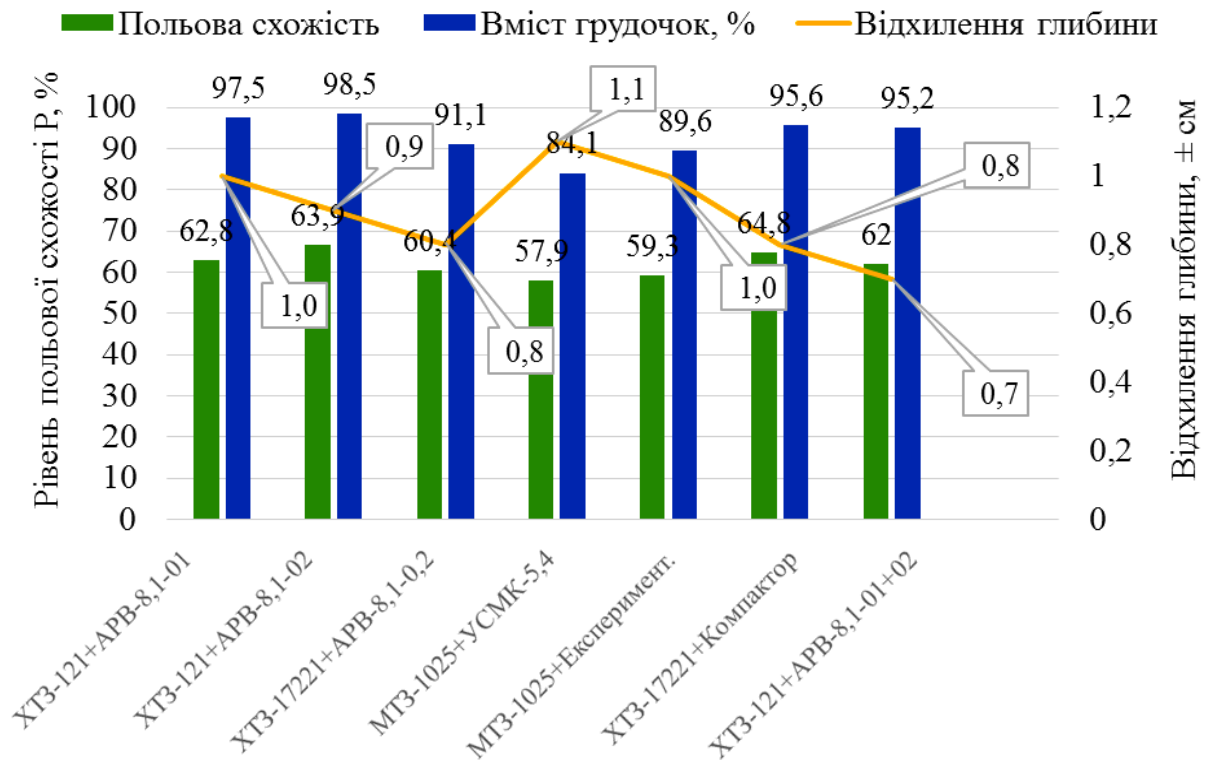


Рис. 1. Залежність польової схожості насіння від глибини обробітку ( $4,0 \pm \sigma$ ) см і вмісту дрібних грудочок ( $\varnothing < 25$  мм)

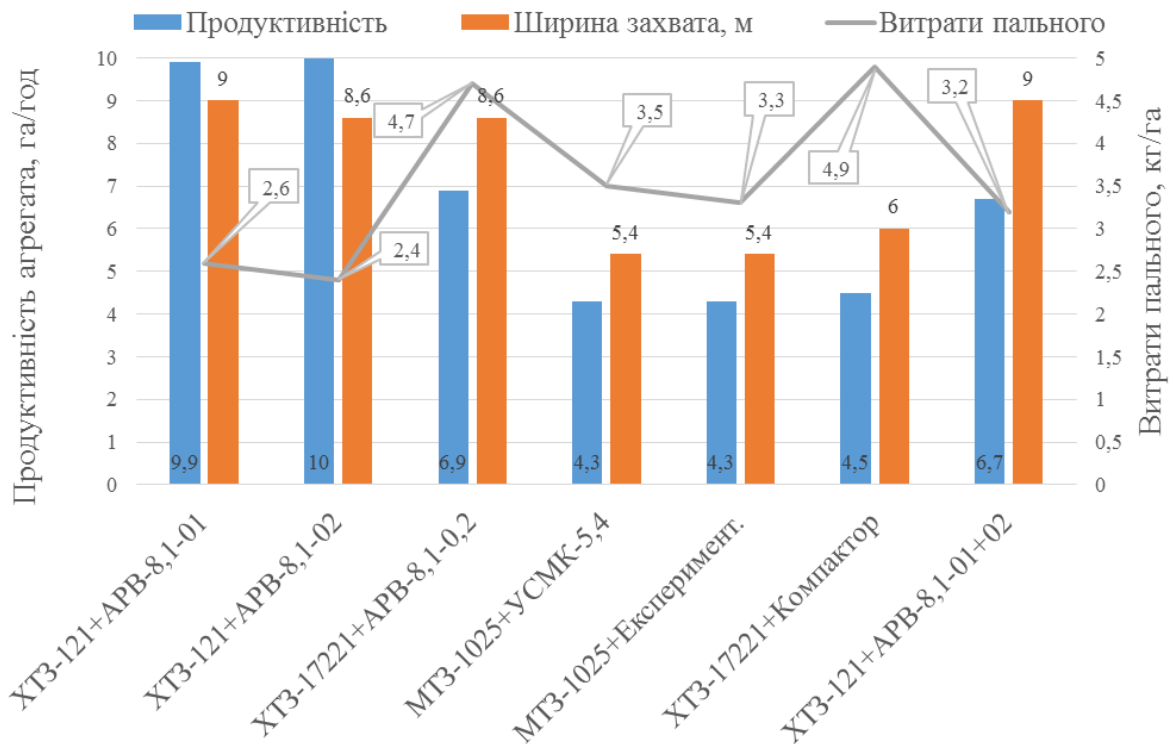


Рис. 2. Вплив ширини захвату і витрат пального агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту на продуктивність їх роботи

Найвищу польову схожість насіння (64,8 %, за лабораторної 86–91 %) одержали в разі проведення передпосівного обробітку ґрунту Компактором в агрегаті з трактором ХТЗ-17221 завдяки досягненню найрівномірнішої глибини розпушуваного поверхневого шару ґрунту та належному його подрібненню (рис. 1). Проте за продуктивністю цей агрегат був на рівні МТЗ-1025+УСМК-5,4Б і більше ніж вдвічі поступався одноопераційним агрегатам, особливо з трактором ХТЗ-121, за вдвічі більших витрат пального (див. рис. 2).

Вітчизняний комбінований агрегат, що складається з АРВ-8,1-01 і АРВ-8,1-02, навішених на передню і задню навісні системи трактора ХТЗ-121, в порівнянні з Компактором (3720 кг) теж є матеріалоемкий (3750 кг), але в разі однакової робочої швидкості (7,5 км/год) продуктивність його роботи більша на 2,2 га/год (за рахунок збільшення ширини захвату), а витрати пального менші на 1,7 кг/га. Проте через погіршення рівномірності глибини розпушуваного шару і якості розпушування польова схожість насіння істотно знизилася (62,0 % проти 64,8 % за  $НІР_{05}=0,96$  %) (див. рис. 2).

Найвищі техніко-економічні показники забезпечує агрегат ХТЗ-121+АРВ-8,1-02, хоча за польовою схожістю насіння він несуттєво (0,9 % за  $НІР_{05}=0,96$  %) поступається Компактору. Витрати ж пального скорочуються вдвічі, а питома енергонасиченість процесу – втричі. Головною перевагою зазначеного агрегату є підвищена продуктивність роботи – 10 га/год, що більше ніж вдвічі порівняно з Компактором чи культиватором УСМК-5,4Б, завдяки чому забезпечується проведення посівних робіт у стисліші строки.

Таким чином, навіть не посиляючись на ціну Компактора «К-700» (Німеччина), яка значно перевищує ціну вітчизняних культиваторів, а керуючись лише результатами техніко-економічної і агротехнічної оцінки, можна зробити висновок про доцільність використання для передпосівного обробітку ґрунту агрегату у складі ХТЗ-121+АРВ-8,1-02.

В результаті проведених багаторічних досліджень показників якості роботи пневматичних сівалок зарубіжного виробництва встановлено, що вони забезпечують вищу рівномірність розміщення сходів вздовж рядка, ніж краща серед вітчизняних сівалка ССТ-12В з механічними висівними апаратами.

Переваги пневматичних сівалок істотніші у разі сівби дражованим (рис. 3, а) і виявлені також при сівбі інкрустованим насінням (рис. 3, б). Усереднений за декілька років коефіцієнт варіації розміщення насіння у ґрунті після проходження пневматичних сівалок при висіві дражованого насіння нормою 8–10 шт./м становить 49,1 %, а сівалки ССТ-12В – 69,2 %, за сівби інкрустованим насінням 56,7 і 81,4 % відповідно.

При збільшенні швидкості руху сівалки і норми висіву рівномірність розміщення насіння у ґрунті по довжині рядка погіршується, а залежності коефіцієнта варіації розміщення сходів є наступними:

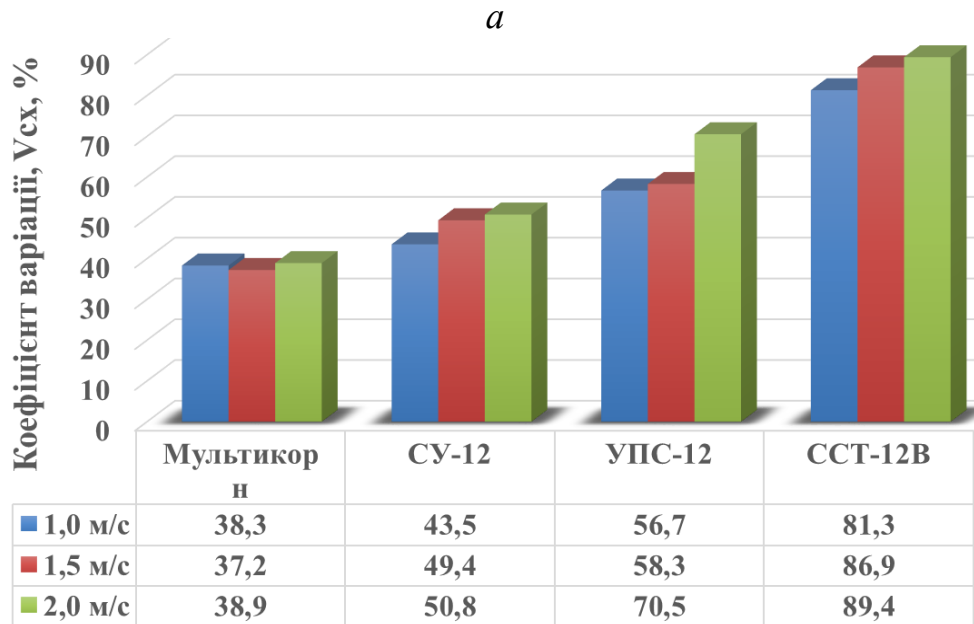
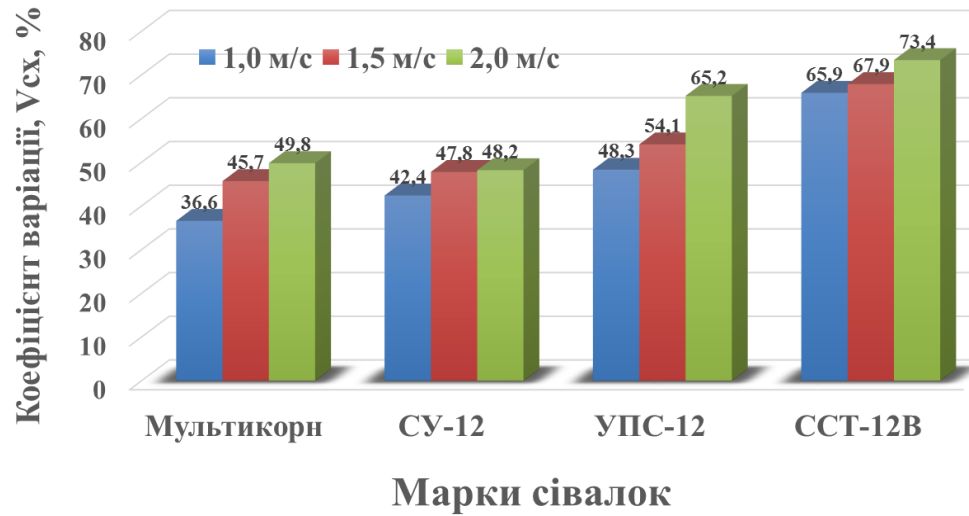
$$V_{cx} = a + a_1 Y + a_2 YN + a_3 / Y,$$

або:  $V_{cx} = 41,82Y + 0,89YN + 63,87/Y - 92,5$ , % (дражоване, фракції 3,5–4,5 мм);

$V_{cx} = 41,69Y + 0,90YN + 63,45/Y - 94,1$ , % (дражоване – 4,5–5,5 мм);

$V_{cx} = 41,20Y + 0,91YN + 63,02/Y - 87,2$ , % (інкрустоване – 3,5–4,5 мм);

$V_{cx} = 41,30Y + 0,90YN + 63,04/Y - 88,3$ , % (інкрустоване – 4,5–5,5 мм).



б

Рис. 3. Вплив швидкості руху сівалок на величину коефіцієнта варіації розміщення сходів за норми висіву 8–10 шт./м дражованого (а); інкрустованого (б) насіння фракції 4,5–5,5 мм

Дослідження рівномірності інтервалів між висіяними насінинами (за коефіцієнтом варіації  $V_n$ ) проводилися на модельних польових експериментах типу  $2^3$ , де 3 – кількість основних експлуатаційно-технологічних факторів:  $x_1$  – швидкість руху посівного агрегата ( $Y$ , м/с);  $x_2$  – норма висіву насіння ( $N$ , шт./м);  $x_3$  – середній інтервал між насінинами ( $S$ , см).

В результаті розрахунків коефіцієнтів регресії отримано математичну модель другого порядку:

$$y = 0,0164 + 0,283x_1 - 0,324x_2 - 0,0876x_3 - 0,1946x_1x_2 - 0,4125x_1x_3 + 0,1648x_2x_3 + 0,3061x_1^2 - 0,0845x_2^2 + 0,0624x_3^2$$

Адекватність моделі перевірялася за критерієм Фішера на рівні значимості  $\alpha=0,05$  при ступенях свободи  $\nu_1=18-3=16$ ;  $\nu_2=3-1=3$ .  $F_{\text{табл.}}(16;3)=8.66$ :

$$F_1 = (1.419-1)\frac{18-3}{3-1} = 2.23; (F_1 \leq F_{\text{табл.}}), y \text{ немультіколінеарна з іншими.}$$

$$F_2 = (1.331-1)\frac{18-3}{3-1} = 1.76; (F_2 \leq F_{\text{табл.}}), x_1 \text{ немультіколінеарна з іншими.}$$

$$F_3 = (1.125-1)\frac{18-3}{3-1} = 0.67; (F_3 \leq F_{\text{табл.}}), x_2 \text{ немультіколінеарна з іншими.}$$

$$F_4 = (1.043-1)\frac{18-3}{3-1} = 0.23; (F_4 \leq F_{\text{табл.}}), x_3 \text{ немультіколінеарна з іншими.}$$

Оскільки розрахований критерій Фішера менше  $F_{\text{табл.}}$ , то отриману математичну модель можна вважати адекватною.

Для використання даної моделі в якості розрахункової формули проведено її розкодування:

$$\hat{y} = 0,0055 + 0,566Y - 0,162N + 0,0195S - 0,1946YN + 0,1833YS - 0,0183NS + 1,2244Y^2 - 0,0211N^2 + 0,003S^2$$

Для побудови двовірного перетину поверхні відгуку, що характеризує показник коефіцієнта варіації в залежності від  $x_2$  та  $x_3$ , у рівняння моделі підставляли значення  $x_1 = 0$ , отримавши рівняння в канонічній формі:

$$\hat{y} = 0,055 - 0,162x_2 + 0,0195x_3 - 0,0183x_2x_3 + 0,0211x_2^2 + 0,0013x_3^2$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} = -0,162 - 0,0183x_3 + 0,0422x_2 = 0 \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_3} = 0,0195 - 0,0183x_2 + 0,0026x_3 = 0 \end{cases};$$

$$x_2 = 3,4554, x_3 = 16,8206$$

$$Y_s = 0,055 - 0,5598 + 0,328 - 1,0636 + 0,2519 + 0,3678 = -0,6207.$$

$$Y + 0,6207 = 3,4554X_2^2 + 16,8206X_3^2$$

Кут повороту нових координатних осей в центрі поверхні відгуку для даного випадку:

$$\text{ctg}2\alpha = \frac{0,0211-0,0013}{-0,0183} = -1,0819, \alpha = 68^\circ.$$

На основі канонічного рівняння за допомогою прикладної програми Maple 11 побудовано поверхню відгуку з двовірним перетином (рис. 4, а).

