

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПАНКОВ АНДРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 631.331.53

**НАУКОВІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК ЗАСТОСУВАННЯМ ПНЕВМАТИЧНИХ
ВИСІВНИХ ПРИСТРОЇВ ДИСКРЕТНОЇ ДІЇ**

Спеціальність 05.05.11 – Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
133 – галузеве машинобудування

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Кропивницький - 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Центральнуукраїнському національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Аулін Віктор Васильович,
Центральнуукраїнський національний технічний університет, професор кафедри експлуатації та ремонту машин.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Пастухов Валерій Іванович
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка
завідувач кафедри сільськогосподарських машин

доктор технічних наук, професор
Гевко Богдан Матвійович
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
професор кафедри автомобілів

доктор технічних наук, професор
Тищенко Сергій Сергійович
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
професор кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві

Захист відбудеться " 15 " травня 2018 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 23.073.01 у Центральнуукраїнському національному технічному університеті за адресою: 25030, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Центральноукраїнського національного технічного університету за адресою: 25030, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.

Автореферат розісланий " ____ " _____ 2018 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В. М. Каліч

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В даний час сівба багатьох культур виконується за застарілими технологіями недосконалими посівними машинами. Монопольне становище займає посів зернових культур рядовими сівалками типу СЗ-3,6, хоча відомо, що ці посівні машини є матеріало- і енергоємними, а технологія посіву такими сівалками не відповідає багатьом сучасним вимогам, допускається до 10...30% перевитрат посівного матеріалу і його пошкодження. До того ж зернотукові сівалки типу СЗ-3,6 морально застаріли. Встановлено, що недосконалість посівних машин призводить до зниження врожайності на 15...30%. Внаслідок цього, особливістю технічної політики повинна бути не тільки модернізація існуючих сівалок, але й створення машин нового покоління.

Однак темпи інноваційного розвитку сільського господарства недостатні, що є причиною зниження ефективності застосування передових технологій та негативно позначається на конкурентоспроможності продукції. Має місце відносно вдосконалення техніки з коефіцієнтом інноваційності не більше 1,1...1,3, в той час коли нові технічні засоби повинні мати значення цього коефіцієнта не менше 2,0. Розробка нової, більш ефективної сільськогосподарської техніки (СГТ) стримується через повільні темпи створення і впровадження нових робочих органів, що задовольняють зростаючим вимогам за якісними та енергетичними показниками роботи.

На кожному етапі розвитку та зміни конструкцій машин прагнуть до відносного здешевлення, планомірного зниження питомої витрати металу, енергії і ціни нової машини в розрахунку на одиницю продуктивності. Однак ця фундаментальна вимога часто порушується машинобудівниками.

Оскільки існуючі можливості підвищення ефективності застосування техніки практично вичерпані, то все більшого значення набуває подальше впровадження інтелектуальних і автоматизованих систем, роботизації, широке застосування електроніки та систем точного інформаційного землеробства. Значні витрати на розширення можливостей традиційних механічних систем вже себе не виправдовують і при цьому очевидне істотне уповільнення темпів зростання основних характеристик, показників роботи і функціональних можливостей СГТ.

У порівнянні з іншими розвинутими аграрними країнами, вітчизняні сільгоспвиробники ще недостатньо використовують технічні та технологічні досягнення науки і передового досвіду, а заводи випускають морально застарілу техніку, розроблену 30...40 років тому. Внаслідок цього вимушено застосовуються спрощені екстенсивні технології з використанням техніки третього, іноді четвертого технологічних укладів, розраховані на використання природної родючості ґрунту та які по продуктивності в 10...15 разів нижче, ніж у передових країнах світу. Техніка п'ятого технологічного укладу, застосовувана в нових технологіях, повинна забезпечити прецизійне інформаційне управління процесами вирощування сільськогосподарських культур.

Щоб подолати об'єктивно виникаючі причини зниження ефективності машин, технологічних і виробничих процесів, необхідно створити умови для переходу на наступний етап технічного прогресу. Це може бути забезпечено за рахунок подальшого удосконалення робочих процесів, зміни механіко-технологічних принципів впливу на об'єкти обробки, компоновально-технологічних схем і параметрів машин. Тому дослідження наукових основ

підвищення ефективності і розробки нових технічних рішень, заснованих на сучасних досягненнях науки і техніки, є актуальним.

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

Дисертаційна робота виконувалась у відповідності до "Національної програми розвитку агропромислового виробництва і відродження села України" на 1999-2010 роки; згідно «Стратегії пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки в Україні» на 2011-2020 роки., а саме – новітні та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та АПК; згідно «Програми впровадження регіональних наукових досліджень у промислове виробництво Кіровоградської області на 2017-2020 роки», а також згідно напрямків наукових досліджень Центральноукраїнського національного технічного університету (ЦНТУ) за темами «Розробка та впровадження нових технологій у виробництві та ремонті сільськогосподарської та автотракторної техніки» (№ ДР 0116U008106) та «Наукові основи підвищення ефективності висівних систем застосуванням струминних елементів та пристроїв» (№ ДР 0116U008109).

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є розробка наукових основ підвищення ефективності конструкцій і робочого процесу зернових сівалок застосуванням пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії на основі елементів пневмоніки.

Для реалізації поставленої мети сформульовані наступні задачі досліджень:

- на основі аналізу стану проблеми встановити чинники, що визначають ефективність роботи зернових сівалок, формалізувати їх у вигляді комплексу показників ефективності, обґрунтувати методологічну основу покращення даних показників і визначення найбільш оптимального вирішення проблеми підвищення ефективності роботи зернових сівалок;
- дослідити динаміку значень показників ефективності, що характеризують конструкції та робочий процес зернових сівалок, для визначення актуальних напрямів удосконалення, розробки та застосування посівних машин, виходячи з аналізу отриманих даних;
- на основі аналізу отриманих даних за динамікою значень показників ефективності та загального співвідношення між витратами і ефективністю обґрунтувати комплексний універсальний критерій ефективності, визначити його фізичний зміст і чисельні значення для зернових сівалок з різними висівними системами, а також дослідити зв'язок запропонованого критерію з оцінкою ефективності роботи інших технічних засобів механізації;
- здійснити функціонально-структурний аналіз і визначити розподіл функціонального навантаження в автоматизованих системах управління висівом, дослідити передачу механічної енергії струменями в силових струминних елементах для вдосконалення пневматичних висівних систем дискретної дії з елементами пневмоніки та визначити енергетичні характеристики їх роботи;
- обґрунтувати геометричні характеристики силових струминних елементів висівних апаратів, провести гідродинамічне імітаційне комп'ютерне моделювання силового елемента, випробувати оптимізований силовий струминний елемент і елемент-ежектор для отримання характеристик робочого процесу;
- удосконалити конструктивно-компонувальні схеми пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії з елементами пневмоніки для

створення та подачі по сошниках вихідного потоку насіння в зернових сівалках, зробити вибір і обґрунтування апаратної платформи модуля управління висівом та розробити програмне забезпечення регулювання норми висіву;

- експериментально дослідити розроблені пневматичні апарати і системи дискретної дії для визначення показників, що характеризують процес висіву;

- встановити енергетичну і техніко-економічну ефективність застосування розроблених пневматичних висівних апаратів та пристроїв дискретної дії з елементами пневмоніки у порівнянні з іншими висівними апаратами і системами зернових сівалок.

Об'єкт досліджень – робочий процес зернових сівалок, ефективність його реалізації та управління, у відповідності з сучасним рівнем розвитку техніки та технологій вирощування зернових культур.

Предмет досліджень – механіко-технологічні закономірності, що визначають динаміку показників ефективності робочого процесу зернових сівалок та висівних систем, у відповідності з сучасними вимогами.

Методи досліджень. Загальною методологічною основою досліджень є системний підхід та його методи, зокрема інтелектуальний аналіз даних із застосуванням еволюційних обчислень, генетичних алгоритмів і програмування, технології Data Mining, стохастичного прогнозування і математичної статистики. Теоретичні дослідження також виконані на основі методів теорії автоматичного управління, гідроаеромеханіки, гідродинамічних аналогій і механіки сипучих середовищ, теорії ефективності. При виконанні експериментальних досліджень використані методи аеродинамічного комп'ютерного імітаційного моделювання і програмування, галузеві і приватні методики випробувань висівних апаратів і систем. Обробка результатів експериментальних досліджень виконана із застосуванням комп'ютерних технологій, використанням методів математичного аналізу і математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розв'язанні проблеми, обґрунтуванні та подальшому розвитку наукових основ підвищення ефективності конструкцій і роботи зернових сівалок на основі методології системного підходу, а також його методів – системного аналізу та синтезу, що дозволило встановити системоутворюючі закономірності з оцінки ефективності застосування сільськогосподарської техніки.