Аналогічно отримано рівняння в канонічній формі

$$Y + 0,0386 = -0,099X_1^2 - 0,2237X_3^2$$

$$Y + 0,2665 = 0,1167X_1^2 + 4,3769X_2^2$$

і виконано побудови на рис. 4, б; 4, в.

Перетин, який відображає спільний вплив взаємодії факторів  $x_1$  і  $x_2$  в області екстремуму (робоча швидкість посівного агрегата  $Y=1,2-1,4$  м/с, норма висіву насіння  $N=7-8$  шт./м) показує екстремальне значення коефіцієнта варіації за швидкості 1,35 м/с і норми висіву 7,4 шт./м (рис. 4, в).

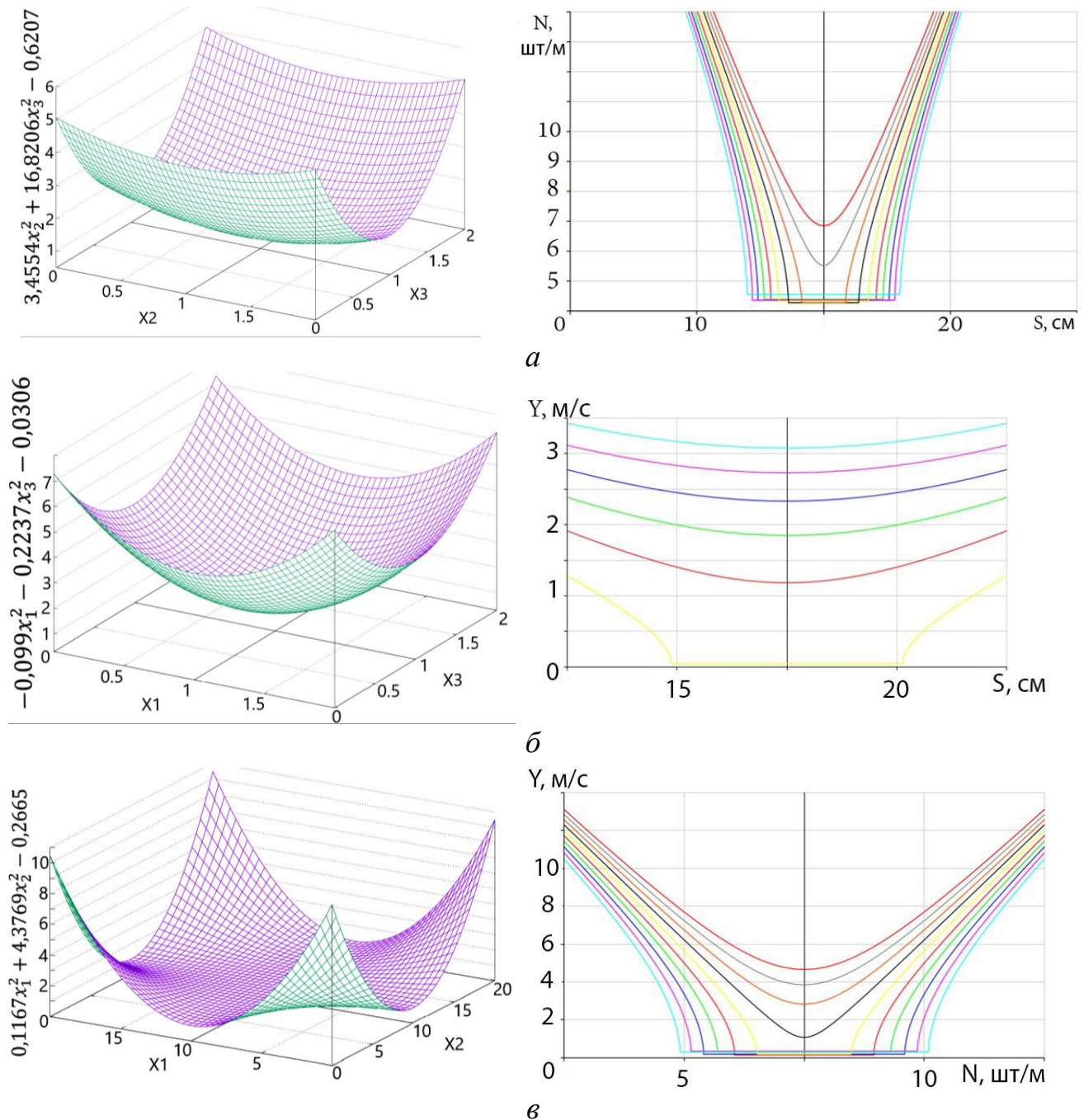


Рис. 4. Графіки поверхонь відгуку (зліва) та двомірні перетини (справа), що характеризують показник коефіцієнта варіації розміщення насіння  $V_n$  при  $x_1=0$  (а),  $x_2=0$  (б),  $x_3=0$  (в)

Розв'язок складеного і опрацьованого відповідно до початкових умов диференційного рівняння руху насінини (точки масою  $m$ ), яка відокремилася від комірки висівного диска пневматичної сівалки, що обертається з постійною кутовою швидкістю (початкова швидкість точки  $V_0$ , спрямована під кутом  $\alpha$



до горизонту), і падає (проміжне положення  $M$ ) по деякій кривій (рис. 5), має вигляд:

$$y = \frac{1}{\mu} \frac{g - \mu V_0 \sin \alpha}{V_0 \cos \alpha} x + \frac{g}{\mu^2} \ln \left( 1 - \frac{\mu}{V_0 \cos \alpha} x \right)$$

Приймаємо, що посівний агрегат здійснює рівномірний поступальний рух вздовж осі  $X$ , а сила спротиву повітря пропорційна швидкості точки  $\vec{V} : R = -\mu m \vec{V}$ , де:  $\mu$  – коефіцієнт, який при  $\vec{V} = \text{const}$  обернено пропорційний масі  $m$ .

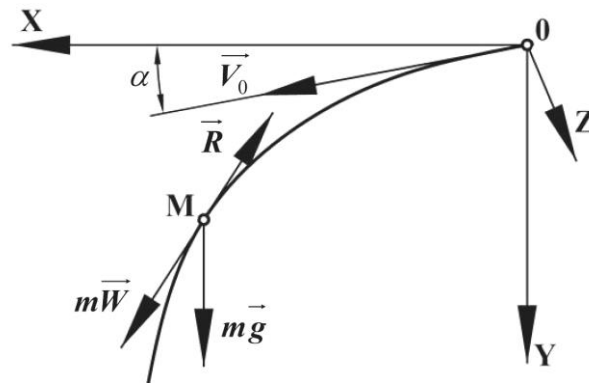


Рис. 5. Схема руху падаючої насінини

Графіки отриманої залежності приведені на рис. 6, звідки видно, що дальність падіння відокремленої від висівного диска насінини прямо залежить від початкової швидкості її падіння і обернено – від кута нахилу вектора  $\vec{V}_0$  до горизонту, тобто при зростанні швидкості з 3 до 5 м/с зростає і дальність її падіння з висоти, наприклад, 9 см на дно борозни з 3,8 до 6,9 см; при зростанні кута падіння з 6 до 7° дальність падіння з такої ж висоти зменшується з 8,8 до 5,1 см.

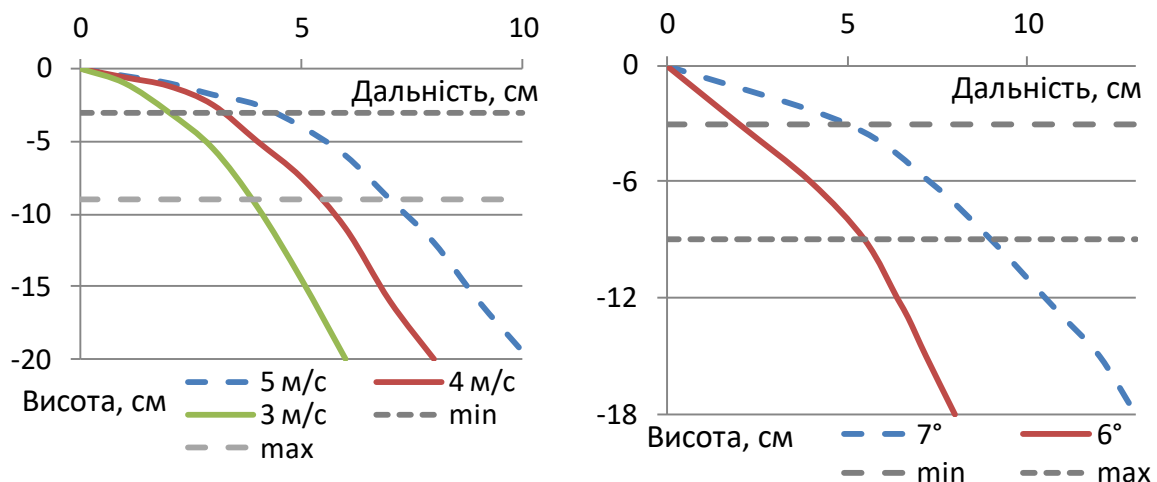


Рис. 6. Вплив початкової швидкості (зліва) і кута нахилу її до горизонту (справа) на дальність падіння насінини

Зважуванням заводського інкрустованого і дражованого насіння різних сортів за умови забезпечення репрезентативності вибірки встановлено, що середня маса, зокрема, дражованої насінини сорту Матадор фракції



3,25–4,25 мм складає 27,34 мг з відхиленням в межах від 19,05 до 43,30 мг, що становить 22 % за коефіцієнтом варіації. Внаслідок цього дальність падіння окремих насінин і, відповідно, інтервали між ними при досягненні дна борозни, теж будуть різними, що видно із попередньої математичної залежності і підтверджується наочно уповільненою стробоскопічною зйомкою та дослідями з висівом насіння на липку стрічку.

З метою покращення рівномірності розміщення насіння вздовж рядка розроблено пристрій для додаткової передпосівної підготовки насіння шляхом розділення його за масою в межах однієї фракції.

У третьому розділі **«Імітаційне моделювання передпосівного обробітку ґрунту і висіву насіння як головного двоєдиного процесу технології вирощування буряків цукрових»** визначено базові засади моделювання технологічних процесів вирощування буряків цукрових як складних систем, обґрунтовано комбіноване використання методів статистичної обробки результатів експериментів та експертних оцінок для визначення параметрів дискретних станів технологічного процесу, запропоновано дворівневу структуру моделювання, створено алгоритмічний опис розв’язання оптимізаційної багатокритеріальної задачі отримання максимальної польової схожості насіння шляхом пошуку в просторі критеріїв продуктивності на основі методу конфігурацій, що деформуються.

Імітаційне моделювання процесів і систем управління нині набуває все більшого поширення в різних галузях науки і виробничої діяльності. Імітаційні моделі зручні для дослідження стохастичних систем, тобто таких, що піддаються впливу численних випадкових факторів. Алгоритм імітаційного моделювання дозволяє за вихідними даними початкового стану процесу і параметрів, отримати інформацію про характер протікання процесу та його стани в довільні моменти часу. При управлінні механізованими технологічними процесами як об’єктами, необхідно забезпечити оптимізацію їх режимів, орієнтуючись на найнесприятливіше поєднання чинників невизначеності. Для вирішення даної проблеми розроблено структуру дворівневого моделювання, за якою технологічний процес передпосівного обробітку ґрунту та сівби буряків цукрових моделюється на двох рівнях (рис. 7):

- на нижньому рівні шляхом проведення експериментів, залученням експертів та на основі методу статистичного моделювання оцінюються критерії технологічного процесу та визначаються параметри, які залежать від низки некерованих факторів;

- на верхньому рівні вирішується завдання вибору технічних засобів та режимів реалізації технологічного процесу з урахуванням можливості корегування в режимі реального часу.

Задача управління технологічними процесами вирощування буряків цукрових є багатокритеріальною внаслідок того, що окремі технологічні операції мають власні локальні критерії. Зокрема, на етапі передпосівного обробітку ґрунту основними критеріями є створення сприятливих ґрунтових умов для забезпечення максимальної польової схожості насіння, а при сівбі – точність розміщення насіння.

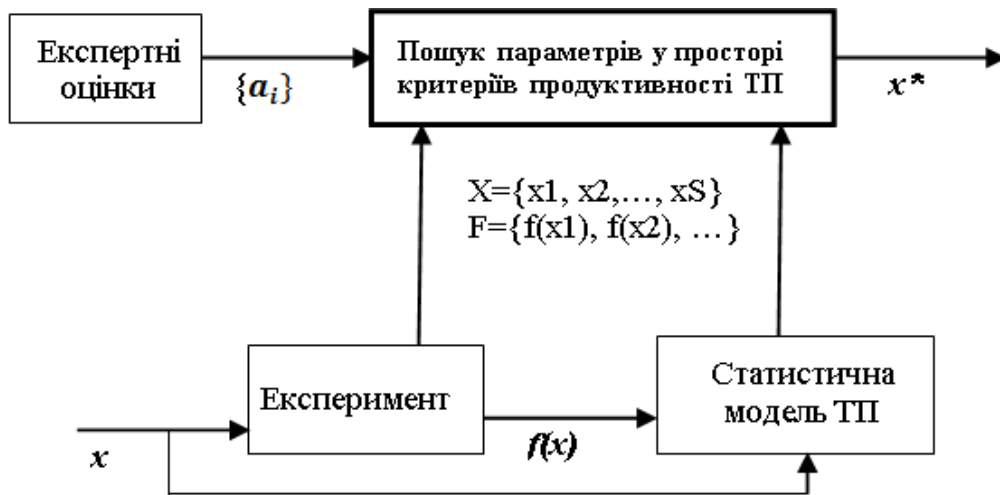


Рис. 7. Структура постановки задачі дворівневого моделювання двоєдиного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби

На значення цих критеріїв впливає значна кількість некерованих факторів. Нехай  $f = (f_1, \dots, f_q)$  – критерії (цільові функції), за якими оцінюється ефективність окремих технологічних операцій передпосівного обробітку ґрунту і сівби. Кожен з  $q$  критеріїв залежить від вхідних впливів  $x = (x_1, \dots, x_n)$ , а їх важливість описується ваговими коефіцієнтами  $y = (y_1, \dots, y_q)$ . Критерії  $f_1, \dots, f_q$  утворюють власний вектор критеріїв, а коефіцієнти  $(y_1, \dots, y_q)$  – ваговий вектор  $y = (y_1, \dots, y_q)$ . Критерії  $f_j$ , що входять до складу векторного критерію, є локальними. Отже, кожному значенню параметра технологічної операції  $x = (x_1, \dots, x_n)$  можна поставити у відповідність вектор оцінок (значень локальних критеріїв)  $f(x) = (f_1(x), \dots, f_q(x))$ .

Якщо технологічні операції передпосівного обробітку ґрунту та сівби, які складають двоєдиний технологічний процес, представити в дискретно-статичному вигляді, то з таким процесом можна взаємодіяти як з «чорною скринею». В результаті виконання послідовності технологічних операцій отримуємо продукт з відповідним набором властивостей. Кінцевий результат можна розглядати як точку в просторі критеріїв продуктивності технологічного процесу. Тоді  $x = (x_1, \dots, x_n)$  – це така «точка», якій відповідає вектор значень локальних критеріїв  $f(x) = (f_1(x), \dots, f_q(x))$ , тобто результату технологічного процесу.

Аналіз відомих алгоритмів пошукової оптимізації показав переваги запропонованого академіком РАН О. С. Риковим методу конфігурацій, що деформуються, як найбільш придатного для вирішення поставленої задачі.

Створений алгоритмічний опис безумовної мінімізації скалярної функції складається з таких кроків:

1. Побудувати правильний симплекс  $S_1$  з центром  $x^1$  і радіусом описаної гіперсфери  $R_1$ .
2. Приймаємо  $N = 1$ .
3. Виміряти значення функції  $f(x)$  у вершинах симплекса  $S_N$ .

4. Визначити  $f^*(x)$  за формулою:  $f^*(x^N) = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^{m+1} f(x^{N,i})$ .

5. Пронумерувати вершини симплекса  $S_N$  в порядку зменшення значень функції  $f(x)$  в цих вершинах.

6. Обчислити значення критерію  $I_i^N$ .

7. Визначити  $I_i^N(m^N, l^N) = \max I_i^N$ .

8. Відобразити  $m^N + l^N$  вершин, побудувати симплекс  $S_{N+1}$  за формулами.

9. У нових вершинах симплекса  $S_{N+1}$  виміряти значення функції  $f(x)$ .

10. Переходимо до наступного кроку, коли  $N = N + 1$ .

11. Визначити  $f^*(x)$  за формулою:  $f^*(x^N) = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^{m+1} f(x^{N,i})$ .

$$x^{N+1} = x^N + \frac{2m^N}{n+1-l^N} \Delta_N(m^N, l^N);$$

$$x^{N+1,j} = x^{N,j} + 2\Delta_N(m^N, l^N), \quad j=1, \dots, m^N;$$

$$x^{N+1,j} = x^{N,j} + \frac{2m^N}{n+1-l^N} \Delta_N(m^N, l^N), \quad j=m^N+1, \dots, m^N+l^N;$$

$$x^{N+1,j} = x^{N,j}, \quad j=m^N+l^N, \dots, n+1.$$

12. Перевірити виконання рівності:

$$f^*(x^N) - f^*(x^{N+1}) \geq \varepsilon \|x^N - x^{N+1}\|^2.$$

При її виконанні перейти до пункту 5 цього алгоритмічного опису, а в разі невиконання – до пункту 13 цього алгоритмічного опису.

13. Пошук припинити. Запам'ятати вершину з мінімальним значенням функції.

Для реалізації запропонованого підходу в програмі AnyLogic на нижньому рівні дворівневої моделі відповідно до виділених за результатами досліджень у попередньому розділі роботи в якості основних критеріїв оцінки визначаємо такі (табл. 1):

$f_1$  – польова схожість насіння, %;

$f_2$  – середня глибина обробітку, см;

$f_3$  – кількість грудочок діаметром до 25 мм, %.

На значення даних критеріїв впливає багато керованих та некерованих факторів. Як доведено вище (розділ 2 дисертації) найбільш важливими показниками технологічної операції висіву насіння, які визначаються вибором параметрів робочих органів сівалки, є: маса насінини, початкова швидкість падіння та кут нахилу її до горизонту, робоча швидкість сівалки. Отже, в якості змінних обраємо наступні параметри, які утворюють компоненти вектора  $x$ :

$x_1$  – маса насінини  $m$ ;

$x_2$  – початкова швидкість насінини  $\dot{V}_0$ ;

$x_3$  – кут нахилу до горизонту  $\alpha$ ;

$x_4$  – робоча швидкість сівалки  $V$ .

Агентне моделювання, як один із видів імітаційного, базується на понятті агент, що є моделлю взаємного впливу досліджуваного об'єкта та середовища як послідовності дій та реакцій на зміну умов навколишнього середовища та параметрів технічного засобу.

Таблиця 1

**Початкові параметри і вихідні дані імітаційної моделі**

Номер і склад агрегата		Параметри агрегата					Параметри ґрунту і насіння		
		Робоча швидкість	Ширина захвата	Маса	Потужність двигуна	Витрати пального	Глибина обробітку $f_2$	Вміст грудочок $\varnothing < 25\text{мм}$ $f_3$	Польова схожість $f_1$
		км/год	м	кг	кВт	кг/га	см	%	%
1	ХТЗ-121+ АРВ-8,1-02	11,6	8,6	10200	88	2,4	4,0±0,9	98,5	66,7
2	МТЗ-80+ УСМК-5,4Б	8	5,4	4150	55	3,5	4,0±1,1	96,2	57,9
3	ХТЗ-121+ АРВ-8,1-01	11	9	10150	88	2,6	4,0±1,0	90,7	62,8
4	ХТЗ17221+ АРВ-8,1-02	8	8,6	9700	121	4,7	4,0±0,8	91,1	60,4
5	ХТЗ17221+ Компактор	7,5	6	11520	121	4,9	4,0±0,8	96,8	62,8
6	ХТЗ-121+ АРВ-8,1-01+...02	7,5	9	12050	88	3,2	4,0±0,7	87,5	62,0

Агенти – це об'єкти з певним набором характеристик, які здатні діяти автономно в певному середовищі і які взаємодіють з іншими агентами. Середовище, де між собою взаємодіють агенти, є другим компонентом агентного моделювання і чинить визначальний вплив на стан і поведінку агентів. Третім компонентом агентного моделювання є правила. Два попередні складають основний структурний вигляд моделі, а правила визначають на досягнення яких цілей орієнтуються агенти, як вони поведуться, оцінюють своє середовище і реагують на нього, на стан навколишніх агентів, тобто таким чином деталізується модель.

Розроблена модель об'єднує три типи агентів: «агрегат», «ґрунт» та «насінина». Зовнішнє середовище моделюється як сукупність некерованих факторів, що впливають на досліджувані параметри. Агрегат реалізується як послідовно взаємодіюча низка енергетичних засобів, машин та робочих органів, кожний з яких – окремий агент з відповідною функцією  $g: S \times I \times A \rightarrow A'$ . Зовнішнє середовище визначається множиною станів  $S = \{S_i\}$ , а ґрунт описується функцією оновлення параметрів  $h: S \times A' \times K \rightarrow K$ . Насінина – стохастична величина, яка реалізує предикат польової схожості  $G(I \rightarrow A)$  (рис. 8).

Агрегат – трактор + сільськогосподарське знаряддя

$I = \{i_j\}$  – множина параметрів сільськогосподарського агрегата (внутрішні стани агента)

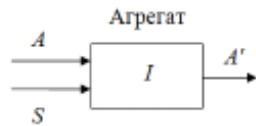
$i_1$  – швидкість руху агрегату

$i_2$  – ширина захвату

$i_3$  – маса агрегату

$i_4$  – потужність двигуна

$i_5$  – витрати пального



$A = \{a_k\}$  – множина дій інших агентів

$a_1$  – рухатися

$a_2$  – не рухатися

$A' = \{a'_k\}$  – множина власних дій агента

$a'_1$  – рухатися

$a'_2$  – не рухатися

Функція агента

$g: S \times I \times A \rightarrow A'$

Зовнішнє середовище

$S = \{s_i\}$  – множина станів зовнішнього середовища, а саме його некерованих параметрів

$s_1$  – вологість ґрунту

$s_2$  – температура ґрунту

$s_3$  – щільність ґрунту

$s_4$  – нерівність поверхні поля

Ґрунт і насіння

$K = \{k_n\}$  – множина керованих параметрів ґрунту (критеріїв)

$k_1$  – глибина обробітку

$k_2$  – подрібнення спущеного шару ґрунту до 25мм

$k_3$  – польова схожість насіння

Функція оновлення параметрів ґрунту  $h: S \times A' \times K \rightarrow K$

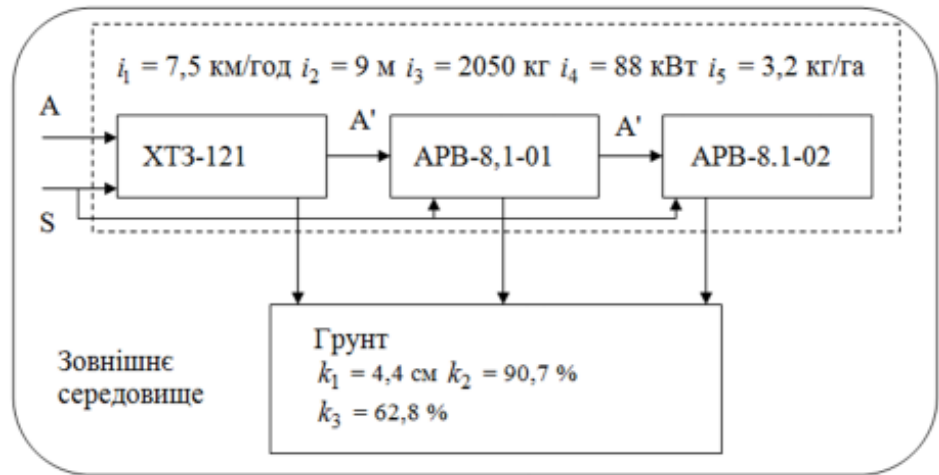


Рис. 8. Структурний склад агентної моделі

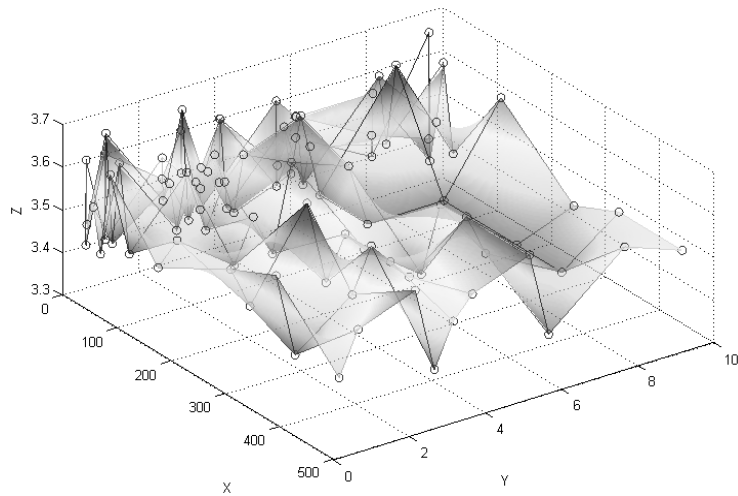
Агенти у створеній моделі моделюють робочі органи машин, що впливають на середовище з метою забезпечення агротехнічних вимог до виконання технологічного процесу. Середовищем, в якому взаємодіють агенти, є ґрунтові умови, розмірно-масові характеристики насіння. Параметри середовища, які мають вплив на результати діяльності агентів, моделюються на основі статистичних моделей. Отримані значення є вихідними даними для одного циклу оптимізації, алгоритм якого викладено вище.

Відповідно до прийнятої методології на першому етапі задавали початкові параметри агрегатів та проводили експеримент. З огляду на неможливість проведення повномасштабних реальних експериментів, оцінку параметрів технологічного процесу за визначеними критеріями проводили в модельному середовищі. З цією метою досліджувалися шість типів ґрунто-обробних агрегатів, для яких сформовано початкові умови відповідно до отриманих емпіричних даних (див. табл. 1).

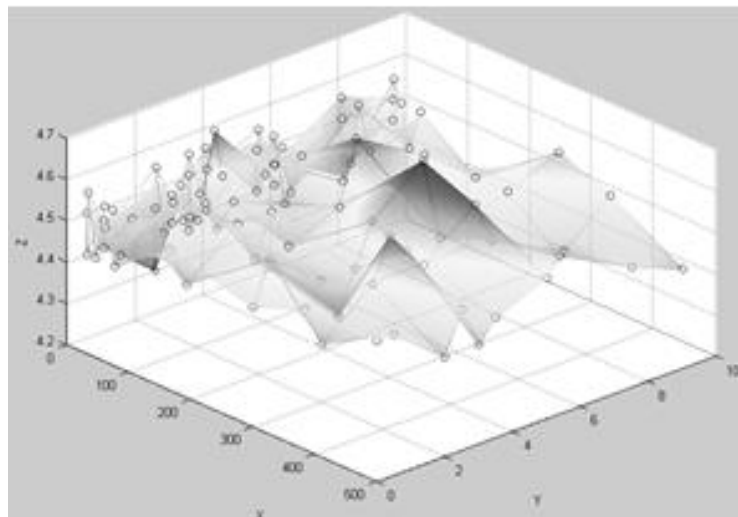
Аналіз статистичних даних результатів моделювання за критерієм коливань глибини передпосівного обробітку ґрунту  $f_2$ , як найбільш значущого серед тих, що чинять вплив на польову схожість насіння, показує, що за робочої швидкості агрегатів 10,5–11,5 м/с (рис. 9, а), при нормальній вологості ґрунту  $W < 28\%$  (рис. 9, б), за умови використання насіння сорту «Гала», на варіювання польової схожості насіння в межах від 66,7 до 57,9 % впливають коливання глибини обробітку від 3,3 до 3,7 см (рис. 9, в).

Візуалізацію одержаних значень критеріїв проведено шляхом їх нормалізації за шкалою відношень (рис. 10). Порівняння варіантів за інтегральним критерієм (безрозмірна величина в діапазоні від 0 до 1 – згортка

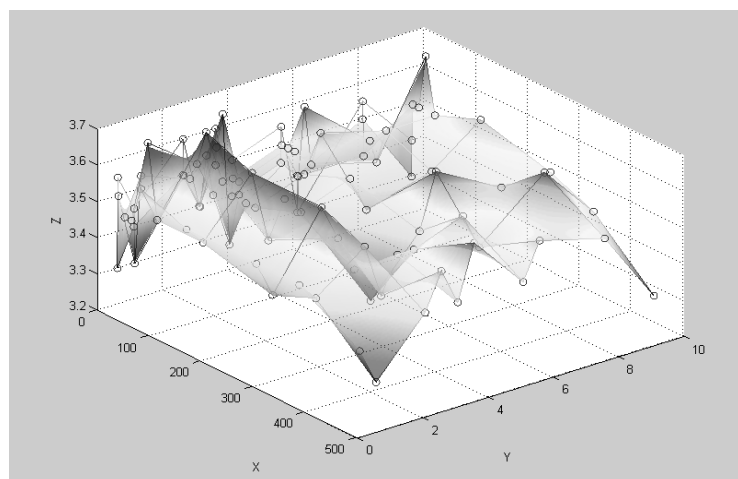
виміряних в різних одиницях показників) доводить переваги агрегату № 1 – ХТЗ-121+АРВ-8,1-02 (0,9 відносних одиниць) за продуктивністю.



*a*



*б*



*в*

Рис. 9. *a* – результати моделювання за швидкості агрегатів для передпосівного обробітку 10,5–11,5 м/с; *б* – за вологості ґрунту  $W < 28\%$ ; *в* – за використання насіння сорту «Гала» ( $Z$  – глибина обробітку, см;  $X, Y$  – розміри контрольної ділянки, м)

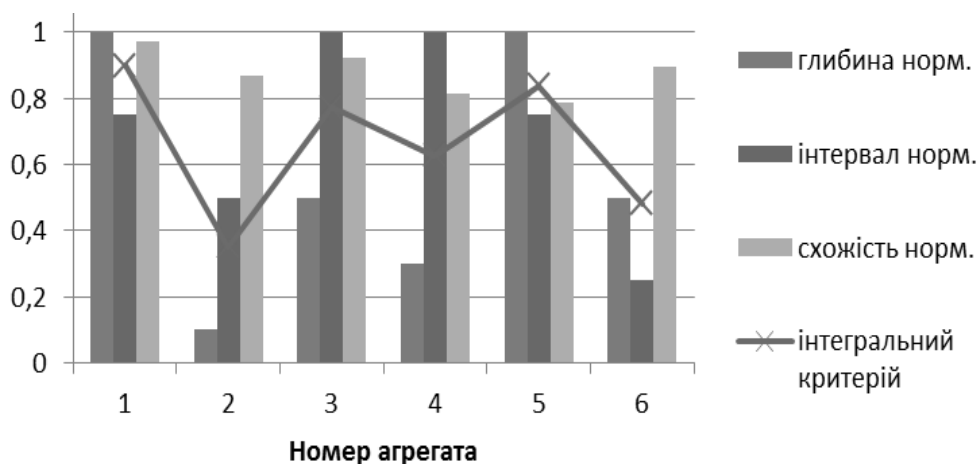


Рис. 10. Нормалізовані критерії двоєдиного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту та сівби

У четвертому розділі «Експериментальні дослідження технологічного процесу збирання коренеплодів і первинного очищення їх від ґрунтових і рослинних залишків» досліджено вплив способів збирання коренеплодів на техніко-технологічні показники процесу у розрізі аналізу світових тенденцій, розширено класифікацію робочих органів сучасних коренезбиральних машин і уточнено за ознакою можливості застосування при звужених міжряддях, розроблено геометричні моделі робочих поверхонь шнеків-транспортерів копачів та приведено результати їх експериментальних досліджень на польовій установці. Одержано залежності впливу твердості ґрунту та глибини підкопування на показники якості очищення коренеплодів різними типами гелікоїдальних шнеків дискового копача.

Серед сучасних самохідних бурякозбиральних комбайнів і причіпних коренезбиральних машин вітчизняного і зарубіжного виробництва найпоширенішими є ті, що оснащені дисковими викопувальними робочими органами різних конструкцій: РКМ-6-01 «Днепромаш-Інвест»; КС-6 та її модифікації «Тернопільський комбайновий завод»; Holmer, Vervaet, Parma, Grimme (Німеччина); Alloway, Amity (США) та ін. Перевагами копачів дискового типу є їх здатність добре кришити ґрунт при малій кількості його забору, надійність роботи на важких ґрунтах і забур'янених полях, висока продуктивність, підйом коренеплодів на значну висоту. Експлуатація таких копачів можлива на вищих швидкостях у порівнянні з кулачковими, лемешковими чи вильчастими з одночасним забезпеченням кращих показників технологічної надійності виконання процесу і якості первинного очищення викопаних коренеплодів від залишків ґрунту, гички та кореневищ бур'янів.

У верхній задній частині дискового викопувального робочого органа розташовується бітер чи гвинтовий шнек, до яких подаються коренеплоди у купі із залишками підрізаної дисками скиби ґрунту, гички і бур'янів. Відомо, що очищувальна здатність бітерного пристрою, який виключно за рахунок удару перекидає ворох коренеплодів, є низькою, а при роботі шнека з гвинтовою навивкою, коренеплоди разом з рослинними та ґрунтовими рештками скупчуються у задній зоні шнека, особливо на забур'янених, твердих

чи перезвожених ґрунтах, що також призводить до зниження продуктивності виконання технологічного процесу викопування та погіршення очищення коренеплодів.

Розроблені копачі включають удосконалений транспортуючий шнек-очисник з робочою поверхнею у формі гелікоїда прямого (рис. 11, *а* – патент № 59726) та похилого (рис. 11, *б* – патент № 78042), особливістю конструкції яких є зменшення кроку навивки  $P$  в напрямку від центрів дисків  $1$  до їх периферії.