Вперше:

- обґрунтовано комплексний критерій ефективності застосування посівних машин який є співвідношенням витрат енергії, виражених питомим тяговим опором, до показника питомої продуктивності, що дозволяє встановити порівняльну ефективність роботи зернових сівалок;

- із застосуванням гідромеханічних подібностей представлено фізичну аналогію отриманого комплексного критерію ефективності з динамічним коефіцієнтом в'язкості, що дозволило обґрунтувати раціональність підвищення швидкості роботи зернових сівалок;

- на основі зіставлення фізико-технічних розмірностей показників та критеріїв роботи технічних засобів механізації узагальнено обґрунтований комплексний критерій для оцінки ефективності застосування інших видів сільськогосподарської техніки;

- встановлена тенденція всеполюсного розвитку висівних апаратів і систем посівних машин та з'ясовано, що у всепольних системах розвиток йде в напрямку переходу від аналогових механічних впливів до дискретних імпульсних і електромагнітних впливів, збільшення дисперсності речовин і кількості зв'язків між елементами, що дозволило обґрунтувати раціональність рішення по вибору пневматичної висівної системи дискретної дії;

- запропоновано мехатронну концепцію автоматизації та диференційованого висіву в висівних апаратах і системах, на основі чого встановлено, що в даному випадку показник функціонально-структурної інтеграції технічних засобів для диференційованого висіву $I^{FS} > 0$, що дозволяє розробляти і застосовувати мехатронні модулі для управління висівом, в яких максимум функціональних перетворень зосереджений в єдиному структурному елементі, а розподіл функціонального навантаження в системі автоматизації є більш рівномірним;

Удосконалено:

- метод теоретичних досліджень передачі механічної енергії плоскими струменями в силових струминних елементах. Це дозволило встановити, що при взаємодії струменя робочого тіла з приймальною частиною силового струминного елемента виникають складні вторинні течії у вигляді зворотних потоків, пов'язані з нерівномірністю розподілу швидкостей в струмені, які істотно впливають на витрату і тиск в приймальному каналі;

- метод розробки і дослідження силових елементів пневмоніки шляхом імітаційного моделювання їх робочого процесу в програмному середовищі ANSYS Fluent, що дозволило отримати картину перемикавання силових елементів, яка відрізняється від тієї, що існувала раніше і була заснована на непрямих результатах експериментальних досліджень, що не давало повної картини процесу перемикавання і характеру виникнення пульсацій тиску внаслідок виникнення вторинних течій і зворотних потоків робочого тіла.

Отримав подальший розвиток:

- метод застосування еволюційних обчислень, на основі якого встановлено, що розвиток традиційних зернових сівалок визначається логістичною S-функцією та досяг насичення, а закладений принцип дії щодо показників техніко-економічної ефективності приймає граничні характеристики, тому підвищення ефективності конструкцій і робочого процесу можливе на зміні механіко-технологічного принципу дії висівних систем і компоновально-технологічних схем сівалок.

Практичне значення отриманих результатів. На основі виконаних експериментальних і теоретичних досліджень робочого процесу зернових сівалок та управління робочим процесом вирішена комплексна проблема підвищення їх ефективності розробкою технології висіву зернових культур на основі сімейства пневматичних висівних пристроїв дискретної дії, які дозволяють зменшити енергоємність роботи зернових сівалок, знизити їх тяговий опір, більш ефективно здійснювати автоматизацію. При цьому:

- розроблено методику та програмне забезпечення для еволюційних обчислень життєвого циклу посівних машин на основі генетичних алгоритмів, що дозволяє приймати раціональні рішення в складних системах, з метою знаходження періоду ефективного використання певних видів машин і технічних систем;

- в результаті аеродинамічного моделювання отримано оптимальні геометричні співвідношення в силових струминних елементах, що дозволило розробити силові струминні елементи, а також елемент-ежектор для пневматичних висівних пристроїв дискретної дії;

- запропоновано і досліджено способи пневмоструминного висіву, підтверджені пат. України на корисну модель №112482, №114711, а також спосіб розподілу технологічного матеріалу (пат. України на корисну модель №115394);

- розроблено і випробувано конструкції нових пневматичних дискретних висівних систем з елементами пневмоніки і струминної техніки, підтверджені патентами України на корисну модель №108787, №115046, №116994, №122243;

- запропоновано конструктивне виконання зернової сівалки з роздільно-агрегатною компонувальною схемою групового висіву і дискретною пневматичною висівною системою на основі елементів струминної техніки, що дозволяє знизити матеріалоємність конструкції, питомий тяговий опір, приведені витрати і енергоємність роботи, покращити якісні показники процесу висіву у порівнянні з сівалками з ПЦВС, а також підвищити швидкість руху на сівбі зернових культур;

- розроблено мехатронний програмно-апаратний комплекс регулювання норми висіву для дискретних пневматичних висівних систем з елементами струминної техніки, що дозволяє більш ефективно здійснювати автоматизацію і інформатизацію робочого процесу зернових сівалок;

На основі результатів досліджень розроблено рекомендації виробництву щодо вдосконалення засобів механізації сівби зернових культур, які прийняті до впровадження у ТОВ НВП «Союз-Композит» Дніпропетровської області, м.Дніпро; в ПАТ «Рівнесільмаш» Рівненської області, Рівненського району, смт.Квасилів; у ТДВ «Булат» Тернопільської області, смт. Микулинці; у ПП «Астарта Груп», м. Кропивницький; у СВК «Україна» Добровеличківського району Кіровоградської області, с. Тишківка та використовуються у навчальному процесі кафедри «Експлуатація і ремонт машин» (ЕРМ) ЦНТУ при проведенні лекційних, лабораторних та практичних занять по дисциплінам «Теорія технічних систем», «Математичне моделювання технічних систем і процесів», «Технологія виробництва сільськогосподарської продукції», «Прогнозування та напрями розвитку сільськогосподарської техніки», «Основи автоматики та автоматизації сільськогосподарської техніки», «Технологія механізованих робіт в рослинництві», «Надійність сільськогосподарської техніки» та інших дисциплінах кафедри «ЕРМ» ЦНТУ.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові й теоретичні положення та практичні результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, одержані здобувачем особисто. Без співавторів опубліковано наукові праці – [7, 10, 11, 12, 18, 21, 27, 39, 41, 42, 43]. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, використовуються результати, отримані особисто здобувачем, а саме: проведено енергетичну оцінку показників робочого процесу висівних апаратів і систем, обґрунтовано спосіб адаптації висівних апаратів і систем з елементами пневмоніки до диференційованого висіву – [1]; теоретично визначена мінімальна швидкість руху насіння у вихровому розподільнику – [2]; визначені значення зв'язності і частоти досягнення псевдорідинного стану