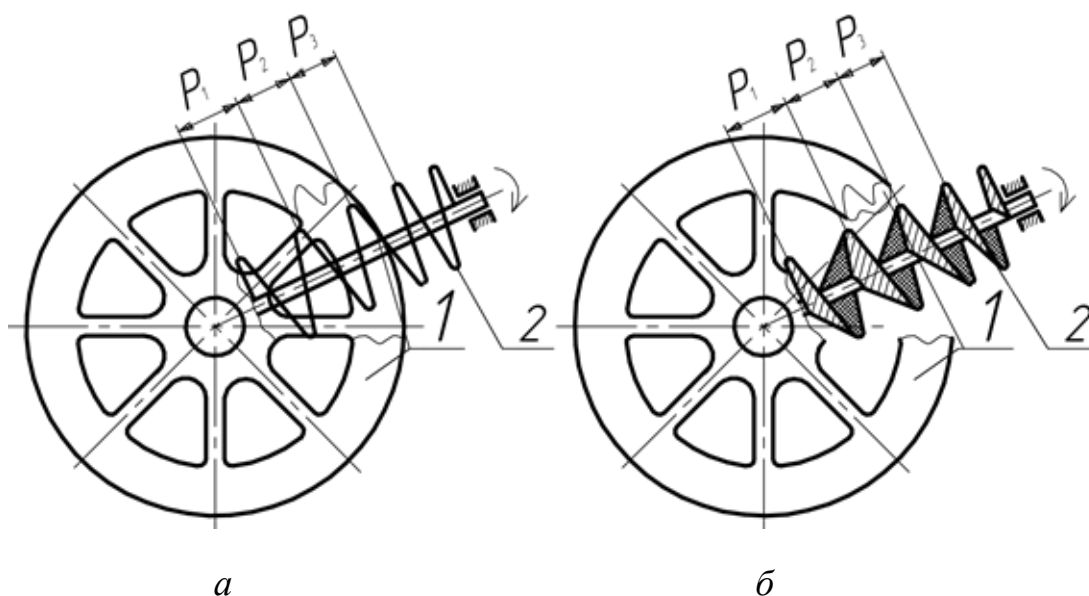


Рис. 11. Геометричні моделі дискових копачів з прямим шнеком-гелікоїдом (*а*) і похилим (*б*) змінного кроку навивки ( $P_1 > P_2 > P_3$ )

При обертанні шнека будь-яка уявна точка  $A$  його гвинтової поверхні, перемістившись із одного положення в інше у перпендикулярній до осі шнека площині опише деяку дугу повного оберту  $A_1 \wedge A'_1$ , а у площині рисунка переміститься вздовж цієї ж осі на відстань (долю кроку  $P$ )  $A_2 A'_2$ , що можна подати у вигляді формули:

$$A_1 \wedge A'_1 / 360^\circ = A_2 A'_2 / P,$$

звідки

$$A_1 \wedge A'_1 = A_2 A'_2 360^\circ / P$$

Врахувавши, що  $P_1 > P_2 > P_3$  отримаємо обернену залежність: із зменшенням кроку шнека збільшується швидкість обертання його робочої поверхні, в результаті чого покращується інтенсивність очищення коренеплодів.

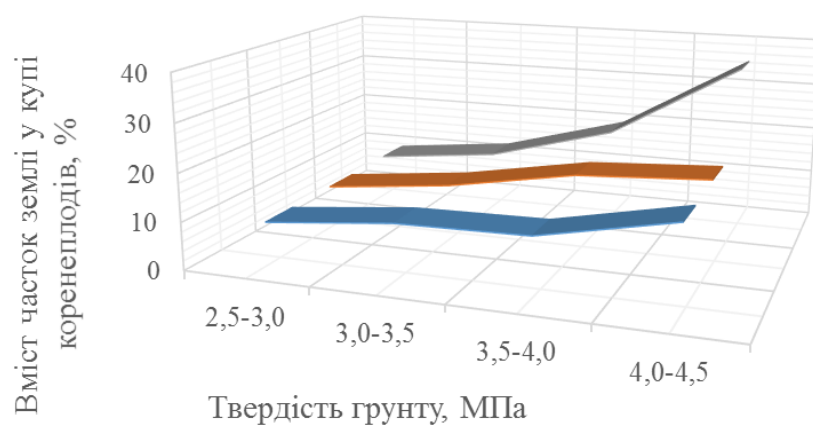
Поверхня шнека копача на рис. 11, *б* – похилий гелікоїд 2, твірна якого утворює гострий кут з віссю. Така форма робочої поверхні шнека, крок гвинтової навивки якого і нахил твірної у напрямку виконання технологічного процесу плавно зменшуються, забезпечує підвищення кутової швидкості транспортування коренеплодів. Тобто при переміщенні оберемка вороху



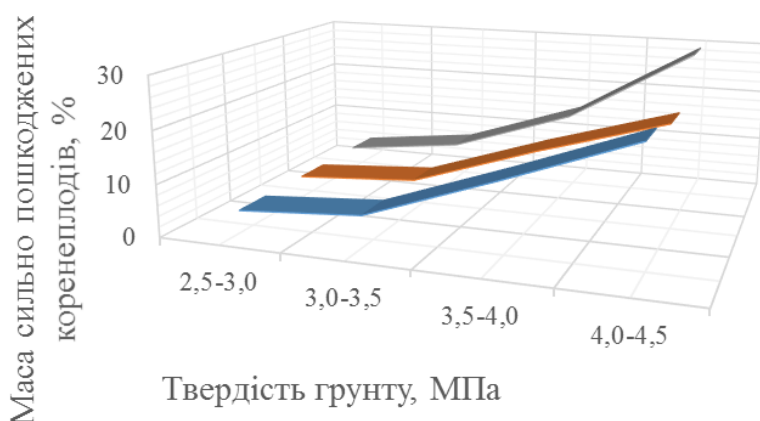
коренеплодів шнеком створюється поступове збільшення сили тертя завдяки чому зменшуються скупчення на його поверхні і покращується очищення коренеплодів.

Експериментальні дослідження на однорядній установці, навішеній на трактор ЮМЗ-7071, проводились у Державному підприємстві «Дослідне господарство Шевченківське». Копачі приводилися в обертальний рух від вала відбору потужності трактора, а їх заглиблення регулювалося опорними колесами. Проби вороху коренеплодів відбирались у 4-кратній повторності. Викопана проба після очисника потрапляла на поліетиленову плівку, що мимовільно розгорталася слідом за копачем, і відповідно до стандартної методики розділялася на фракції. Отримані дані оброблялись статистично.

Як видно із рис. 12, *а* за твердості ґрунту вище 3,5 МПа забрудненість грудками землі діаметром більше 50 мм у разі використання експериментальних гелікоїдальних шнеків суттєво зменшувалася як у варіантах між собою (прямий, похилий), так і відносно контролю (12,3 %, 16,9 % проти 19,8 % за  $HP_{05}=2,5$  %). За твердості ґрунту 4,0–4,5 МПа забрудненість грудками зменшувалася майже вдвічі (17,9 %, 18,5 % проти 35,7 %).



*а*



■ Гелікоїд прямий ■ Гелікоїд похилий ■ Бітерний очисник (контроль)

*б*

Рис. 12. Вплив твердості ґрунту і типу очисника на масу грудок землі  $\varnothing > 50$  мм (*а*) і масу пошкоджених коренеплодів (*б*) у купі вороху за глибини підкопування 8–10 см

Вміст домішок у вигляді зеленої маси (гички і залишків бур'янів) (рис. 13) та маса пошкоджених коренеплодів (див. рис. 12, б) були найменшими (1,7 та 4,3 % відповідно) у разі використання похилого гелікоїдального шнека, що є суттєвим зниженням проти бітерного пристрою за показником зеленої маси (6,9 %,  $НІР_{05}=3,4$  %) і несуттєвим (0,2 %) – за показником пошкоджень коренеплодів. Однак, при роботі копачів на ґрунтах підвищеної твердості (понад 3,5 МПа) кількість дуже пошкоджених коренеплодів різко збільшується, хоча гелікоїдальні очисники отримують суттєву перевагу перед бітерними. Так, зокрема, за твердості 4,0–4,5 МПа маса пошкоджених коренеплодів похилим гелікоїдальним шнеком досягла 21,1 %, прямим – 23,6 %, бітерним очисником – 29,6 % за  $НІР_{05}=2,7$  %.

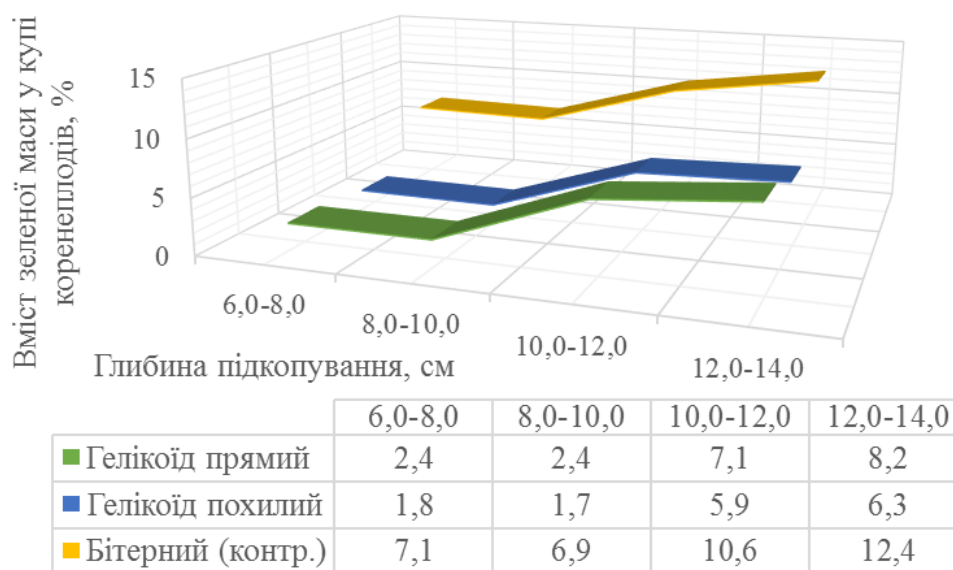


Рис. 13. Вплив глибини підкопування і типу очисника копача на кількість зеленої маси у купі коренеплодів (твердість ґрунту 2,5–3,0 МПа)

Отже, шнеки дискових копачів, виконані у формі гелікоїдів зі змінним кроком навівки в порівнянні з бітерним пристроєм покращують первинне очищення коренеплодів від грудок землі і рослинних залишків, особливо при роботі на ґрунтах підвищеної твердості, коли також суттєво зменшується маса пошкоджених коренеплодів.

У п'ятому розділі **«Розробка комплексу машин для технології вирощування і збирання буряків цукрових з комбінованою шириною міжрядь»** викладено результати з розробки комплексу машин для реалізації нової альтернативної технології виробництва буряків цукрових з комбінованими міжряддями і впровадження її у виробництві. Цьому передували дослідження з обґрунтування схеми сівби  $3 \times 30$  см +  $1 \times 45$  см шляхом виявлення впливу ширини міжрядь, розмірів і конфігурації площі живлення рослин на урожайність буряків цукрових в поєднанні з попереднім (розділ 4 дисертації) дослідженням технічних можливостей «вписування» робочих органів машин при вирощуванні і, особливо, при збиранні культури з такими міжряддями. Розроблено методику дослідження з вибору раціональної схеми розміщення рослин при комбінованій ширині міжрядь і проведення

оцінки продуктивності посівів з комбінованими міжряддями за співвідношенням « $k$ » сторін прямокутника площі живлення.

Відомо, що перехід на малі норми висіву сортів однонасінних буряків цукрових при вирощуванні їх з шириною міжрядь 45 см пов'язаний з ризиком отримання достатньої густоти стояння з рівномірним розміщенням рослин. В основному це відбувається із-за значного варіювання польової схожості насіння в різних ґрунтово-кліматичних умовах. Однак, знизити зрідженість сходів на одиниці площі при малих нормах висіву можливо застосувавши більш вузькі міжряддя, адже вони володіють рядом очевидних агротехнічних переваг.

Сутність альтернативної технології вирощування і збирання буряків цукрових полягає у чергуванні основних і технологічних міжрядь у робочому захваті посівного агрегата за схемою:

$$B = (nm + M)i,$$

де  $B$  – ширина робочого захвату посівного агрегата, м;  $n$  – число основних міжрядь у блоці;  $m$  – ширина основних міжрядь 0,3 м;  $M$  – ширина технологічних міжрядь 0,45 м;  $i$  – кількість блоків  $(nm + M)$ , поєднаних у робочому захваті сівалки.

Сівба буряків на задану густоту стояння рослин виконується у відповідності до встановленої схеми, при якій площа живлення кожної рослини приймається рівною прямокутнику із співвідношенням сторін  $k=0,9-1,2$ , що визначається за формулою:

$$k = \frac{l_p}{m} = \frac{10000(n+1)^2}{c(nm + M)^2},$$

де  $k$  – співвідношення сторін прямокутника;  $c$  – густота стояння рослин, тис. шт./га;  $l_p$  – сторона прямокутника, рівна сумі двох півінтервалів відносно сусідніх рослин у рядку або інтервалу між рослинами, м.

За умови забезпечення гарантованої густоти стояння  $c=100000$  шт./га та значеннях  $n=3$ ,  $m=0,3$  і  $M=0,45$  відповідно до приведеної формули  $k=0,9$ , тобто співвідношення сторін прямокутника площі живлення рослини близьке до квадрата. З огляду на результати дослідження фізіологів про те, що оптимальною площею живлення рослини буряка цукрового є квадрат ( $k=1,0$ ) зі стороною 30 см (в ідеалі – круг), апіорі за такої конфігурації площі живлення рослин забезпечується підвищення врожайності буряків цукрових, у тому числі за рахунок збільшення на площі одного гектара числа лінійних метрів рядка в 1,33 раза або на 33–34 % у порівнянні з 45 см міжряддями.

Комплекс модернізованих машин включає сівалку на базі ССТ-12Б, культиватор для догляду на базі УСМК-5,4Б та збиральні машини на базі БМ-6Б, ОГД-6, КС-6Б-05, виготовлені на Тернопільському комбайновому заводі відповідно до розроблених схем (рис. 14–17, патент на винахід № 5132).

Польові дослідження з визначення показників якості роботи машин і виробнича перевірка ефективності пропонованої технології проводилися у Білоцерківській дослідно-селекційній станції та у с. Варковичі Дубнівського району Рівненської області і с. Петрівці Миргородського району Полтавської області, що належать до різних ґрунтово-кліматичних зон. Оцінка біологічної

урожайності буряків цукрових, проведена перед збиранням на площі 50 га, показала достовірну прибавку 42–58 ц/га (в залежності від густоти стояння 90–105 тис. шт./га) на фоні отриманої на контролі (технологія з міжряддями всуціль 45 см) урожайності 480–496 ц/га.

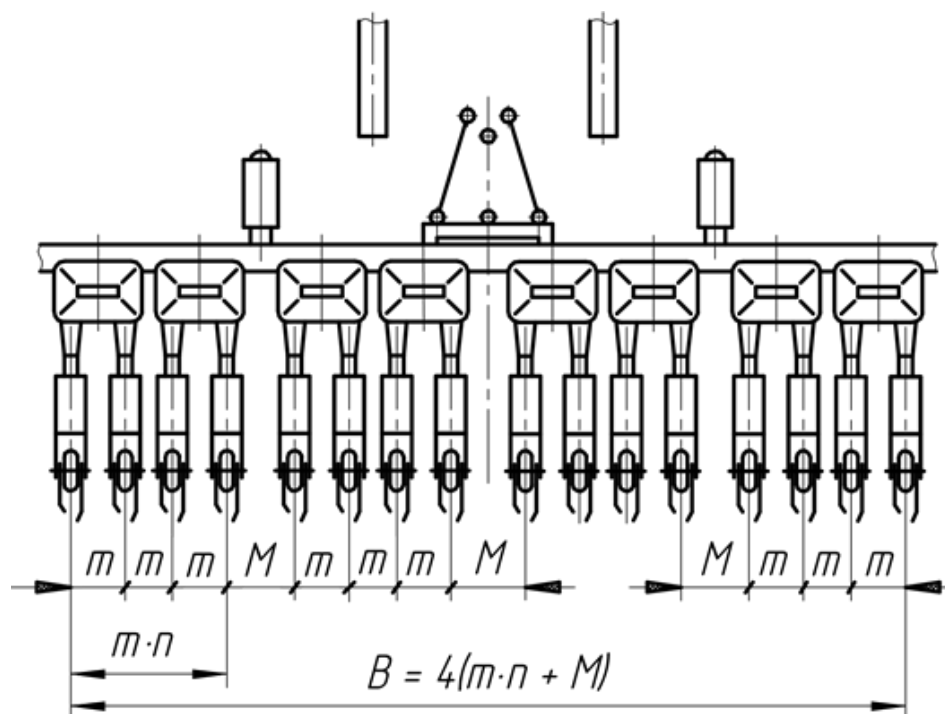


Рис. 14. Схема переобладнання сівалки ССТ 12Б (В) у 16-рядну

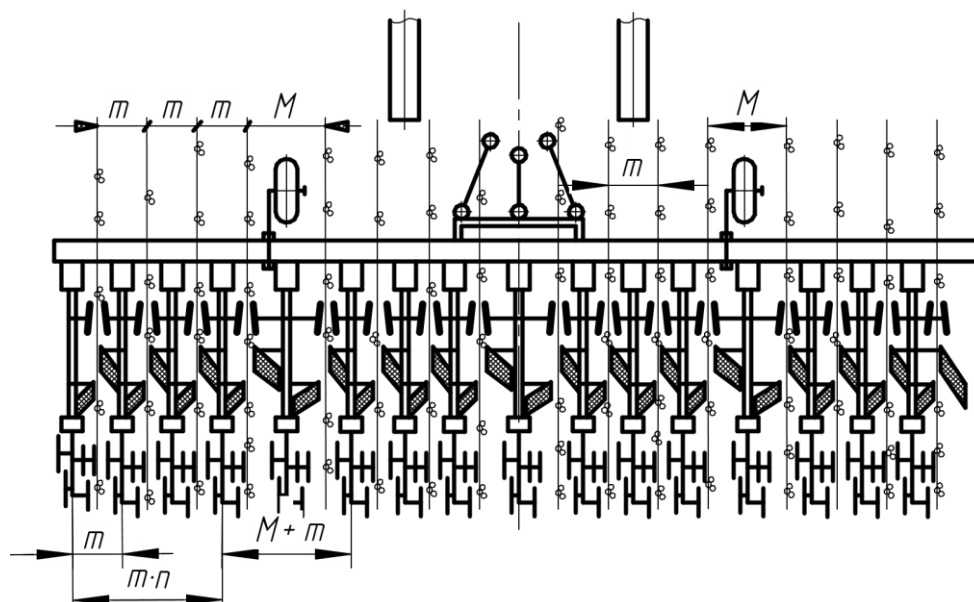


Рис. 15. Схема переобладнання культиватора УСМК-5,4Б (В) у 16-рядний

В цілому, виробничою перевіркою доведено, що застосування комплексу розроблених машин дозволяє збирати буряки цукрові, вирощені з комбінованою шириною міжрядь, при задовольняючій агротехнічним вимогам якості зрізування гички, доочищення головок коренеплодів і їх викопування (табл. 2).

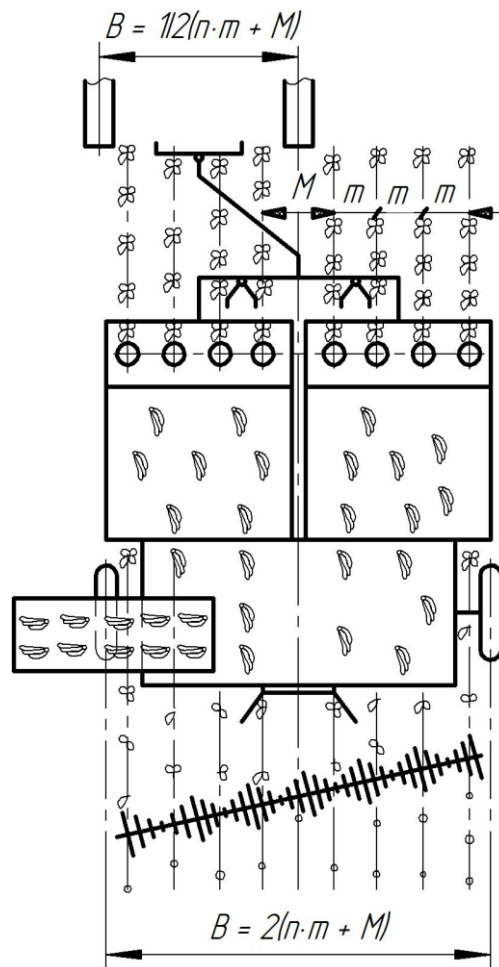


Рис. 16. Технологічна схема 8-рядної гичкозбиральної машини

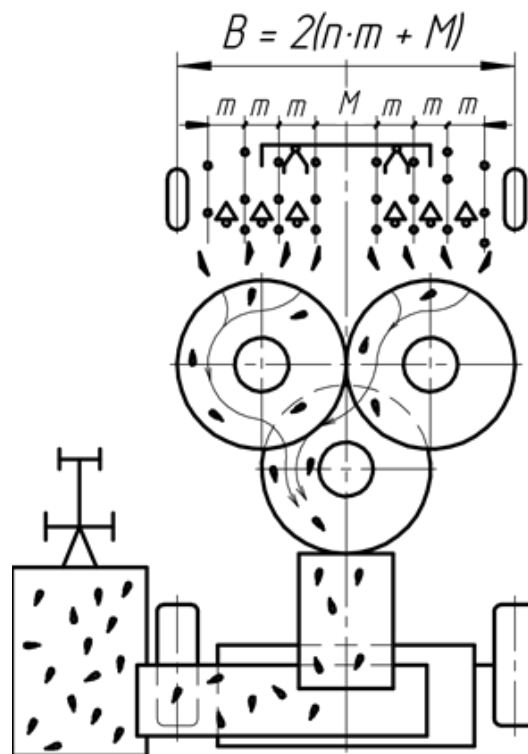


Рис. 17. Технологічна схема 8-рядної коренезбиральної машини

**Якість роботи машин для збирання буряків цукрових  
з комбінованою шириною міжрядь (3×30 см+1×45 см)**

Показник	БМ-6А(В) з очищувачем + КС-6Б- 05(В)	БМ-6А(В) з очищувачем + ОГД- 6(В) + КС-6Б-05(В)
Склад зібраного вороху, %:		
– коренеплоди	80,9	89,2
– частини коренеплодів	1,8	2,6
– земля	9,2	6,2
– гичка і рослинні залишки	8,1	2,0
Кількість коренеплодів зі зрізом, %:		
– нормальним	20,3	76,1
– низьким	3,4	8,5
– високим	76,3	15,4
Відходи маси головок		
– у гичку при зрізуванні, %	0,2	0,4
Втрати коренеплодів, %:		
– після БМ-6А(В) і очищувачів	1,4	5,2
– після КС-6Б-05(В)	5,2	5,6

Для широкого впровадження технології з комбінованою шириною міжрядь необхідна розробка менш металомісткого комплексу збиральних машин, особливо коренезбиральних, які дотепер є самохідними і мають масу понад 10 т, тому що розроблені за аналогами надто складних і потужних бункерних комбайнів провідних західноєвропейських фірм, що впродовж останніх 15–20 років безроздільно панують на бурякових полях України.

У шостому розділі «Економічна ефективність сучасних механізованих технологій вирощування та збирання буряків цукрових» приведено результати порівняльних досліджень технологій з різним рівнем матеріально-технічного забезпечення за показниками затрат праці та прямих експлуатаційних витрат.

Відомо, що розширене виробництво бурякоцукрової галузі можливе лише за рівня рентабельності не нижчому 20–30 %. Щоб забезпечити таку рентабельність, слід отримувати коренеплодів понад 35 т/га. З іншого боку, підвищення врожайності тісно пов'язане з додатковими витратами на придбання технічно досконаліших машин та впровадження нових технологічних прийомів та сучасних високоякісних матеріалів.

Виходячи із зазначеного, запропоновано наступні підходи до вирішення проблеми оптимізації технологій:

– забезпечити достатній рівень урожайності, застосовуючи в межах існуючих технологій технологічні прийоми та технічні засоби, які не потребують значних витрат коштів, коли основним критерієм оптимізації є мінімум додаткових капіталовкладень;

– зменшити собівартість продукції, підвищуючи рівень виконання технологічних операцій, впроваджуючи більш ефективні технологічні прийоми та технічні засоби. Такий шлях не можна реалізувати за допомогою застарілої

та фізично зношеної техніки, адже він потребує додаткових разових витрат на придбання нової техніки. Тобто повинен бути вибраний такий мінімум, який гарантував би підвищення врожайності та швидку окупність додаткових витрат. Критерієм оптимізації при цьому є забезпечення мінімуму собівартості продукції при одночасному підвищенні врожайності;

– забезпечити максимально можливу врожайність, використовуючи всі основні чинники і зводячи до мінімуму можливі втрати біокліматичного потенціалу культури. Впровадженням таких технологій передбачає застосування на всіх ключових операціях нових машин, що відповідають світовому рівню виробництва. Критерієм вибору такої технології є максимальна врожайність.

Запропоновані підходи до вирішення важливої проблеми оптимізації технологій виробництва цукрових буряків відображають реальну картину в сільськогосподарському виробництві, де спостерігається значне розшарування підприємств за рівнем доходів, відповідно, і за рівнем забезпеченості матеріально-технічними ресурсами.

Розглянувши за такими критеріями оптимізації весь спектр технологічних операцій із урахуванням раніше отриманих результатів досліджень впливу окремих факторів на величину прямих експлуатаційних витрат і витрат на впровадження, варто виділити три найтипівіші варіанти технологій вирощування та збирання цукрових буряків – на базі серійних, нових вітчизняних й зарубіжних машин (табл. 3).

I. Технологія на базі серійних машин потребує мінімуму капіталовкладень і базується на застосуванні традиційних технологічних прийомів та технічних засобів, зниження норм висіву насіння до 10–12 шт. на 1 м рядка, що дає змогу зменшити витрати на формування густоти стояння та виключити з технологічної карти операцію досходових боронувань. Бур'яни знищують, застосовуючи міжрядні обробітки та ручне прополювання. Збирають буряки цукрові вітчизняними машинами роздільним способом (зрізування гички, викопування коренеплодів з їх навантаженням).

II. Технологія на базі нових вітчизняних машин забезпечує найменшу собівартість. Така технологія прийнятна для підприємств середнього достатку (з рівнем рентабельності 10–15 %). Вона базується на застосуванні для ранньовесняного та передпосівного обробітків ґрунту агрегатів АРВ-8,1-01 і АРВ-8,1-02, використанні для сівби пневматичних сівалок, дражованого насіння, комбінованого способу боротьби з бур'янами (смугове внесення гербіцидів одночасно з міжрядними обробітками, ручне прополювання). Збирають буряки цукрові вітчизняними машинами для валкової технології (зрізування гички, викопування коренеплодів з їх валкуванням, підбирання валків), які дешевші порівняно з іншими бурякозбиральними машинами.

III. Технологія на базі зарубіжних машин забезпечує максимальну урожайність і стійкість проти негативних факторів. Така технологія базується на використанні гербіцидів, насіння високопродуктивних сортів, зарубіжної високоефективної техніки (оборотних плугів, комбінованих агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту, пневматичних сівалок точного висіву,

обприскувачів, бурякозбиральних машин), що гарантує високу якість виконання технологічних операцій, технологічну й технічну надійність. Впровадження такої технології потребує значних витрат на придбання нових машин, забезпечуючи значне підвищення урожайності коренеплодів (до 60–70 т/га).

Таблиця 3

### Моделі гнучких технологій вирощування та збирання буряків цукрових

Основні технологічні операції	Варіант технологій та технічні засоби для їх виконання								
	Технологія на базі серійних машин			Технологія на базі нових вітчизняних машин			Технологія на базі зарубіжних машин		
	Склад агрегатів								
Лущення стерні	Т-150К+БДТ-7			ХТЗ-121+БДВ-6			ХТЗ-17221+БДВ-6		
Внесення мінеральних добрив	МТЗ-80+ПФ-0.75; МТЗ-80+АИР-20; Т-150К+РУМ-8			МТЗ-1025+ПФ-0,75; МТЗ-1025+АИР-20; ХТЗ-121+РУМ-8			МТЗ-1025+ПФ-0.75; МТЗ-1025+АИР-20; ХТЗ-17221+РУМ-8		
Внесення органічних добрив	Т-150К +ПБ-35; Т-150К +ПРТ-10-1			ХТЗ-121+ПБ-35; ХТЗ-17221+ПРТ-10-1			ХТЗ-17221+ПБ-35; ХТЗ-17221+ПРТ-10-1		
Оранка, вирівнювання борозен та гребенів	Т-150К +ПЛН-5-35; Т-150К +ВПН-5.6			ХТЗ-17221+ПРПВ-4-50; ХТЗ-17221+ВПН-5.6			ХТЗ-17221+ В-019+В-465		
Культивація зябу	Т-150К+СП-11+ +ЗКПС-4+БЗСС-1,0			ХТЗ-17221+КШП-8.1			ХТЗ-17221+КШП-8.1		
Ранньовесняний обробіток ґрунту	Т-150К +СГ-21+ +БЗСС-1,0			ХТЗ-17221+АРВ-8.1-01			—		
Приготування та внесення гербіцидів	—			МТЗ-1025+АПР «Темп»; ХТЗ-17221+РЖТ-8; МТЗ-80+ОП-2000-2			МТЗ-1025+АПР «Темп»; ХТЗ-17221+РЖТ-8; МТЗ-1025+S-320		
Передпосівний обробіток ґрунту	МТЗ-80+УСМК-5,4			ХТЗ-17221+АРВ-8,1-02			ХТЗ-17221+ «Європак 6000»		
Сівба	МТЗ-80+ССТ-12В			МТЗ-1025+УПС-12			МТЗ-1025 + «Мультикорн»		
Формування густоти стояння рослин, знищення бур'янів	Вручну			Вручну знищуються бур'яни			МТЗ-1025АПР «Темп»; ХТЗ-17221+РЖТ-8; МТЗ-1025+S-320 (3 рази, суцільно)		
Міжрядні обробітки	МТЗ-80+УСМК-5,4В			МТЗ-1025+КФ-5.4; МТЗ-1025+УСМК-5.4В			—		
Збирання гички і коренеплодів буряків цукрових	МТЗ-80+МБП-6; РКМ-6-01; МТЗ-80 +2ПТС-4; КамАЗ-5410	МТЗ-80+БМ-6Б; МТЗ-80+ОГД-6А; МТЗ-80+АЗК-6-01; МТЗ-80+АЗК-6-03; МТЗ-80 +2ПТС-4;КамАЗ-5410	МТЗ-80+БМ-6Б; МТЗ-80+ОГД-6А; МТЗ-80+R-6; МТЗ-80+L-6; МТЗ-80+2ПТС-4; КамАЗ- 5410	МТЗ-1025+БМ-6Б; МТЗ-1025+ОГД-6А; МТЗ-1025+АЗК-6-01; МТЗ-1025+АЗК-6-03; МТЗ-1025 +2ПТС-4; КамАЗ-5410	МТЗ-1025+МБП-6; РКМ-6-01; МТЗ-1025+2ПТС-4; КамАЗ-5410	МТЗ-1025+БМ-6Б; МТЗ-1025+ОГД-6А; МТЗ-1025+R-6; МТЗ-1025+L-6; МТЗ-1025+2ПТС-4; КамАЗ-5410	МТЗ-1025+БМ-6Б; МТЗ-1025+ОГД-6А; МТЗ-1025+R-6; МТЗ-1025+L-6; МТЗ-1025+2ПТС-4; КамАЗ-5410	SF-10; КамАЗ-5410	МТЗ-1025+БМ-6Б; МТЗ-1025+ОГД-6А; МТЗ-1025+АЗК-6-01; МТЗ-1025+АЗК-6-03; МТЗ-1025+2ПТС-4; КамАЗ- 5410



Продовження таблиці 3

Урожайність, т/га	37			44			63		
Прямі експлуатаційні витрати*, всього:									
грн/га;	28308	25511	29993	30029	32834	34445	50181	50813	45766
грн/т,	765,1	689,5	810,6	682,5	746,2	782,8	796,5	806,6	726,4
у тому числі на збирання:									
грн/га;	9904,3	7105,4	11681,0	7124,4	9931,0	11680,9	11681,0	12182,2	7124,4
грн/т	267,7	192,0	315,7	161,9	225,7	265,5	185,4	193,4	113,1
*у цінах 2019 р.									

Оцінювали ефективність варіантів технологій за рівнем прямих експлуатаційних витрат на одиницю площі та на одиницю продукції за різних рівнів урожайності й застосування різних типів технічних засобів.

Встановлено, що всі без винятку технічні засоби придатні для застосування в будь-якому з вищеназваних типів технологій. Практичне здійснення такого маневрування технічними засобами в різних варіантах технологій обмежується лише економічною доцільністю.

Наприклад, за умов застосування на збиранні цукрових буряків порівняно дешевого комплексу машин для валкової технології на базі машин АЗК-6-01 та АЗК-6-03 вітчизняного виробництва зменшуються експлуатаційні витрати на виконання цієї операції на 28–41 % з розрахунку на одиницю площі порівняно з іншими бурякозбиральними комплексами. Використання дорогого енергонасиченого бункерного комбайна SF-10 є доцільнішим при збиранні буряків цукрових на високоврожайних площах, що доведено вище.

Таким чином, результати порівняння досліджуваних моделей технологій показують, що за умови впровадження технологій на базі нових вітчизняних і зарубіжних машин через додаткові витрати на придбання техніки й технологічних матеріалів прямі експлуатаційні витрати на одиницю площі зростали порівняно з традиційною технологією на базі серійних машин (25511 грн) і становили 30029 і 45766 грн відповідно (див. табл. 3).