насіння – [3]; запропоновано принцип двоїстості для спрощення тотожностей Булевої алгебри – [4]; досліджено реологічні характеристики ґрунту – [5]; запропоновано напрями подальшого вдосконалення висівних пристроїв на основі елементів пневмоніки – [6]; розроблено нові конструкції висівних пристроїв з елементами пневмоніки – [8]; експериментально досліджено реологічні характеристики насіння – [9]; запропоновано конструкцію універсального висівного апарата з елементами пневмоніки для рядкової сівби – [13]; обґрунтовано рішення щодо використання портативних обчислювальних пристроїв в технологіях СТІЗ – [14]; встановлена темпоральна залежність динаміки значень питомого тягового опору зернових сівалок – [15]; проведено порівняльний аналіз верхньої і нижньої подачі насіння – [16]; проведені експериментальні дослідження елемента-ежектора плоского типу – [17]; проведені теоретичні і експериментальні дослідження траєкторії польоту насіння на виході з пневмоструминного висівного апарату – [19]; запропоновані конструктивні схеми силових струминних елементів – [20]; розглянуто умови роботи елементів пневмоніки на посівній техніці – [22]; визначено підведену і споживану потужність, ККД висівних систем – [23]; обґрунтовано конструктивно-компонувальні схеми висівних пристроїв з елементами пневмоніки для рядкових сівалок – [24]; визначені енерговитрати при роботі висівних систем рядкових сівалок – [25]; проведено теоретичні і експериментальні дослідження процесу висіву – [26]; вдосконалено конструкцію маятникового висівного апарата з елементами пневмоніки – [28]; визначена рівномірність розподілу насіння при швидкісній сівбі пневмоструминним висівним апаратом – [29]; розроблено програмне забезпечення для еволюційних обчислень – [30]; вдосконалено конструкції струминних датчиків – [31]; розроблено програмно-апаратне забезпечення – [32]; визначено чисельні значення критерію ефективності зернових сівалок – [33]; розроблено висівну систему з вихровим розподільником насіння – [34]; розроблено апаратну схему реалізації поточно-програмного регулювання норм внесення технологічних матеріалів – [35]; обґрунтовано вибір програмно-апаратних засобів диференційованого дозування технологічних матеріалів – [36]; визначені показники функціонально-структурної інтеграції в засобах автоматизації процесу висіву – [37]; експериментально досліджені висівні пристрої для посіву зернових культур – [38]; встановлена тенденція вепольного напрямку розвитку висівних пристроїв – [40]; визначено тенденцію зниження віддачі виробничих фондів та зниження ефективності застосування технічних засобів – [44]; систематизовано проблеми адаптації посівних машин до диференційованого висіву – [45]; розглянуто застосування пневмоніки у висівних пристроях лісових сівалок – [46]; визначено уточнені геометричні характеристики силових струминних елементів – [47]; встановлено відповідність S-подібній функції зміни технологічних показників зернових сівалок – [48]; запропонована турбулізація для поліпшення розподілу насіння – [49]; запропоноване блокове компоновання висівного пристрою – [50]; запропоновано застосування моностабільного силового струминного елемента – [51]; запропоновано застосування вихрового клапана – [52]; запропоновано застосування дифузора – [53]; запропоновано дроселювання витрати повітря – [54]; розроблено виконуючий механізм – [55].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: науково-практичних конференціях факультету механізації (м. Луганськ, ЛНАУ, 2001-2006 рр.); на IV Міжнародній науково-практичній конференції "Механізація і енергетика сільського господарства" MOTROL'03, (м. Київ, НАУ, 2003 р.); на V, VI Міжнародних науково-практичних конференціях «Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД» (м. Краснодар, КраФІМ СУНУ, 2012, 2013 рр.); на Всеукраїнській науково-практичній Інтернет-конференції з міжнародною участю «Нові матеріали і перспективні технології, охорона праці і професійна освіта» (м. Луганськ, 2014 р.); на IX Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми гірництва та екології гірничого виробництва» (м. Антрацит, 2014 р.), на IX, X, XI Міжнародних науково-практичних конференціях "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки" (м. Кропивницький, 2013, 2015, 2017 рр.); на розширеному науково-технічному семінарі факультету механізації сільського господарства (м. Дніпропетровськ, 2016 р.); на науково-практичній конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (м. Дніпропетровськ, 2016 р.); на IX Міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (м. Київ, НАУ, 2016); на 81 Науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, наукових співробітників та аспірантів, з міжнародною участю (м. Мінськ, БДАУ, 2017 р.); на науково-практичних конференціях "Проблеми надійності машин і засобів механізації сільськогосподарського виробництва" (м. Харків, ХНТУСГ, 2016, 2017 рр.), на III Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу с.-г. машин і знарядь» (м. Житомир, ЖНАУ, 2017 р.); на Міжнародній науково-практичній конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в сільському господарстві» (м. Мінськ, БДАУ, 2017 р.).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 1 монографію, 55 наукових праць, у тому числі: 32 статті у фахових виданнях переліку МОН України; 5 статей у закордонних періодичних виданнях; 10 матеріалів і тез доповідей на науково-технічних конференціях; 7 патентів на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, шести розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації становить 456 сторінок. Повний обсяг анотації складає 23 сторінки. Дисертація містить 135 ілюстрацій (з них ті, що займають повну сторінку – 10), 37 таблиць (з них ті, що займають повну сторінку – 6). Список використаних джерел із 544 найменувань займає 67 сторінок. Додатки містять 56 сторінок. Обсяг основної частини дисертації становить 300 сторінок, або 12,5 друкованих аркушів.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет досліджень, описані використані методи і методики досліджень та зв'язок роботи з науковими програмами, визначена наукова новизна і практична цінність, наведено дані апробації основних положень дисертації, дана загальна характеристика роботи.

В першому розділі «Аналіз стану проблеми підвищення ефективності роботи зернових сівалок та методів її розв'язання» представлено огляд і аналіз стану проблеми розвитку і ефективності застосування зернових сівалок, висівних пристроїв і систем управління висівом.

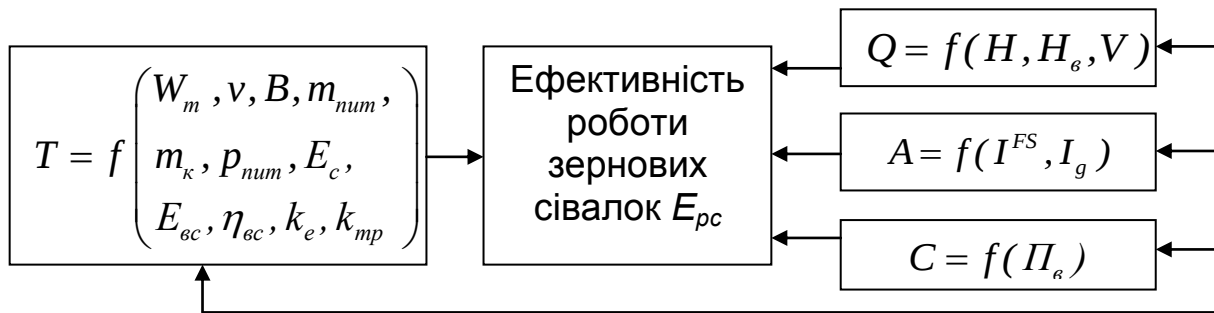
Відомі вітчизняні та зарубіжні вчені в галузі посіву та посівної техніки – В. В. Амосов, Л. В. Аніскевич, В. С. Астахов, В. В. Аулін, В. С. Басін, Н. М. Беспамятнова, В. О. Белодєдов, Є. А. Біляєв, А. І. Бойко, А. А. Будагов, Г. М. Бузенков, Д. Г. Вальянов, П. М. Василенко, Д. Г. Войтюк, Б. М. Гевко, В. П. Горячкін, В. О. Желіговський, Б.І. Журавльов, П.М. Заїка, С. В. Кардашевський, О. Н. Карпенко, М. Г. Кінкер, В. Я. Коваль, В. Ю. Комарістов, Б.Ф. Кузнецов, М. М. Летошнєв, Г. Є. Листопад, П. Я. Лобачевський, Н. І. Любушко, С.А. Ма, В. І. Пастухов, О. Й. Петрусов, Л. В. Погорілий, М. О. Свірень, А. Н. Семенов, П. В. Сисолін, В. С. Сухін, С. С. Тищенко, М. С. Хоменко, М. І. Черновол, В. П. Чічкін, М. С. Шведик, С. І. Шмат, Н. Weiste та інші – зробили значний внесок в теорію та практику дослідження, конструювання і застосування посівних машин.

В ході аналізу теоретичних і практичних досліджень узагальнено існуючі в даний час ускладнення в розвитку та функціонування зернових сівалок: підвищена матеріалоємність зернових сівалок, особливо з катушковими висівними апаратами, що часто перевищує рекомендовані значення, рівні 250...300 кг/м; підвищена енергоємність роботи зернових сівалок, особливо з ПЦВС, що часто перевищує рекомендовані значення, рівні 10...15 кВт/м; нерівномірність розподілу насіння по сошниках, що перевищує агротехнічні вимоги, а у сівалок з ПЦВС досягає 18%; морально застарілий принцип дії, що ускладнює автоматизацію та інформатизацію робочого процесу; високі вартість та експлуатаційні витрати внаслідок вказаних чинників, що тягне за собою підвищення приведених витрат.

Вказані чинники можна характеризувати, як чинники умовно практичної спрямованості. Також існують чинники умовно теоретичного характеру, які можуть відображати ситуацію із станом розвитку посівних машин та передбачати шляхи та способи підвищення ефективності роботи сівалок: недостатньо досліджена динаміка значень показників конструкцій і роботи зернових сівалок, виходячи з аналізу якої можна робити висновки щодо покращення показників та обґрунтування напрямів розвитку зернових сівалок; недостатньо обґрунтовані існуючі критерії ефективності роботи як посівних машин, так і СГТ взагалі; недостатньо досліджені і обґрунтовані показники автоматизації та інформатизації процесу висіву.

Критерії і показники, якими можуть бути кількісно описані вказані чинники, наступні: коефіцієнти варіації висіву і розподілу насіння H , H_6 , V ; продуктивність W , швидкість руху v , ширина захвату B ; питома енергоємність роботи сівалки E_c і її висівної системи E_{6c} , ККД висівної системи η_{6c} ; конструктивна маса m_k , матеріалоємність m_{num} і питомий тяговий опір p_{num} ; інноваційність, що характеризується коефіцієнтом технічного рівня k_{mp} висівної системи; приведені витрати P_6 та інші критерії ефективності k_e ; показники функціонально-структурної інтеграції I^{FS} засобів автоматизації і розподілу функціонального навантаження I_g в них.

Представлені показники є сенс згрупувати, виходячи з їх значення та змісту, та представити у вигляді підсистем (рис. 1). При цьому структура системного комплексу показників складається з чотирьох взаємопов'язаних підсистем і відповідає вимогам, за якими оцінюється ефективність діяльності будь якої системи: C – витрати праці та коштів; Q – якість висіву; T – техніко-експлуатаційний рівень сівалок; A – автоматизація та інформатизація роботи.



T – підсистема техніко-експлуатаційних показників; Q – підсистема показників якості;

A – підсистема показників автоматизації і управління;

C – підсистема економічних показників

Рисунок 1 – Структурна схема системного комплексу показників, визначаючих ефективність роботи зернових сівалок

Підвищити ефективність роботи зернових сівалок означає знайти шляхи і способи визначення та покращення показників, представлених на рис. 1. Тому подальші дослідження спрямовані на аналіз динаміки зміни і розвитку критеріїв та показників, а також на дослідження можливих шляхів і способів їх визначення та покращення.

Виходячи з аналізу та формалізації проблеми очевидно, що вона носить характер системної, комплексної і взаємозалежної, тому її рішення також необхідно здійснювати системними методами, тобто на основі системного підходу. Для цього необхідно розробити наукові основи підвищення ефективності роботи зернових сівалок, тобто запропонувати методологію обґрунтування найбільш оптимального рішення вказаної комплексної проблеми на основі системного підходу.

Одними з методів системного підходу є аналіз та синтез. У даному випадку аналіз та його методики є сенс застосувати для дослідження чинників умовно теоретичної спрямованості, а синтез є сенс застосувати для дослідження чинників умовно практичної спрямованості.

При цьому в процесі синтезу, виходячи з його змісту, необхідно здійснити процес створення функцій і структур, що задовольняють вимогам, які пред'являються до ефективності функціонування системи.

Конструкція сівалок та якість виконуваних посівних робіт визначаються роботою висівного апарату. Тому необхідно, насамперед, визначитися із застосуванням в зерновій сівалці принципом дії висівного пристрою. Встановлено, що, якісно провести посів і адаптувати його до вимог автоматизації та інформатизації можна лише апаратами пневмомеханічного типу. Це може бути основою для синтезу механічних катушкових висівних апаратів та ПЦВС, а також компоновальних схем сівалок на основі таких висівних пристроїв, з метою компенсації їх недоліків. Також виходячи зі зробленого огляду і аналізу застосовуваних висівних пристроїв, доречним є застосування в них вепольного дискретного принципу дії, що характеризується невеликою енергоємністю.

Висунутим умовам найбільш відповідає пневматичний дискретний принцип дії, заснований на застосуванні елементів пневмоніки, з можливістю створення як пневматичних, так і пневмомеханічних конструкцій висівних апаратів, з дискретною синхронізацією та пневмотранспортуванням насіння до сошнику, з

порівняно невеликою енергоємністю робочого процесу. Все це дозволить встановлювати розроблені висівні пристрої на сівалках з роздільно-агрегатною компоновальною схемою групового висіву зі зниженою металоємністю та ефективніше автоматизувати їх робочий процес.

У другому розділі «Теоретичні дослідження показників ефективності зернових сівалок, висівних апаратів і систем» розроблено структуру і методи теоретичних досліджень показників ефективності, їх взаємодії, динаміки розвитку і взаємозв'язку з природознавчими закономірностями, а також виявлення можливостей їх покращення. При цьому сформульована наступна гіпотеза теоретичних досліджень: розвиток і ефективність застосування зернових сівалок, побудованих на традиційних механіко-технологічних принципах, в даний час визначаються логістичної закономірністю, або S-подібною функцією.

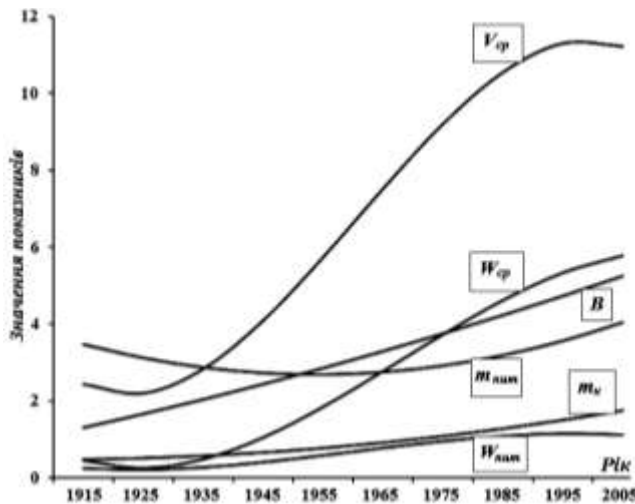
Теоретичні дослідження динаміки показників ефективності проведено на основі обробки ретроспективних даних характеристик конструкцій і робочого процесу зернових сівалок за 100 років. Для виявлення тенденцій розвитку показників застосовувалося розроблене програмне забезпечення "Еволюційне моделювання показників робочого процесу посівних машин на основі генетичних алгоритмів". В результаті його роботи виводиться функція, що відображає динаміку відповідного показника. На рис. 2 представлена S-подібна функція, яка характеризує середню питому продуктивність $W_{\text{пнт}}$.



Рисунок 2 - Динаміка значень середньої питомої продуктивності $W_{\text{пнт}}$ на основі еволюційних обчислень із застосуванням генетичних алгоритмів

На підставі обробки даних побудовані темпоральні залежності зміни значень показників розвитку зернових сівалок з механічними висівними апаратами (рис. 3) і з ПЦВС, рис. 4.

Аналізуючи рис. 3 і рис. 4, можна встановити закономірність того, що S-подібні функції, що характеризують середні швидкість, продуктивність і середню питому продуктивність зернових сівалок і визначаються інтенсивністю руху, або визначають інтенсивний (якісний) характер розвитку посівних машин, прагнуть до насичення в певний момент часу. У той же час S-подібні функції, що характеризують ширину захвату, конструктивну масу і матеріаломісткість та визначають екстенсивний (кількісний) характер розвитку посівних машин, прагнуть до безперервного зростання, що тягне за собою супутнє непропорційне зростання матеріальних і грошових коштів, а також зниження ефективності в процесі виробництва та експлуатації.



$V_{ср}$ – середня швидкість, км/год; $W_{ср}$ – середня теоретична продуктивність, га/год;

B – середня ширина захвату, м; $m_{пит}$ – середня матеріаломісткість, т/м;

m_k – середня конструкційна маса, т; $W_{пит}$ – середня питома продуктивність, га/год×м

Рисунок 3 – Залежності динаміки зміни показників ефективності зернових сівалок з механічними висівними апаратами

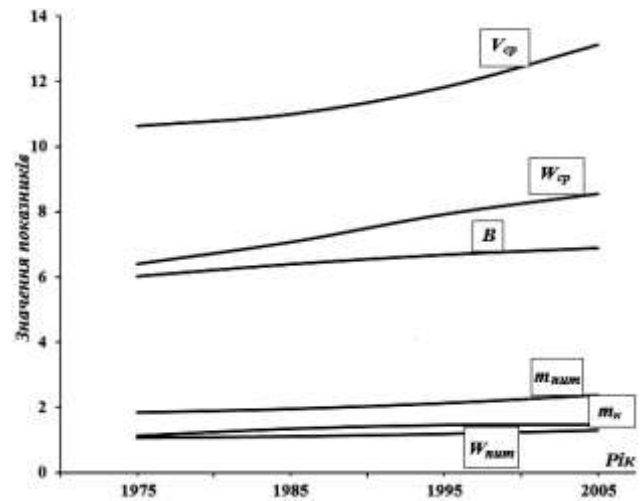
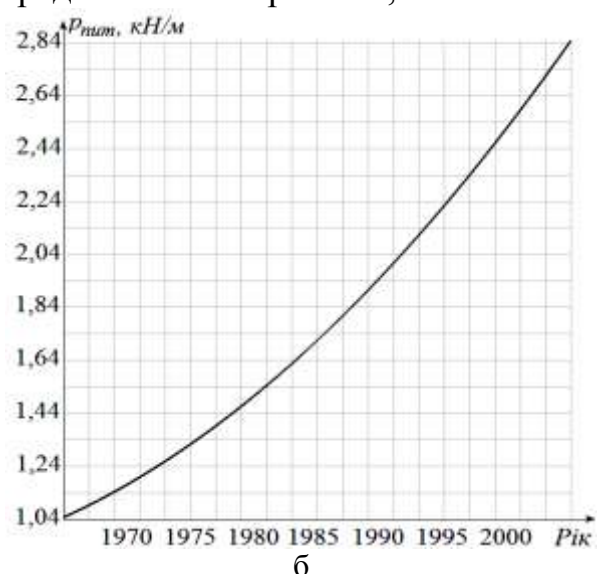
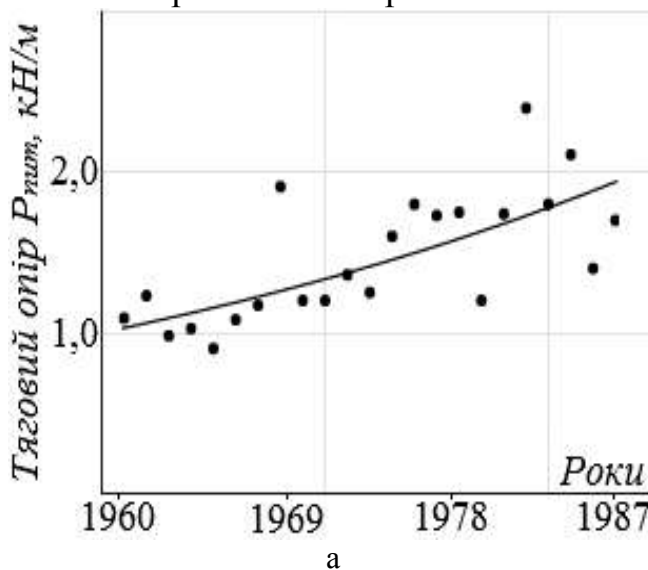


Рисунок 4 – Залежності динаміки зміни показників розвитку зернових сівалок з ПЦВС

Залежності, відображені на рис. 3, підтверджують, що у розвитку зернових сівалок з механічними апаратами має місце межа насичення, а закладений принцип дії за показниками ефективності приймає граничні характеристики.