Проте, завдяки підвищенню врожайності прямі експлуатаційні витрати на одиницю продукції знижувалися, передусім, за рахунок значного зниження затрат праці на догляд при вирощуванні буряків (рис. 18).

Одним із резервів підвищення показників економічної ефективності вітчизняних бурякозбиральних машин є відмова від використання гички як корму для тваринництва. В результаті досліджень встановлено, що, наприклад, за використання коренезбиральної машини РКМ-6-01 у комплексі з простою та надійною гичкозбиральною машиною МБП-6 для розкидання гички по полю завдяки підвищенню продуктивності комплексу машин та виключенню технологічних операцій із заготівлі й силосування гички можна забезпечити на збиранні буряків цукрових зниження витрат пального на 32 %, затрат праці – на 43 %, прямих експлуатаційних витрат – на 38 %.

Аналіз показників питомої витрати палива показує переваги технологій, при яких не застосовується технологічний транспорт. Найбільш економічно

вигідним є однофазний спосіб збирання із застосуванням самохідного бункерного комбайна КБС-6 «Збруч». Впровадження нового комплексу машин для двофазного збирання КБ-6+МГР-6-04 також дозволяє зменшити витрати палива на 26,34 кг/га порівняно з серійним комплексом КС-6Б+БМ-6Б+ОГД-6А+ПТС-6А – 4 шт.

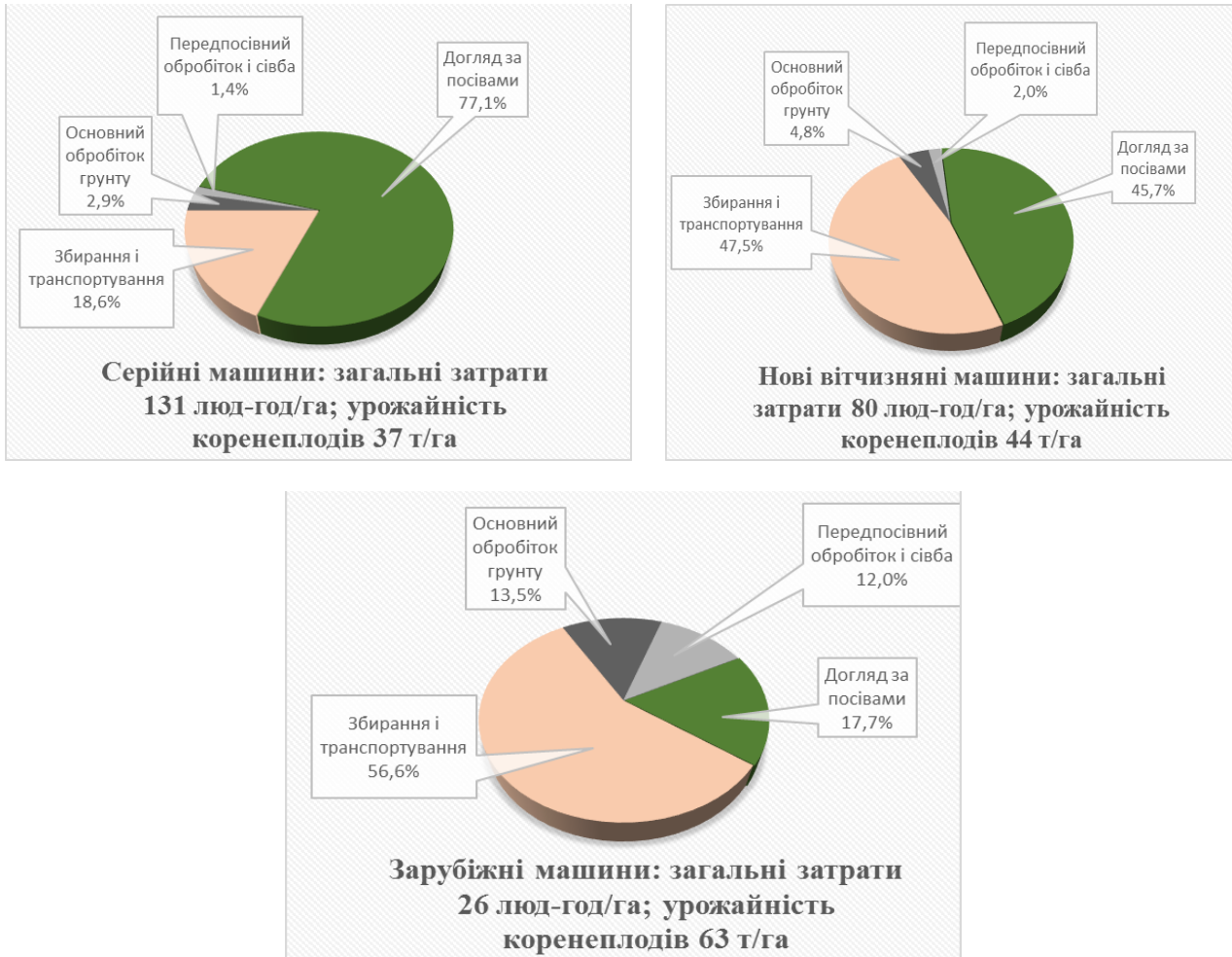


Рис. 18. Структура затрат праці за видами технологій залежно від задіяного комплексу машин

Суттєвим недоліком двофазної технології збирання буряків цукрових є необхідність залучення значної кількості одиниць техніки для транспортування гички і коренеплодів і, як результат, збільшення загальних затрат.

Затрати праці при комбайновому способі збирання становлять від 1,25 до 3,57 люд.-год/га, а при двофазному – від 3,75 до 5,25 люд.-год/га.

При застосуванні комбайна КБС-6 «Збруч» затрати праці в 4,2 раза менші порівняно із серійним комплексом машин для роздільного збирання гички і коренеплодів.

Таким чином, впровадження енергоресурсозберігаючих технологій саме при збиранні врожаю, за умови застосування нової вітчизняної техніки сприятиме зменшенню затрат при виробництві буряків цукрових і підвищенню рентабельності галузі буряківництва в цілому.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційне дослідження спрямовано на підвищення продуктивності виробництва буряків цукрових шляхом моделювання технологічних процесів і технічних засобів для їх вирощування і покращення якості коренеплодів за рахунок первинного їх очищення під час викопування. Внаслідок проведення теоретичних та експериментальних досліджень отримано такі наукові та практичні результати.

1. Виробництво цукру в Україні є одним з провідних стратегічних напрямів розвитку економіки країни і тому цукрова промисловість потребує збільшення власної сировини шляхом підвищення врожайності буряків цукрових, що є надважливим завданням буряківників, особливо за умов такого значного скорочення площ посівів.

2. Визначальний вплив на рівень польової схожості насіння та рівномірність розміщення сходів, а відтак, на врожайність буряків цукрових, з-поміж інших агротехнічних показників складних технологічних процесів чинять наступні: рівномірність глибини заробляння насіння у ґрунт; фракційний склад грудочок розпушеного поверхневого шару ґрунту; рівномірність інтервалів між насінинами вздовж рядка.

Показники якості первинного очищення вороху коренеплодів від ґрунтових та рослинних залишків суттєво залежать від типу очисника копачів, особливо при роботі збиральних машин на ґрунтах підвищеної твердості і забур'янених полях, коли на заводські бурякоприймальні пункти разом з коренеплодами потрапляє значна кількість родючих ґрунтів і зеленої маси.

3. Серед сучасних машин для проведення передпосівного обробітку ґрунту найвища польова схожість насіння (64,8 %) забезпечується в разі використання комбінованого агрегата Компактор «К-600А» (Німеччина) у складі з трактором ХТЗ-17221. Проте за продуктивністю роботи цей агрегат більше ніж вдвічі поступається вітчизняним одноопераційним АРВ-8,1-02 чи АРВ-8,1-01, агрегатованим з орно-просапним трактором ХТЗ-121, при вдвічі більших витратах пального. Найвищі техніко-економічні показники забезпечує агрегат ХТЗ-121+АРВ-8,1-02, коли при найменших витратах пального продуктивність підвищується до 10 га/год, завдяки чому посівні роботи проводяться у значно стисліші строки, підвищується рівень польової схожості насіння і, як наслідок, урожайність культури.

Комбінований агрегат, що складається з навішених на передню і задню навісні системи трактора ХТЗ-121 знарядь АРВ-8,1-01 і АРВ-8,1-02, в порівнянні з агрегатом Компактор у складі з ХТЗ-17221, у разі однакової робочої швидкості (7,5 км/год) показує продуктивність роботи більшу на 2,2 га/год, а витрати пального менші на 1,7 кг/га.

Експериментально доведено, що розроблена геометрична модель гранної робочої поверхні у складі борончастого котка не поступається серійному культиватору УСМК-5,4Б за показниками агротехнічних вимог, а за щільності ґрунту 1,2–1,3 г/см<sup>3</sup> та вологості 16–18,5 % суттєво його переважає (4–6 % за НР<sub>05</sub>=3,6 %) за кількістю грудочок діаметром до 25 мм у розпушеному шарі

грунту, що забезпечило суттєве підвищення польової схожості насіння на 2,6 % ( $НІР_{05}=0,96$  %) при зменшенні витрат пального на 0,2 кг/га.

4. Теоретико-експериментальними дослідженнями та виробничими польовими випробуваннями встановлено, що за показниками коефіцієнта варіації розміщення сходів  $V_{cx}$  вздовж рядка суттєву перевагу перед механічними сівалками типу ССТ-12В мають пневматичні сівалки вітчизняного (УПС-12, СУ-12) і, особливо, німецького («Мультикорн») виробництва (у середньому 49,1 проти 69,2 %).

В результаті аналізу регресійних моделей за критеріями спільного впливу взаємодії основних експлуатаційно-технологічних факторів на показники точності розміщення насіння при його висіві доведено, що область екстремуму коефіцієнта варіації  $V_n$  знаходиться в межах робочої швидкості сівалки  $Y=1,2-1,4$  м/с і норми висіву насіння  $N=7-8$  шт./м. Екстремального значення цей показник набуває за  $Y=1,35$  м/с та  $N=7,4$  шт./м.

5. Встановлено, що дальність польоту насінини, яка падає відділившись від комірки висівачного диска висівного апарата сівалки пневматичного типу, прямо залежить від її маси і початкової швидкості  $V_0$  і обернено – від кута  $\alpha$  нахилу її вектора до горизонту. При підвищенні  $V_0$  з 3 до 5 м/с зростає і дальність її падіння з висоти, наприклад, 9 см на дно борозни з 3,8 до 6,9 см відповідно; при збільшенні кута падіння з 6 до 7° дальність падіння з такої ж висоти зменшується з 8,8 до 5,1 см.

Виявлене при дослідженні варіювання маси насінини до 20–25 % залежно від сорту, спонукало до розробки пристрою, що виконує додаткову передпосівну підготовку насіння шляхом розділення (сорткування) його за масою в межах однієї фракції.

6. На основі аналізу відомих методів пошукової оптимізації визначено засадничі умови і принципи побудови статистичних агентних імітаційних моделей при моделюванні технологічних процесів і технічних засобів буряківництва, розроблено структуру дворівневого моделювання двоєдиного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби.

7. Створений алгоритмічний опис розв'язання оптимізаційної багато-критеріальної задачі забезпечення максимальної польової схожості насіння, оснований на методі конфігурацій, що деформуються, реалізується через обчислення значень параметрів технологічного процесу, які залежать від некерованих факторів зовнішнього середовища, де взаємодіють агенти імітаційної моделі «ґрунт», «насінина», «агрегат» з основними початковими параметрами, що є вихідними даними для одного циклу оптимізації.

8. Встановлені межі варіювання польової схожості насіння від 68 до 57 % за умов зміни глибини передпосівного обробітку ґрунту, як головного чинника одержання сходів, від мінімальної 3,3 см до максимальної 3,7 см. Порівнянням одержаних значень показників імітаційного моделювання, нормалізованих за шкалою відношень, доведено переваги агрегата ХТЗ-121+АРВ-8,1-02 – 0,9 відносних одиниць за інтегральним критерієм.

9. Розроблені зразки нових шнеків-транспортів дискового копача, польовими експериментальними дослідженнями яких встановлено, що при роботі очисних поверхонь з навивкою у формі прямого і похилого гелікоїдів змінного кроку за твердості ґрунту вище 3,5 МПа кількість грудок діаметром більше 50 мм у разі використання експериментальних гелікоїдальних шнеків істотно зменшується як у варіантах між собою (прямий, похилий), так і відносно контролю (12,3 %, 16,9 % проти 19,8 % за  $НІР_{05}=2,5\%$ ). За твердості ґрунту 4,0–4,5 МПа забрудненість грудками зменшувалася майже вдвічі (17,9 %, 18,5 % проти 35,7 %). Показники вмісту домішок у вигляді зеленої маси та кількості пошкоджених коренеплодів за середньої твердості ґрунту (2,5–3,0 МПа) є найнижчі (1,7 та 4,3 % відповідно) у разі використання похилого гелікоїдального шнека, що суттєво нижче проти контролю за показником зеленої маси (6,9 %,  $НІР_{05}=3,4\%$ ). За підвищеної твердості ґрунту (4,0–4,5 МПа) маса пошкоджених коренеплодів бітерним очисником досягла 29,6 %, в той час коли похилий гелікоїдальний шнек забезпечив зниження до 21,1 %, а прямий до 23,6 %, ( $НІР_{05}=2,7\%$ ).

10. Розроблено технологічний комплекс машин для реалізації нового способу вирощування і збирання буряків цукрових з комбінуванням (поєднанням) основних (30 см) і технологічних (45 см) міжрядь за схемою (3×30 см+1×45 см) в одному захваті 16-рядного посівного агрегату і культиватора для міжрядного обробітку та 8-рядних машин для роздільного збирання гички і коренеплодів. Польовими виробничими дослідженнями машин у різних ґрунтово-кліматичних зонах бурякосіяння встановлено, що показники якості їх роботи відповідають нормативам агротехнічних вимог.

Спосіб дає можливість отримати додатково з кожного гектара 5,6–6,0 т коренеплодів з рівномірнішою масою і підвищеною на 0,4–0,6 пункти цукристістю.

11. Впровадження технологій на базі нових вітчизняних і зарубіжних машин пов'язане з додатковими витратами на придбання техніки та технологічних матеріалів, тому прямі експлуатаційні витрати на 1 га зростають відповідно до 30029 і 45766 грн порівняно з традиційною технологією на базі серійних машин (25511 грн/га). Проте завдяки підвищенню врожайності (з 37 до 63 т/га) витрати в розрахунку на одиницю продукції значно знижуються (з 131 до 26 люд.-год/га), насамперед, за рахунок суттєвого скорочення затрат праці на вирощування і, особливо, при догляді за посівами.

За однофазного способу збирання врожаю серед нових вітчизняних комбайнів найбільш ефективним є застосування самохідного бункерного комбайна КБС-6 «Збруч», коли затрати праці зменшуються в 4 рази, а витрати палива – на 26 кг/га порівняно із серійним комплексом машин КС-6Б+БМ-6Б+ОГД-6А+4шт ПТС-6А для роздільного (двофазного) збирання.

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

З метою підвищення врожайності буряків цукрових і покращення показників ресурсовитрат рекомендується:

а) ранньовесняний і передпосівний обробіток ґрунту проводити вітчизняним комбінованим знаряддям АРВ-8,1-01+АРВ-8,1-02 в агрегаті з орно-просапним інтегральним трактором ХТЗ-121 (ХТЗ-16131) з передньою та задньою навісними системами;

б) сівбу виконувати пневматичними сівалками вітчизняними (УПС-12 чи СУ-12) або закордонними (типу «Мультикорн») в межах робочої швидкості 1,2–1,4 м/с і норми висіву насіння 7–8 шт./м, коли показники точності розміщення насіння, особливо дражованого, є найвищими.

Для покращення якості очищення вороху коренеплодів від грудок землі і зеленої маси та збереження родючості ґрунтів за умов проведення збиральних робіт на ґрунтах підвищеної твердості та забур'янених полях рекомендується проводити первинне очищення коренеплодів при їх викопуванні, застосовуючи машини з дисковими копаками та шнеками-очисниками гелікоїдального типу.

Застосовувати спосіб виробництва з комбінованими міжряддями за схемою сівби 4 (3×30 см+1×45 см), коли за оптимальної густоти стояння рослин (100–110 тис. шт./га) і раціональному розміщенні їх на ділянці поля біологічна врожайність коренеплодів збільшується на 5,6–6,0 т/га.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Монографія

1. Волоха М. П. Технологічний комплекс машин для виробництва буряків цукрових: ширина міжрядь. Теорія, моделювання, результати випробувань. К., 2015. 220 с.