Залежності, що представлені на рис. 4 дають можливість зробити висновок про те, що, незважаючи на підвищення середньої швидкості руху, середня продуктивність приймає вигляд S-функції, внаслідок насичення значень середньої ширини захвату, одночасно з якою насичуються значення середньої конструкційної маси сівалок і середньої матеріаломісткості. Однак значення середньої питомої продуктивності збільшуються внаслідок підвищення середньої швидкості руху.

На підставі статистичної обробки зібраних даних, їх апроксимації та прогнозування встановлено динаміку питомого тягового опору зернових сівалок. Отримані темпоральні залежності представлено на рис. 5 а, б.



а – діаграми розсіювання значень питомого тягового опору;

б – усереднені та спрогнозовані значення питомого тягового опору;

Рисунок 5 – Темпоральна залежність динаміки зміни питомого тягового опору $p_{пит}$

Основною причиною зростання питомого тягового опору є вплив екстенсивних факторів розвитку – зростання маси і матеріалоємності, викликаних прогресуючим збільшенням ширини захвату сівалок (рис. 3).

Встановлені залежності (рис. 3-5) дозволяють висунути припущення про існування критеріїв ефективності посівних машин, що визначаються загальним співвідношенням між витратами і ефективністю. Такі критерії є параметричними співвідношеннями, що визначають ефективність виробництва та експлуатації зернових сівалок, зокрема на основі раціонального використання енергії.

Представимо на рис. 6 суміщення графіків питомого тягового опору зернових сівалок (рис. 5, б) та питомої продуктивності зернових сівалок (рис. 3, рис. 4) для інтерпретації критерію ефективності.

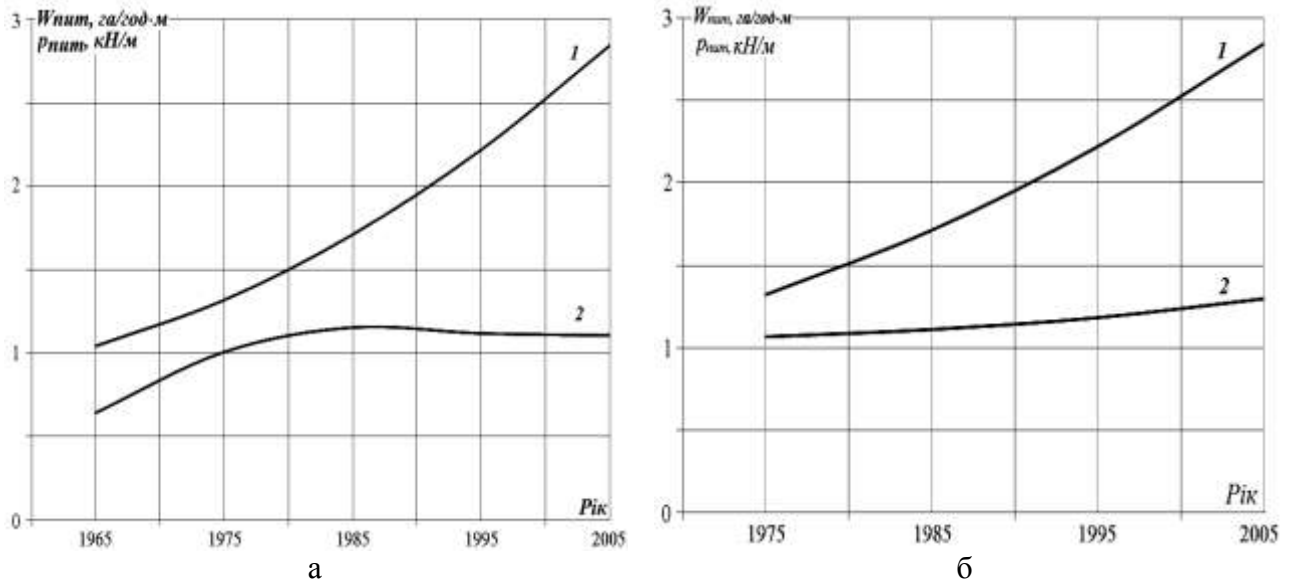


Рисунок 6 – Динаміка зміни питомого тягового опору $r_{\text{пит}}$ (1) і питомої продуктивності $W_{\text{пит}}$ (2) зернових сівалок з механічними висівними апаратами (а) і ПЦВС (б)

Можна бачити, що співвідношення витрат енергії, виражених питомим тяговим опором, до показника питомої продуктивності, тобто $r_{\text{пит}}/W_{\text{пит}}$, характеризує порівняльну ефективність застосування посівних машин, як критерій ефективності:

$$\frac{r_{\text{пит}}}{W_{\text{пит}}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

В якості граничного критерію ефективності емпірично прийнято «золотий» переріз або «золоту» пропорція, значення якої становить 1,62. Це значення критерію ефективності відповідає періоду стабілізації кривої питомої продуктивності зернових сівалок з механічними висівними апаратами після 1985 р., з середнім значенням 1,1 га/год·м. Тому можна визначити умовний момент досягнення граничного критерію ефективності для сівалок з механічними висівними апаратами, який припадав приблизно на 1985...1990 рр.

З аналітичної точки зору встановлено, що одиниця виміру критерію ефективності в системі СІ відповідає умовній динамічній в'язкості μ^* , кг/с·м. Виходячи з визначення коефіцієнта динамічної в'язкості, фізичний зміст запропонованого критерію полягає в здатності машини долати опір робочого процесу з максимальною ефективністю, а конструктивні і технологічні показники машин можуть порівнюватися на основі даного критерію.

На основі зіставлення фізико-технічних розмірностей показників та критеріїв роботи технічних засобів механізації узагальнено обґрунтований комплексний критерій, тобто p/W , для оцінки ефективності роботи інших видів сільськогосподарської техніки. Наприклад, для зернозбиральної техніки даний критерій приймає вигляд питомої пропускної здатності молотарки комбайну, яка має аналогічне оптимальне чисельне значення, тобто 6 т/(год×м), або 1,67 кг/(с×м). Отриманий узагальнений комплексний критерій може оцінювати як ефективність і оптимальність технічних рішень в засобах механізації, так і екологічність їх застосування, а також виступати параметричним співвідношенням у системах автоматизації для підтримання оптимальних режимів функціонування робочих органів.

З іншого боку, виходячи з гідромеханічних аналогій, опір робочому процесу посівної машини можна виразити через поняття неньютонівської рідини, що відіграє роль умовного середовища, яке визначає витрати енергії на роботу сівалки. При плинні неньютонівської рідини або руху тіла в ній, її в'язкість (в даному випадку розглянутий критерій ефективності) залежить від градієнта швидкості. Сила опору, що обумовлена умовним середовищем, може бути виражена відомим рівнянням гідродинаміки:

$$T = \tau_0 S \pm \mu S \frac{dV}{dh}, \quad (2)$$

де τ_0 – початковий опір зсуву, Н/м²;

S – площа, по якій відбувається зсув, м².

dV/dh – градієнт швидкості.

Розділивши складові рівняння (2) на площу S , отримаємо:

$$\tau = \tau_0 \pm \mu \frac{dV}{dh}, \quad (3)$$

де τ – дотичні напруження при зсуві, Па.

Виразимо в'язкість з рівняння (3):

$$\left[\frac{p_{num}}{W_{num}} \right] \Rightarrow \mu = \frac{(\tau - \tau_0) dh}{dV}. \quad (4)$$

Прирівнюючи у виразі (4) $h = B$ (ширині захвату машини), отримаємо:

$$\frac{p_{num}}{W_{num}} = \frac{(\tau - \tau_0) dB}{dV}. \quad (5)$$

Виходячи з виразу (5) можна зробити висновок, що розглянутий критерій ефективності, що еквівалентний коефіцієнту динамічної в'язкості, прямо пропорційний дотичним напружам по ширині захвату сівалки, які визначають тяговий опір, і обернено пропорційний швидкості. Тому з виразу (5) виходить, що для поліпшення розглянутого критерію ефективності є доцільним якісний напрямок розвитку посівних машин, який відображає підвищення швидкості руху, оскільки при збільшенні ширини захвату B збільшуються маса машини та матеріаломісткість, що обумовлює зростання дотичних напружень в процесі роботи внаслідок підвищення нормального тиску.

Це означає, що із збільшенням швидкості руху продуктивність зростає більш інтенсивно, ніж тяговий опір. Таким чином, з точки зору енергетики, підвищення продуктивності за рахунок збільшення швидкості більш доцільне, ніж за рахунок збільшення ширини захвату

Тому можна зробити висновок, що в даний час питомий тяговий опір зростає непропорційно продуктивності, що обумовлює прогресуюче збільшення витрат при непропорційно зниженні віддачі. Відбувається це внаслідок підвищення матеріало- і енергоємності зернових сіялок. Отже, актуальною проблемою є зниження їх матеріало- і енергоємності.

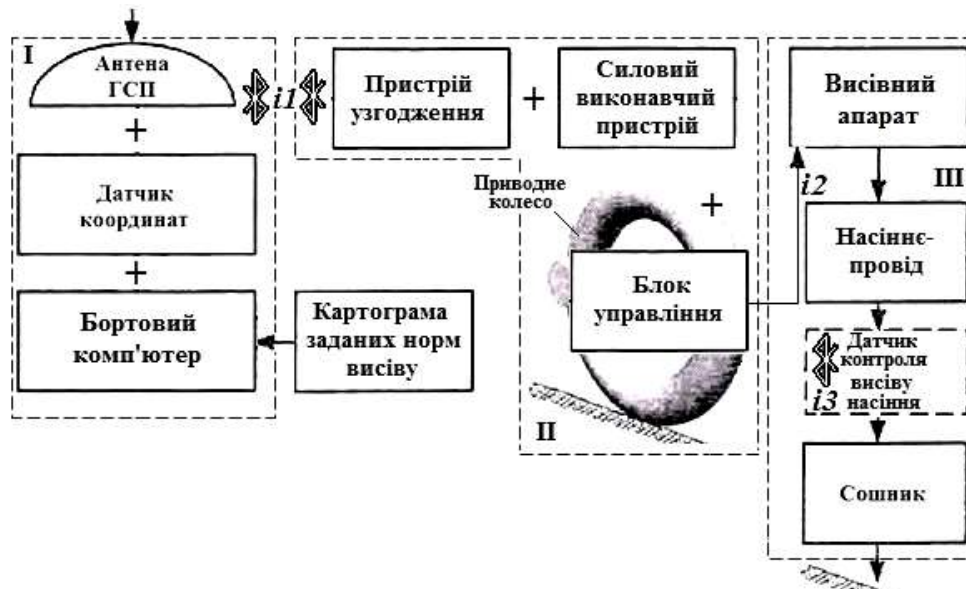
Виходячи з рис.6, б можна зробити висновок, що більш перспективним є вдосконалення сіялок з ПЦВС, однак динаміка розвитку показників їх ефективності свідчить про вступ в дію закону прогресивної еволюції, оскільки значення показників продуктивності змінюються по S-подібній функції (рис. 4). При цьому потужність для приводу висівної системи сіялок з ПЦВС становить 15% від загальної потужності для посівної машини, внаслідок того, що закладений у них принцип дії спочатку припускає підвищені енерговитрати. Отже, тут актуальною проблемою є зниження енерговитрат на роботу висівної системи. Загальна енергоємність сіялок з централізованим висівом практично не відрізняється від сіялок з котушкові висівними апаратами.

При аналізі технічних засобів автоматизації і диференційованого висіву в зернових сіялках виявлено, що численні інтерфейси пов'язують пристрої різної фізичної природи (механічні, електронні та інформаційні), що зумовлює їх конструктивну і апаратно-програмну складність. Досвід експлуатації засобів і систем автоматизації показує, що до 70% проблем в їх роботі пов'язані з надійністю зв'язків і з'єднань. При цьому мають місце обрив проводів, ненадійний контакт в їх з'єднаннях, що викликає помилкові спрацьовування.

Виявлено, що зниження витрат та усунення недоліків і труднощів, що виникають у процесі автоматизації роботи сіялок можливо із застосуванням нових концепцій автоматизації і розробки апаратно-програмного забезпечення на основі мехатронного підходу до реалізації засобів автоматизації. Сутність мехатронного підходу полягає в об'єднанні елементів і складових системи в інтегровані мехатронні модулі, які відрізняються підвищеною надійністю, стійкістю до зовнішніх впливів, точністю рухів і компактністю конструкції.

З'ясовано, що показники ефективності щодо автоматизації процесу висіву, які входять в системний комплекс показників (рис. 1), визначаються прогресом в області засобів автоматики. Це визначає здатність до виконання заданих функцій з мінімальними енерговитратами і можливістю реалізації найбільшої кількості функціональних перетворень мінімальним числом структурних елементів, що характеризується показником функціонально-структурної інтеграції I^{FS} . Важливим є також показник розподілу функціонального навантаження I_a , що відображає сучасну тенденцію побудови машин нового покоління, яка полягає в перенесенні функціонального навантаження від механічних вузлів до інтелектуальних.

З цією метою проведено функціонально-структурний аналіз існуючих вихідних структурних моделей місцевизначеного висіву, а також запропонованої структурної моделі з мехатронним модулем в пневматичних висівних системах дискретної дії з елементами пневмоніки (рис. 7).



I – обчислювальний пристрій; II – мехатронний модуль; III – висівна система

Рисунок 7 – Структурна модель з мехатронним модулем для місцевизаценого посіву в висівних апаратах і системах з елементами пневмоніки

Аналіз функціонально-структурної інтеграції (ФСІ) структурних схем проведено на основі показника ФСІ, який являє собою чисельну оцінку рівня інтеграції складових елементів:

$$I^{FS} = \frac{N_F}{N_S} - 1, \quad (6)$$

де N_F – кількість функціональних перетворень в даному структурному варіанті; для вихідної структурної моделі $N_F = 6$, а для структурної моделі з мехатронним модулем $N_F = 7$;

N_S – кількість основних і інтерфейсних блоків, використовуваних у структурному варіанті; для вихідної структурної моделі $N_S = 16$, а для структурної моделі з мехатронним модулем – $N_S = 6$.

Для вихідної структурної моделі $I^{FS} = -0,625$, а для структурної моделі з мехатронним модулем – $I^{FS} = 0,167$. Показник I^{FS} є негативним для надлишкових структур, де число окремих структурних елементів перевищує число функціональних перетворень. У розглянутому випадку для структурної моделі з мехатронним модулем $I^{FS} = 0,167 > 0$ досягається у разі знаходження рішення щодо вибору мехатронного модуля, в якому максимум функціональних перетворень зосереджений в єдиному структурному елементі.

Для оцінки розподілу функцій між структурними елементами систем автоматизації застосований показник розподілу функціонального навантаження (РФН), що дозволяє оцінити обсяг функціонального навантаження, яке несе кожен із структурних елементів або блоків у досліджуваній системі. Чим вище значення даного показника, тим більший вплив робить даний елемент на якість системи в цілому, тобто на її вартість, надійність та інші характеристики.

Визначення показників РФН здійснюється на основі аналізу значущості структурних елементів. При цьому визначалось середнє значення показника РФН для елементів даної структури:

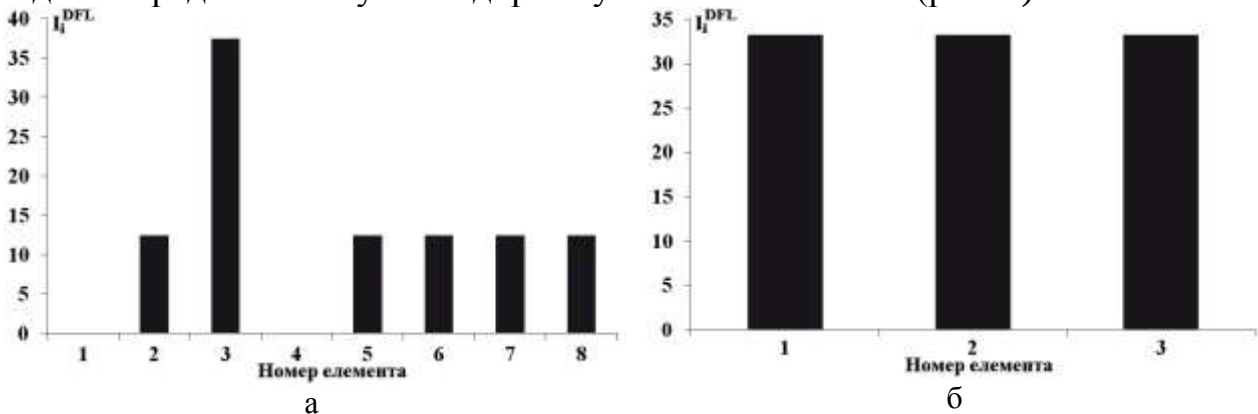
$$I_g = I_g^{DFL} / k, \quad (7)$$

де I_g - середнє значення показника РФН;

I_g^{DFL} - загальний показник РФН групи елементів даної структури;

k – кількість елементів даної структури;

Розподіл функціонального навантаження у розглянутих структурних моделях представлено у вигляді ранжування їх елементів (рис. 8).