### Статті у наукових фахових виданнях України

2. Войтюк П. О., Гречка В. В., **Волоха М. П.** Класифікація техніки для однофазного способу збирання цукрових буряків. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2000. Вип. 3 (17). С. 79–90. *(Здобувачем здійснено аналіз конструктивно-технологічних рішень сучасних гичкорізів і копачів щодо можливостей їх застосування за умов звуження та комбінування ширини міжрядь).*

3. **Волоха М.**, Войтюк П., Гречка В. Машинне забезпечення валкової технології збирання цукрових буряків. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2001. Вип. 4 (18). С. 59–67. *(Здобувачем обґрунтовано потужність валка коренеплодів в залежності від рядності збиральних машин і урожайності коренеплодів).*

4. **Волоха М. П.**, Юрчук В. П. Визначення параметрів коливань коренеплодів при їх викопуванні. Наукові нотатки. 2008. Вип. 23. С. 394–401. *(Здобувачем проведено теоретико-експериментальні дослідження з визначення зусилля на руйнування зв'язків коренеплода з ґрунтом).*

5. Волоха М. П. Моделювання технологічних процесів підготовки ґрунту і насіння до сівби цукрових буряків. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2013. Вип. 43. Ч. I. С. 246–252.

6. Волоха М. П. Подолання багатокритеріальності при моделюванні технологічних процесів вирощування цукрових буряків. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2014. Вип. 18 (32). Кн. 2. С. 237–243.

7. **Волоха М. П.**, Осійчук В. С. Експериментальні дослідження якості роботи нової поверхні шнека копача коренеплодів цукрових буряків. Вісник Інженерної академії України. 2014. № 2. С. 149–152. *(Здобувачем розроблено поверхні гелікоїдальних шнеків).*

8. Волоха М. П. Модернізація комплексу серійних машин для виробництва буряків цукрових з комбінованою шириною міжрядь. Вісник Інженерної академії України. 2016. № 2. С. 33–36.

9. Волоха М. До створення агентно-імітаційної моделі технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби буряків цукрових. Техніка і технології АПК. 2018. № 7. С. 8–11.

10. Волоха М. П. Тенденції розвитку і можливості застосування сучасних гичкорізів і копачів для збирання буряків цукрових при звужених міжряддях. Вісник Інженерної академії України. 2018. Вип. 1. С. 208–212.

11. Волоха М. Алгоритмічний опис двоєдиного технологічного процесу підготовки ґрунту і сівби буряків цукрових. Техніка і технології АПК. 2018. № 8. С. 17–21.

#### **Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних**

12. **Volokha M.**, Boldyrieva L. Modeling sugar beet production technology. Вісник Національного авіаційного університету. 2014. Т. 61. № 4. С. 133–139. *(Здобувачем розроблено засадничі умови імітаційного моделювання механізованих технологічних процесів буряківництва).*

13. Волоха М. П. Дослідження технологічного процесу підготовки ґрунту до сівби буряків цукрових сучасними агрегатами. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 226. С. 349–355.

14. Волоха М. П. Імітаційне моделювання технологічних процесів виробництва буряків цукрових. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 251. С. 204–214.

15. Волоха М. П. Вплив експлуатаційно-технологічних факторів на точність сівби буряків цукрових. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2016. № 3 (60). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/6847>.

16. **Волоха М. П.**, Дорошенко Ю. О. Дослідження процесу висіву насіння буряка цукрового сівалками пневматичного типу. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2016. № 6 (63). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/7564/7285>. *(Здобувачем розроблено і досліджено математичну модель дальності падіння насінини при її висіві).*

17. Волоха М. П. Аналіз технологічної ефективності процесу вирощування буряків цукрових на основі методу моделювання. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2018. Вип. 296. С. 89–94.

18. Волоха М. П. Дослідження показників розміщення сходів цукрових буряків за висіву насіння механічними і пневматичними сівалками. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2018. Вип. 297. С. 153–158.

19. Волоха М. П. Агентне імітаційне моделювання механізованих технологічних процесів вирощування буряків цукрових. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2018. № 3 (73). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/10949/9581>.

20. Волоха М. П. Підвищення якості цукросировини шляхом інтенсифікації очищення коренеплодів при їх викопуванні. Наукові горизонти. 2020. № 9 (94). С. 18–24.

#### Статті у наукових виданнях інших держав

21. Волоха Н. П. Разрушение связей корнеплодов с почвой при вибрационном их подкапывании. Техника в сельском хозяйстве. 1990. № 5. С. 33–35.

22. Борисюк В. А., Зуев Н. М., **Волоха Н. П.** Возделывание сахарной свеклы с узкими междурядьями. Сахарная свекла. 1990. № 2. С. 27–31. *(Здобувачем запропоновано схему комбінування міжрядь  $3 \times 30 \text{ см} + 1 \times 45 \text{ см}$  в одному блоці).*

23. **Волоха Н. П.**, Клауснитцер Томас. Производственное испытание сеялки «Мультикорн». Сахарная свекла. 1993. № 3. С. 29–30. *(Здобувачем проведено порівняльні експериментальні дослідження оригінальної пневмосівалки німецького виробництва та математична обробка даних).*

24. **Волоха Н. П.**, Скляренко А. Т. Проверка технологии. Сахарная свекла. 1993. № 3. С. 28–29. *(Здобувачем проведено апробацію багаторазового посходового внесення гербіцидів за рекомендаціями фірми Schering).*

25. **Волоха Н. П.**, Погребняк С. П. От чего зависит качество уборки. Сахарная свекла. 1995. № 8. С. 14–17. *(Здобувачем досліджено показники якості роботи вітчизняних збиральних машин у польових виробничих умовах).*

26. **Волоха Н. П.**, Войтюк П. А. Оценка работы немецких уборочных машин. Сахарная свекла. 1998. № 9. С. 18–19. *(Здобувачем проведено експериментальні польові дослідження техніко-технологічних показників самохідного комбайна SF-10 фірми F. Kleine).*

27. **Волоха Н. П.**, Погребняк С. П. Опыт применения комбайна М-41 фирмы «Матро». Сахарная свекла. 1998. № 9. С. 20–21. *(Здобувачем проведено експериментальні польові дослідження технологічних показників процесу збирання самохідного комбайна М-41 фірми Matro).*

28. Погребняк С. П., **Волоха М. П.**, Захарова В. В., Гринюк В. П. Энергосберегающая интенсивная технология. Сахарная свекла. 2000. № 2.



С. 14–16. *(Здобувачем проведено теоретико-експериментальні дослідження серійних і нових вітчизняних агрегатів КОЗР-5,4 для міжрядного обробітку).*

29. **Волоха М. П.**, Погребняк С. П., Войтюк П. А. Агрегат для предпосевной обработки почвы. Сахарная свекла. 2000. № 4–5. С. 26–27. *(Здобувачем розроблено конструктивно-технологічні рішення, проведено експериментальні дослідження нових вітчизняних агрегатів АРВ-8,1-01(02) для ранньовесняного і передпосівного обробітку ґрунту).*

30. Volokha M. Tillage Tool Modeling for Soil Loosening Before Sugar Beet Seeding. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Vol. 18. No 2. P. 43–49.

31. Volokha M. Model of Trajectory of Falling Seed When Sowing Sugar Beet by Pneumatic Seeder. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Vol. 18. No 3. P. 73–79.

32. **Volokha M.**, Roik M. Simulation Modeling of Sugar Beet Sowing. Polish Journal of Science. 2020. Vol. 20. No 26. P. 43–48. *(Здобувачем запропоновано вирішувати задачу оптимізації параметрів моделі в додатку Microsoft Solver Foundation).*

#### Статті в інших наукових виданнях

33. Борисюк В. А., Зуев Н. М., **Волоха Н. П.**, Паламарчук В. И. Возделывание сахарной свеклы при комбинированной ширине междурядий. Механизация технологических процессов в свекловодстве. 1994. С. 3–16. *(Здобувачем розроблено комплекс машин для реалізації нового способу вирощування і збирання буряків цукрових з поєднанням основних (30 см) і технологічних (45 см) міжрядь за схемою  $(3 \times 30 \text{ см} + 1 \times 45 \text{ см})$  в одному захваті 16-рядного посівного агрегату і культиватора для міжрядного обробітку та 8-рядних машин для роздільного збирання гички і коренеплодів).*

34. **Волоха М. П.**, Погребняк С. П. Проведення передпосівного обробітку ґрунту з найменшими енерговитратами. Цукрові буряки. 1998. № 3. С. 21–22. *(Здобувачем проведено дослідження показників енерговитрат АРВ-8,1-01(02) за різних варіантів агрегування).*

35. **Волоха М. П.**, Войтюк П. О. Швидкість руху сівалки, норма висіву і точність розміщення насіння. Цукрові буряки. 1999. № 3. С. 12–13. *(Здобувачем встановлено регресійні залежності коефіцієнта варіації розміщення насіння вздовж рядка від робочої швидкості сівалки і норми висіву).*

36. Погребняк С. П., Ермантраут Е. Р., **Волоха М. П.**, Войтюк П. О., Гречка В. В. Наш вибір – вітчизняна технологія. Цукрові буряки. 2000. № 1. С. 13–15. *(Здобувачем розроблено технологічні карти збиральних операцій).*

37. Роїк М. В., **Волоха М. П.**, Войтюк П. О., Фурса А. В. Ефективність механізованих технологій вирощування та збирання цукрових буряків. Вісник аграрної науки. 2000. № 4. С. 43–46. *(Здобувачем теоретично обґрунтовано вибір серійних, нових вітчизняних і зарубіжних машин для порівняння технологій).*

38. **Волоха М. П.**, Войтюк П. О., Іванчук М. І. Вчасно визначитись з технікою для збирання. Цукрові буряки. 2001. № 4. С. 16–17. *(Здобувачем обгрунтовано параметри копачів і гичкорізів для комбінованих міжрядь та розпушувачів ґрунту перед сівбою).*

39. **Волоха М. П.**, Войтюк П. О., Бойченко С. Ф. Переваги сівалки УПС-12. Цукрові буряки. 2003. № 3 (33). С. 22–23. *(Здобувачем проведено теоретичні та експериментальні дослідження, що вказують на переваги пневматичної сівалки УПС-12 перед механічними).*

40. Курило В. Л., **Волоха М. П.**, Войтюк П. О. Удосконалення технологій вирощування і збирання цукрових буряків. Цукрові буряки. 2005. № 5 (47). С. 20–21. *(Здобувачем запропоновано удосконалення технології за рахунок застосування менш енерго-металомістких машин).*

41. Юрчук В. П., **Волоха М. П.**, Волоха В. М. Аналіз геометричних моделей робочих поверхонь копачів коренезбиральних машин. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Прикладна геометрія та інженерна графіка. 2005. Вип. 4. Т. 30. С. 41–46. *(Здобувачем здійснено класифікацію і аналіз поверхонь робочих органів машин для викопування коренеплодів).*

42. Вовк Я. Ю., Сало Я. М., Думич В. В., Курило В. Л., **Волоха М. П.** Впровадження нової бурякозбиральної техніки – шлях підвищення рентабельності виробництва. Цукрові буряки. 2005. № 6 (48). С. 17–19. *(Здобувачем на основі аналізу показників питомої витрати палива доведено переваги технологій, при яких не застосовується технологічний транспорт).*

43. **Волоха М. П.**, Юрчук В. П., Болдирєва Л. В. Геометричне моделювання поверхонь гичкорізів і копачів коренезбиральних машин. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Прикладна геометрія та інженерна графіка. 2012. Вип. 4. Т. 54. С. 32–37. *(Здобувачем розроблено поверхні копачів з використанням методів геометричного моделювання).*

44. Волоха М. П. Принципи моделювання технологічних процесів виробництва цукрових буряків. Проблеми екологічної біотехнології. 2013. № 2. URL: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/5503/6215>.

45. **Волоха М. П.**, Балан В. М. Розробка технологічного комплексу машин для виробництва цукрових буряків з комбінованою шириною міжрядь. Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. 2014. Вип. 22. С. 149–157. *(Здобувачем розроблена технологічна схема комбінування міжрядь з урахуванням можливостей «вписування» робочих органів машин при проведенні сівби, міжрядних обробітків і збирання урожаю).*

46. Волоха М. Збереження родючості ґрунтів за рахунок інтенсифікації первинного очищення коренеплодів буряків цукрових. Техніка і технології АПК. 2016. № 5 (80). С. 11–13.

47. Волоха М. Тенденції розвитку і можливості застосування сучасних гичкорізів і копачів для збирання буряків цукрових при звужених міжряддях. Техніка і технології АПК. 2016. № 7 (82). С. 20–23.

48. Балан В. М., Балагура О. В., **Волоха М. П.** Адаптивна технологія вирощування маточників і насінників буряків кормових. Біоенергетика. 2020. № 1 (15). С. 21–23. *(Здобувачем встановлено, що вихід маточників залежить від повноти і рівномірності розміщення сходів).*

49. Volokha M. Effect of row spacing on photosynthetic productivity in sugar beet. Проблеми екологічної біотехнології. 2016. № 1. URL: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/5503/16391>.

50. Балагура О. В., Балан В. М., Цвей Я. П., **Волоха М. П.** Наукові основи адаптивної технології вирощування буряків цукрових. Цукрові буряки. 2018. № 3 (119). С. 10–13. *(Здобувачем досліджено, що адаптивна технологія, яка базується на застосуванні вітчизняних машин і просапних тракторів ХТЗ-121 (ХТЗ-16131), є найдешевішою за показниками прямих експлуатаційних витрат).*

51. Балагура О. В., Балан В. М., **Волоха М. П.** Реалізація біологічного потенціалу буряків цукрових. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2018. Вип. 93. Ч. І. С. 56–70. *(Здобувачем доведено, що передумовою отримання найвищого за 2013–2015 рр. річного економічного ефекту є реалізація біологічного потенціалу буряків цукрових за адаптивною технологією).*

52. Балан В. М., Балагура О. В., **Волоха М. П.** Прогнозування польової схожості насіння буряків цукрових та кормових. Біоенергетика. 2019. № 2 (14). С. 33–35. *(Здобувачем досліджено вплив польової схожості насіння на рівномірність розміщення сходів).*

53. Balagura O. V., Balan V. M., **Volokha M. P.** Прискорене розмноження сортів і гібридів буряків кормових. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2019. № 5(81). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/13269>. *(Здобувачем розроблено пристрій до сівалки ССТ-12Б, який забезпечує одночасне сортування базисного насіння за питомою масою в межах однієї фракції).*

#### Патент України на винахід

54. Борисюк В. О., Зуєв М. М., **Волоха М. П.**, Паламарчук В. І., Маковецький О. А. Патент на винахід № 5132 Україна, МПК А01 В79/02, А01 С7/00. Спосіб вирощування цукрових буряків; заявник та власник Інститут цукрових буряків УААН; № 4720953/811; заявлено 19.07.1989; опубліковано 28.12.1994; Бюл. № 7. *(Здобувачем розроблено комплекс машин для реалізації способу, що поєднує міжряддя 30 і 45 см за схемою 3×30 см+1×45 см в одному захваті 16-рядного посівного агрегата і культиватора для міжрядного обробітку та 8-рядних машин для роздільного збирання гички і коренеплодів).*

#### Деклараційний патент на винахід

55. Роїк М. В., Войтюк П. О., **Волоха М. П.** Деклараційний патент на винахід № 55133А Україна, МПК 7А01С1/00. Пристрій для підготовки насіння до сівби; заявник та власник Інститут цукрових буряків УААН; № 2002075487; заявлено 04.07.2002; опубліковано 17.03.2003; Бюл. № 3. *(Здобувачем*

*розроблено конструкційно-технологічне рішення транспортера з ємностями для фіксації насінин визначеної маси).*

### **Патенти на корисну модель**

56. Юрчук В. П., **Волоха М. П.**, Волоха В. М., Болдирєва Л. В. Патент на корисну модель №47743 Україна, МПК (2009), B08B 9/00; Робочий орган ґрунтообробного знаряддя (диск); заявник та власник Національний авіаційний університет; № у 200908002; заявлено 29.07.2009; опубліковано 25.02.2010; Бюл. № 4. *(Здобувачем розроблено різальний периметр долотоподібного зубарозпушувача у формі рівнобічної трапеції).*

57. Юрчук В. П., **Волоха М. П.**, Башта О. Т., Волоха В. М., Болдирєва Л. В. Патент на корисну модель № 59726 Україна, МПК A01D 25/04 (2006.1). Робочий орган для викопування коренеплодів; заявник та власник Національний авіаційний університет; № у 201013625; заявлено 16.11.2010; опубліковано 25.05.2011; Бюл. № 10. *(Здобувачем запропоновано зменшувати крок гвинтової навівки транспортуючого шнека дискового копача в напрямку від центра до периферії дисків).*

58. Дорошенко Ю. О., **Волоха М. П.**, Волоха В. М., Болдирєва Л. В. Патент на корисну модель № 78042 Україна, МПК (2013.01) A01D 25/00. Копач для коренеплодів; заявник та власник Національний авіаційний університет; № у 01208785; заявлено 17.07.2012; опубліковано 11.03.2013; Бюл. № 5. *(Здобувачем обґрунтовано робочу поверхню шнека копача у формі похилого гелікоїда).*

59. Балан В. М., Цвей Я. П., **Волоха М. П.** Патент на корисну модель № 126253 Україна, МПК A01B 79/02 (2006.01). Спосіб адаптивної технології вирощування буряків цукрових; заявник та власник Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН; № у 201800218; заявлено 09.01.2018; опубліковано 11.06.2018; Бюл. № 11. *(Здобувачем досліджено, що за умови фізичної стиглості ґрунту за один прохід агрегата у складі АРВ-8,1-0,1/0,2/ + ХТЗ-121 + УПС-12 виконується передпосівний обробіток ґрунту і сівба на кінцеву густоту стояння).*

60. Балан В. М., Кулік О. Г., Рибак В. О., Змієвський В. М., **Волоха М. П.** Патент на корисну модель № 131594 Україна, МПК A01H 1/04 (2006.01). Спосіб попередньої оцінки і відбору селекційних номерів буряків цукрових за господарсько цінними ознаками: врожайності і цукристості коренеплодів; заявник та власник Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН; № у 201807295; заявлено 27.06.2018; опубліковано 25.01.2019; Бюл. № 2. *(Здобувачем розроблено теоретичні передумови додаткового передпосівного розділення насіння за питомою масою).*

61. Балан В. М., Доронін В. А., Балагура О. В., **Волоха М. П.** Патент на корисну модель № 138627 Україна, МПК A01C 7/00 A01H 1/04 (2006.01). Спосіб прискореного розмноження чоловічо-стерильних (ЧС) гібридів буряків цукрових (висадкова модель); заявник та власник Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН; № у 201904442; заявлено 24.04.2019; опубліковано 10.12.2019; Бюл. № 23. *(Здобувачем розроблено пристрій для*

додаткового передпосівного розділення насіння за масою в межах однієї фракції).