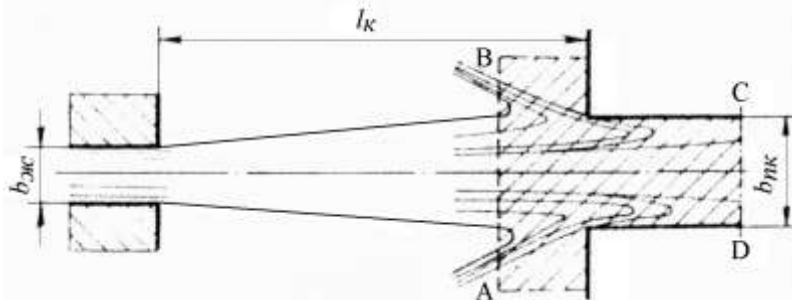
а – для елементів вихідної структурної моделі місцевизначеного посіву;

б – для елементів структурної моделі з мехатронним модулем

Рисунок 8 – Показники розподілу функціонального навантаження

Для вихідної структурної моделі отримаємо $I_q = 12,5$, а для структурної моделі з мехатронним модулем – $I_q = 33,3$. Очевидно, що середнє значення показника РФН системи управління на основі мехатронного модуля майже в 3 рази вище, ніж для вихідної структурної моделі.

З метою вдосконалення силових струминних елементів проводили дослідження передачі механічної енергії плоским струменем (рис. 9).



$b_{жс}$ – ширина сопла живлення, м; l_k – довжина робочої камери струминного елемента, м;

$b_{пк}$ – ширина приймального каналу, м

Рисунок 9 – Розрахункова схема до дослідження передачі механічної енергії плоским струменем в силовому струминному елементі

Встановлено, що при взаємодії струменя з приймальним каналом виникають складні вторинні течії, пов'язані з нерівномірністю розподілу швидкостей в струмені. Ці течії істотно впливають на витрату і тиск в приймальному каналі. Особливістю течії в області приймального каналу є наявність зворотного потоку, що витікає з нього. Причиною його виникнення є нерівномірний розподіл швидкостей в струмені: швидкісний напір на осі струменя максимальний, а по мірі віддалення від осі він зменшується, знижуючись до нуля. Тому частина витрати струменя, яка не проходить через навантаження, утворює зворотний потік.

Зворотні течії виникають у периферійній частині приймального каналу, де динамічний напір набігаючого потоку є невеликим.

В результаті теоретичних досліджень визначено співвідношення вихідного p_v і живлячого тисків $p_{жс}$:

$$\frac{p_v}{p_{жс}} = \mu_v^2 \left(\frac{b_{жс}}{b_{пк}} \right)^2 \left[\xi k_j \frac{b_{пк}}{b_{жс}} + \alpha_{0пк} \left(\frac{Q_{пк}}{Q_{жс}} \right)^2 \right], \quad (8)$$

де μ – коефіцієнт витрати; ξ – поправка, яка враховує дію потоку, що скидується; k_j – коефіцієнт пропорційності; $\alpha_{0пк}$ – коефіцієнт кількості руху в перерізі CD (рис. 9); $Q_{пк}$ – витрата робочого тіла в приймальному каналі, м³/с; $Q_{жс}$ – витрата робочого тіла через сопло живлення, м³/с.

Підставляючи чисельні значення складових – $\mu_v = 0,857$, $b_{жс} = 0,002$ м, $b_{пк} = 0,003$ м, $\xi = 1,25$, $k_j = 0,1$, $\alpha_{0пк} = 1,0$, $Q_{пк} = Q_{жс} = 0,0022$ м³/с, маємо $p_v/p_{жс} = 0,387$.

Отримане значення $p_v/p_{жс} = 0,387$ може характеризувати ККД силового струминного елемента по тиску. Однак для більш точного дослідження факторів, що впливають на передачу механічної енергії плоским струменем в силовому струминному елементі, особливо враховуючих дію потоку робочого середовища, що скидується в перерізі АВ (рис. 9), необхідно аеродинамічне або імітаційне моделювання робочого процесу силового струминного елемента.

З метою зниження енергоємності висівних систем досліджено енергетичні показники їх роботи. Сумарна підведена потужність, необхідна для живлення пневматичної висівної системи дискретної дії з елементами пневмоніки:

$$N_{сн} = N_{ва} + N_{тн}, \quad (9)$$

де $N_{ва}$ – потужність, необхідна для живлення висівних апаратів;

$N_{тн}$ – потужність, необхідна для транспортування насіння по насіннепроводу.

$$N_{ва} = \frac{\zeta (kN_{\delta} + N_{\delta})}{\eta_v \eta_n \eta_{тн}}, \quad (10)$$

де ζ – коефіцієнт урахування втрат тиску; k – кількість дозаторів на сівалці; N_{δ} – потужність, підведена до дозатора, Вт; N_{δ} – потужність, підведена до блока управління, Вт; η_v – ККД відцентрового вентилятора; η_n – ККД підшипників; $\eta_{тн}$ – ККД пасової передачі.

Приймаючи ширину захвату зернової сівалки $B = 3,6$ м з кількістю сошників $n_c = 24$ і підставляючи чисельні значення складових – $\zeta = 1,05$; $k = 24$; $N_{\delta} = 5,4$ Вт; $N_{\delta} = 5,4$ Вт; $\eta_v = 0,7$; $\eta_n = 0,99$; $\eta_{тн} = 0,95$, отримаємо $N_{ва} = 216$ Вт.

$$N_{тн} = kQ_n \cdot \left(P_n + \frac{1}{A} \frac{G}{\omega} v^{n-1} (gl)^{1-0,5n} \right), \quad (11)$$

де Q_n – витрата повітря на транспортування насіння, м³/с; P_n – втрати тиску повітря, Па; $A, \text{м}^2/\text{с}^2$ і n – відповідно коефіцієнт і показник ступеня, що залежать від фізико-механічних властивостей насіннепроводу і переміщуваного насіння, G – масова витрата посівного матеріалу, кг/с; ω – площа перерізу насіннепроводу, м²; v – швидкість повітря в перерізі насіннепроводу, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с²; l – довжина транспортування, м.

Для сівалки з $B = 3,6$ м з кількістю сошників $n_c = 24$, підставляючи чисельні значення складових – $Q_n = 0,00925$ м³/с; $P_n = 100$ Па; $A = 0,26...0,36$ м²/с²; $n = 1,25...1,36$; $G = 0,009$ кг/с; $\omega = 0,0005$ м²; $v \approx 18,5$ м/с; $g = 9,81$ м/с²; $l = 1$ м, отримаємо $N_{mn} = 124$ Вт. Тоді $N_{cn} = 340$ Вт.

Проведені теоретичні дослідження показують напрям підвищення ефективності сівалок: розробка і застосування нових принципів дії висівних систем та їх систем правління, а також зниження матеріало- і енергоємності конструкцій і робочого процесу.

В третьому розділі «Методологія і організація експериментальних досліджень, визначення енергетичної та техніко-економічної ефективності роботи зернових сівалок, висівних апаратів і систем» представлено методологію, структуру, методи і методики експериментальних досліджень показників процесу висіву, конструкцій висівних апаратів і систем, дана характеристика використовуваного і пропонованого обладнання. Показано, що в дослідженнях підвищення ефективності робочого процесу висівних апаратів і систем необхідний комплексний підхід з розробкою та застосуванням нових механіко-технологічних, організаційних і методологічних принципів.

Створення структури експериментальних досліджень являє собою застосування системно-структурного методу для вирішення питань в проблемі, пов'язаних з необхідністю визначення тих або інших експериментальних даних. В ході їх визначення проводиться одночасна або послідовна побудова різних пошукових полів, для обробки яких застосовуються наявні або розробляються відсутні спеціальні засоби, методи і методики, тобто здійснюється перехід від загального і схематичного вирішення проблеми до більш конкретної і змістовної.

Схема, представлена на рис. 10, відображає сутність методології експериментальних досліджень в роботі та побудови їх структури. Визначено методи і методики експериментальних досліджень показників ефективності зернових сівалок, конструкцій висівних апаратів і систем. Особливу увагу приділено методам і методикам дослідження робочого процесу силових струминних елементів, висівних апаратів і систем, розроблених на їх основі, а також управління висівними апаратами та системами.

Загальна програма експериментальних досліджень та визначення енергетичної та техніко-економічної ефективності роботи зернових сівалок, висівних апаратів і систем передбачає вирішення п'яти блоків завдань:

1. Визначення реологічних властивостей технологічних матеріалів, що взаємодіють з посівної машиною, зокрема, початкового опору зсуву шару ґрунту, підготовленого до сівби.

2. Дослідження пневмоструминних елементів – силового бістабільного елемента та елемента-ежектора, з метою визначення їх оптимальних геометричних розмірів і режимів роботи.

3. Проведення агротехнічної оцінки роботи розроблених висівних пристроїв з визначенням якісних показників їх робочого процесу.

4. Дослідження з автоматизації та управління процесом висіву у розроблених висівних апаратах і пристроях.

5. Визначення критеріїв оцінки енергетичної та техніко-економічної ефективності зернових сівалок, висівних апаратів і систем.