### Методичні рекомендації

62. Погребняк С. П., **Волоха М. П.**, Мацевецька Н. М. та ін. Методичні рекомендації по вивченню інтенсивних технологій виробництва цукрових буряків по зонах вирощування України. К., 1995. 33 с. *(Здобувачем розроблено рекомендації з особливостей технологічних регулювань збиральних машин відповідно до умов конкретної зони).*

63. Погребняк С. П., Захарова В. В., **Волоха М. П.** та ін. Методичні рекомендації з освоєння наукових розробок інституту цукрових буряків у районних центрах України. К., 1999. 41 с. *(Здобувачем розроблено рекомендації з наладки машин).*

64. Роїк М. В., Іващенко О. О., Саблук В. Т., **Волоха М. П.** та ін. Методичні рекомендації з апробації «Технологія вирощування цукрових буряків, адаптована до ґрунтово-кліматичних умов зон бурякосіяння України». К., 2001. 29 с. *(Здобувачем розроблено рекомендації з технологічної наладки машин відповідно до стану ґрунту і агрофону поля).*

65. Цвей Я. П., **Волоха М. П.**, Власенко В. С., Бондар С. О. та ін. Рекомендації по енергозберігаючих способах обробітку ґрунту в технологіях вирощування сільськогосподарських культур. К., 2018. 27 с. *(Здобувачем досліджені показники енергозбереження залежно від культури та способу обробітку ґрунту).*

66. Цвей Я. П., **Волоха М. П.**, Бондар С. О., Кисилевська М. О. та ін. Агротехнічні заходи підвищення продуктивності біоенергетичних культур для виробництва біопалива. К., ІБКІЦБ НААН. 2018. 28 с. *(Здобувачем здійснено розробку способів на базі зарубіжних і нових вітчизняних агрегатів).*

### Тези наукових доповідей

67. **Волоха М. П.**, Болдирєва Л. В. До методів проектування ґрунто-обробних органів сільськогосподарських машин. Новітні комп'ютерні технології: VIII Международная научно-техническая конференция, г. Киев, г. Севастополь, 14–17 сентября 2010 года: тези доповіді. Севастополь. 2010. С. 183–184. *(Здобувачем здійснено аналіз методів геометричного проектування).*

68. **Волоха М. П.**, Болдирєва Л. В. Моделювання процесу розпушування ґрунту ребром дискового робочого органу. Геометричне моделювання, комп'ютерні технології та дизайн: теорія, практика, освіта: VII Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 3–6 травня 2011 року: тези доповіді. Ужгород. 2011. Вип. 87. С. 94–98. *(Здобувачем розроблено теоретичні основи проникнення розпушувача в поверхневий шар ґрунту).*

69. **Волоха М. П.**, Болдирєва Л. В. Вплив ступеня кришіння ґрунту на енерговитрати знаряддя зубчастого типу. Моделювання об'єктів, процесів та систем: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 24–25 травня

2011 року: тези доповіді. К., 2011. С. 44–46. *(Здобувачем визначено вплив форми різального периметра зуба на ступінь кришіння поверхневого шару ґрунту).*

70. **Волоха М. П.,** Болдирєва Л. В. Удосконалення поверхні транспортуючого шнека дискового копача коренезбиральних машин. Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн: VIII Міжнародна Кримська науково-практична конференція, м. Київ, м. Сімферополь, 26–30 вересня 2011 року: тези доповіді. Сімферополь. 2011. Вип. 2. С. 53–55. *(Здобувачем обґрунтовано гелікоїдальну форму робочої поверхні шнека-очисника дискового копача).*

71. Волоха М. П. Математичне моделювання траєкторії руху насінини. Архітектура та екологія, проблеми міського середовища: IV Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 27–28 листопада 2012 року: тези доповіді. К., 2012. С. 6–7.

72. **Volokha Mykola,** Boldyrieva Larisa. Modeling of the working surface form of the topsoil loosener. Наука-будущее Литвы: 16-я Международная конференция молодых ученых, г. Вильнюс, Литва, 8 мая 2013 года: тезисы доклада. Вильнюс. 2013. Вып. 16. С. 208–214. *(Здобувачем проведено аналіз різних за формою типів розпушувачів на основі чого запропоновано долотоподібний зуб з трапецеїдальним перерізом).*

73. **Волоха М. П.,** Дорошенко Ю. О. Оптимізація схеми сівби цукрових буряків відповідно до задіяного технологічного комплексу машин. Сучасні проблеми геометричного моделювання: XV Міжнародна науково-практична конференція, м. Мелітополь, 4–7 червня 2013 року: тези доповіді. Мелітополь. 2013. Вип. 4. Т. 57. С. 35–44. *(Здобувачем розроблено схеми сівби з одночасним врахуванням можливостей механізації технологічних процесів і оптимізації площі живлення рослин).*

74. **Волоха М. П.,** Дорошенко Ю. О. Екологічні аспекти моделювання копачів машин для збирання коренеплодів цукрових буряків. Архітектура та екологія: V Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 29–30 жовтня 2013 року: тези доповіді. К., 2013. Ч. II. С. 183–187. *(Здобувачем зроблено висновок про приховану екологічну проблему, пов'язану з вивозом на завод неочищеного від землі вороху коренеплодів).*

75. **Волоха М. П.,** Балан В. М. Розробка технологічного комплексу машин для виробництва цукрових буряків з комбінованою шириною міжрядь. Методика, механізація, автоматизація та комп'ютеризація досліджень у землеробстві, рослинництві, садівництві та овочівництві: Міжнародна наукова інтернет-конференція, м. Київ, 17 червня 2014 року: тези доповіді. К., 2014. Вип. 22. С. 149–157. *(Здобувачем розроблено і апробовано у виробництві комплекс машин для впровадження технології з комбінованими міжряддями, яка забезпечує збільшення врожайності на 5,6–6,0 т/га).*

76. **Волоха М. П.,** Дорошенко Ю. О. Моделювання двоєдиного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби буряків цукрових. АВІА–2015: XII Міжнародна науково-технічна конференція, м. Київ, 28–29 квітня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 4.22–4.27. *(Здобувачем*

*розроблена агентна імітаційна модель двоєдиного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби).*

77. Волоха М. П. Дослідження технологічного процесу підготовки ґрунту до сівби буряків цукрових сучасними агрегатами. Сучасні проблеми землеробської механіки: XVI Міжнародна наукова конференція, присвячена 115-річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, м. Київ, 17–18 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 111–115.

78. **Волоха М. П.**, Дорошенко Ю. О. Збереження родючості ґрунтів за рахунок інтенсифікації первинного очищення коренеплодів буряків цукрових. Архітектура та екологія: VII Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 16–18 листопада 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 40–44. *(Здобувачем доведено, що очищення коренеплодів у полі під час їх викопування є складовою вирішення проблеми збереження родючих ґрунтів).*

79. Волоха М. П. Вплив взаємодії основних технологічних факторів на точність розміщення насіння буряків при сівбі. Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: IV науково-технічна конференція, смт Глеваха, 14–20 грудня 2015 року: тези доповіді. Глеваха, 2016. С. 25–28.

80. Волоха М. П. Адаптована агентна імітаційна модель технологічних процесів і технічних засобів вирощування буряків цукрових. АВІА–2017: XIII Міжнародна науково-технічна конференція, м. Київ, 19–21 квітня 2017 року: тези доповіді. К., 2017. С. 4.13–4.18.

81. Волоха М. П. Базові засади створення алгоритму імітаційної моделі технологічних процесів виробництва буряків цукрових. КЗЯТПС–2017: VII Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 24–27 квітня 2017 року: тези доповіді. Чернігів. 2017. Т. 2. С. 132–135.

82. **Волоха М.**, Балан В. Виробнича перевірка технології вирощування буряків цукрових на базі вітчизняних машин, агрегованих з просапними тракторами ХТЗ. Сучасні проблеми землеробської механіки: XVIII Міжнародна наукова конференція, присвячена 117-річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, м. Кам'янець Подільський, 16–18 жовтня 2017 року: тези доповіді. Кам'янець Подільський. 2017. С. 42–45. *(Здобувачем проведено виробничу перевірку технології на базі вітчизняних машин).*

83. Волоха М. Агентне імітаційне моделювання технологічних процесів вирощування буряків цукрових. Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 23–25 травня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. Т. 5. С. 150–151.

84. **Волоха М. П.**, Дорошенко Ю. О. Формотворення робочої поверхні шнека-очисника дискового копака коренеплодів. Обуховські читання: XIV Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 29 березня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 63–67. *(Здобувачем здійснено розробки очищувальної поверхні шнека у формі прямого і похилого гелікоїдів, крок навівки яких поступово зменшується в напрямку транспортування).*

85. **Волоха М.**, Балан В. Особливості харківської енергоощадної технології вирощування і збирання маточних буряків на базі інтегрального

трактора ХТЗ-121. Агроінженерія: сучасні проблеми та перспективи розвитку: II Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 90-й річниці з дня заснування механіко-технологічного факультету НУБіП України, м. Київ, 7–8 листопада 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 41–42. *(Здобувачем обгрунтовано проведення сівби комплексом у складі АРВ-8,1-02+ХТЗ-121+ССТ-18В, який за один прохід здійснює підготовку ґрунту і висів насіння).*

86. **Волоха М. П.**, Дорошенко Ю. О. Використання поняття «різальний периметр» у формотворенні робочої поверхні розпушувача ґрунту. Обуховські читання: XV Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 10 березня 2020 року: тези доповіді. К., 2020. С. 56–57. *(Здобувачем розроблено форму поперечного перерізу зуба розпушувача).*

87. Волоха М. П. Імітаційне моделювання передпосівного обробітку ґрунту і сівби як двоєдиного технологічного процесу вирощування буряків цукрових. КЗЯТПС–2020: X Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 29–30 квітня 2020 року: тези доповіді. Чернігів. 2020. Т. 2. С. 172–174.

88. Волоха М. П. Напрями розробки і удосконалення сучасної збиральної техніки щодо покращення якості бурякоцукрової сировини. IV Міжнародна науково-практична конференція «Біоенергетичні системи», м. Житомир, 29 травня 2020 року: тези доповіді. Житомир, 2020. С. 108–111.

## АНОТАЦІЯ

**Волоха М. П. Моделювання механізованих технологічних процесів вирощування і збирання буряків цукрових.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2020.

Дисертацію присвячено підвищенню продуктивності виробництва буряків цукрових шляхом моделювання технологічних процесів і технічних засобів для їх вирощування та очищення коренеплодів при викопуванні.

Розроблено методи і структуру дворівневого моделювання двоєдиного механізованого технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби насіння.

Одержано математичну модель руху падаючої насінини при висіві апаратом пневматичного типу. Встановлено, що оптимальною для підвищення рівномірності інтервалів між насінням вздовж рядка є норма його висіву в межах 7–8 шт./м за робочої швидкості сівалки 1,2–1,4 м/с.

Розроблено і впроваджено у виробництво комплекс машин для реалізації нового способу вирощування і збирання буряків цукрових з комбінованою шириною (3×30 см+1×45 см) міжрядь, що забезпечує підвищення врожайності коренеплодів на 5,6–6,0 т/га.

Досліджено форми нових робочих поверхонь гелікоїдальних шнеків-очищувачів дискового копача для первинного очищення викопаних



коренеплодів та трапецієвидних зубців-розпушувачів знаряддя для проведення передпосівного обробітку ґрунту.

**Ключові слова:** технологічний процес, технічний засіб, математичне моделювання, моделі імітаційні, агентні, регресійні, геометричні; буряки цукрові, польова схожість насіння, рівномірність, густота стояння рослин, комбіновані міжряддя.

## АННОТАЦИЯ

**Волоха Н. П. Моделирование механизированных технологических процессов выращивания и уборки сахарной свеклы.** – На правах рукописи.

Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.11 «Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины. Киев, 2020.

Диссертация посвящена повышению производительности производства сахарной свеклы путем моделирования технологических процессов и технических средств для их выращивания и очистки корнеплодов при выкапывании.

Разработаны методы и структура двухуровневого моделирования двуединого механизированного технологического процесса получения всходов сахарной свеклы, состоящего из предпосевной обработки почвы и посева семян.

Создан алгоритм решения оптимизационной многокритериальной задачи получения максимальной полевой всхожести семян путем поиска в пространстве локальных критериев производительности отдельных технологических операций, который основан на методе деформирующихся конфигураций.

Полученная математическая модель движения семени, отделившегося от высевающего диска и падающего ко дну борозды при посеве аппаратом пневматического типа, где доведено, что дальность полета семени, которое падает отделившись от ячейки высевающего диска, напрямую зависит от его массы и начальной скорости и обратно – от угла наклона ее вектора к горизонту.

Установлено, что оптимальной для повышения вдольрядной равномерности интервалов между высеваемыми в грунт семенами, является норма посева в пределах 7–8 шт./м при рабочей скорости сеялки 1,2–1,4 м/с.

Разработано устройство для предпосевного разделения семян по массе в пределах одной фракции, обеспечивающее повышение равномерности интервалов между высеваемыми в грунт семенами.

Разработан и внедрен в производство комплекс машин для реализации нового способа выращивания и уборки сахарной свеклы с комбинированной шириной ( $3 \times 30$  см +  $1 \times 45$  см) междурядий, что обеспечивает повышение урожайности корнеплодов на 5,6–6,0 т/га.

Исследованы формы новых рабочих поверхностей геликоидальных шнеков-очистителей дискового копача для первичной очистки выкопанных корнеплодов от почвенных и растительных примесей и трапецевидных зубцов-рыхлителей орудия для проведения предпосевной обработки почвы в условиях повышенной и нормальной твердости почвы.

**Ключевые слова:** технологический процесс, техническое средство, математическое моделирование, модели имитационные, агентные, регрессионные, геометрические, сахарная свекла, полевая всхожесть семян, равномерность, густота стояния растений, комбинированные междурядья.

## ANNOTATION

**Volokha M. P. Modeling of Mechanized Technological Processes of Growing and Harvesting Sugar Beet.** – The Manuscript.

Theses for obtaining a scientific degree of Doctor of Technical Sciences in Specialty 05.05.11 «Machines and Means of Mechanization of Agricultural Production». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to increasing the productivity of sugar beet production by modeling technological processes and technical means of their cultivation and cleaning root crops when digging

The methods and structure of two-level modeling of a two-part mechanized technological process for obtaining seedlings of sugar beet, consisting of pre-sowing tillage and sowing, have been developed.

An algorithm has been created for solving the optimization multi-criteria problem of obtaining maximum field germination of seeds by searching in the space for local performance criteria for individual technological operations.

A set of machines has been developed and put into production for the implementation of a new method of growing and collecting sugar beets with a combined width ( $3 \times 30$  cm +  $1 \times 45$  cm) of row-spacing, which ensures an increase in the yield of root crops by 5.6–6.0 t/ha.

The forms of new working surfaces of helicoidal auger-disk digging augers for the primary cleaning of dug root crops from soil and plant debris and trapezoidal tine-baking powder tools for pre-sowing tillage under conditions of increased and normal soil hardness are investigated.

The obtained mathematical model of the movement of falling seeds during sowing by a pneumatic type apparatus, where it was found that the most favorable for uniform distribution of seeds along the row is the sowing rate of 7–8 pcs/m according to the working speed of the seeder 1.2–1.4 m/from.

A device has been developed for presowing separation of seeds by weight within one fraction.

**Key words:** technological process, technical means, mathematical modeling, simulation models, agent, regression, geometric, sugar beet, field germination, uniformity, plant density, combined row spacing.

Підписано до друку 31.08.2020 р.    Формат 60х84\16  
Ум. друк. арк. 1,9                            Обл.-вид.арк. 1,9  
Наклад 100 прим.                            Зам. № 200438

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі НУБіП України  
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, тел.: 527-81-55  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4097 від 17.06.2011