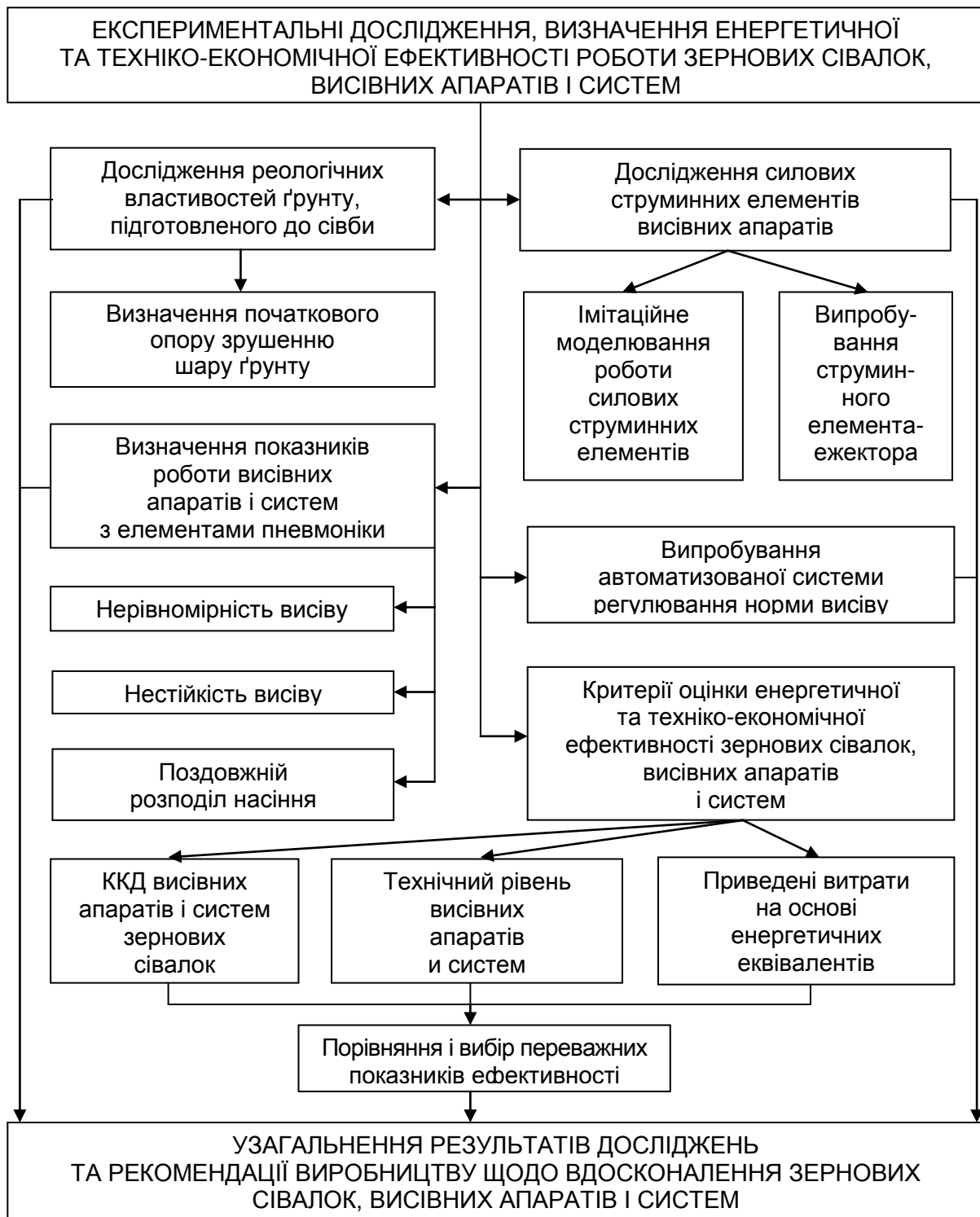


Рисунок 10 – Структурна послідовність методології експериментальних досліджень та визначення енергетичних і техніко-економічних показників для рішення проблеми підвищення ефективності роботи зернових сівалок, висівних апаратів і систем

Запропонована методологія має самостійне наукове значення, оскільки дозволяє уточнити предметне уявлення про поліпшення розглянутих показників ефективності.

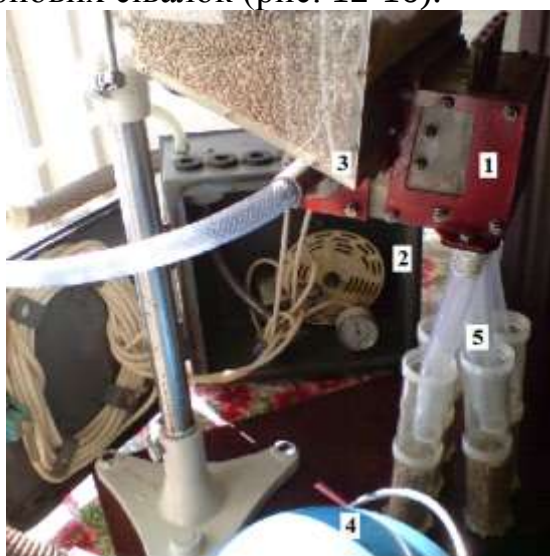
Дослідження з вивчення впливу конструктивних, аеродинамічних, геометричних і кінематичних параметрів на процес висіву, а також розроблених висівних пристроїв проводили на обладнанні, схема та загальний вигляд якого представлено на рис. 11.



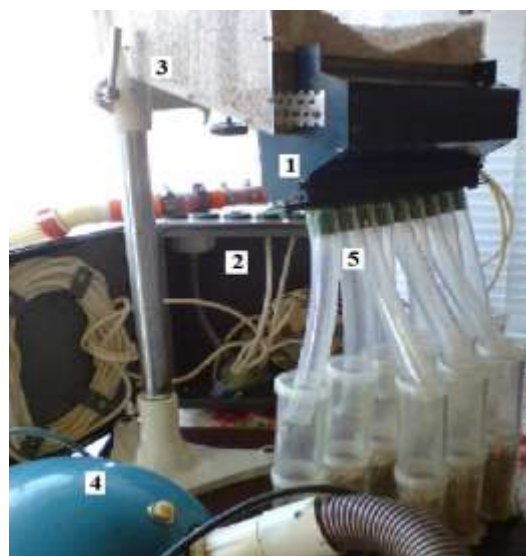
1 – штатив; 2 – поворотний кронштейн; 3 – ємність для насіння; 4 – висівний апарат з насіннепроводом; 5 – мірна ємність; 6 – манометр МЗМ (напоромір або тягомір); 7 – генератор сигналів спеціальної форми Г6-26; 8 – осцилограф С1-54; 9 – індуктивний датчик тиску ДМІ-0,1; 10 – генератор імпульсів Г5-53; 11 – частотомір Ф5041; 12 – струминний підсилювач на елементах «Волга»; 13 – пневмоелектроклапан; 14 – дросель; 15 – лабораторний трансформатор (ЛАТР); 16 – джерело тиску; 17 – ваги ВЛКТ-500М; 18 – об'ємний газовий лічильник G4PJ; 19 – Блок живлення постійного струму «Агат»

Рисунок 11 – Схема (а) і загальний вигляд (б) експериментальної установки

У четвертому розділі «Розробка висівних пристроїв на основі струминної техніки для зернових сівалок і систем управління висівом» із застосуванням елементів пневмоніки в якості логічних і виконавчих пристроїв розроблено нові пневматичні висівні апарати і системи дискретної дії для зернових сівалок (рис. 12-16).



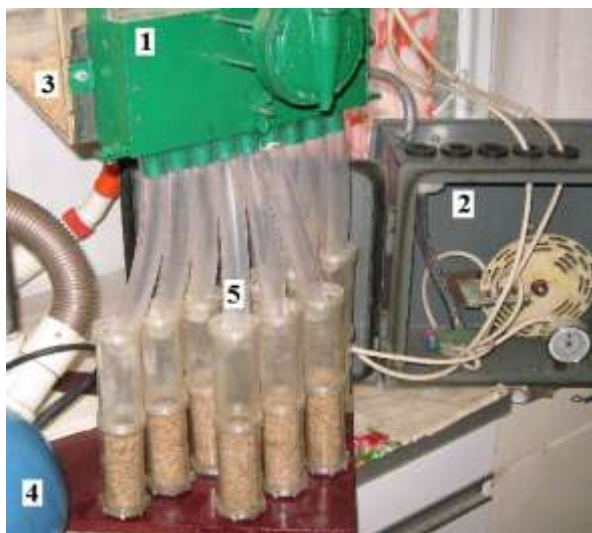
а



б

1 – висівний апарат; 2 – блок управління; 3 – бункер;
4 – джерело тиску; 5 – насіннепроводи

Рисунок 12 – Запропоновані універсальний висівний апарат без рухомих деталей (а) та висівний апарат з вихровим клапаном (б)



1 – висівний апарат; 2 – блок управління;
3 – бункер; 4 – джерело тиску;
5 – насіннепроводи

Рисунок 13 – Запропонований висівний апарат з пневматичним підсилювачем



1 – бункер для насіння;
2 – висівний апарат;
3 – привод; 4 – насіннепровід
Рисунок 14 – Запропонований маятниковий висівний апарат



1 – корпус; 2 – входні патрубки;
3 – дифузор; 4 – вихідні патрубки
Рисунок 15 – Загальний вигляд запропонованого струминного вихрового розподільювача насіння



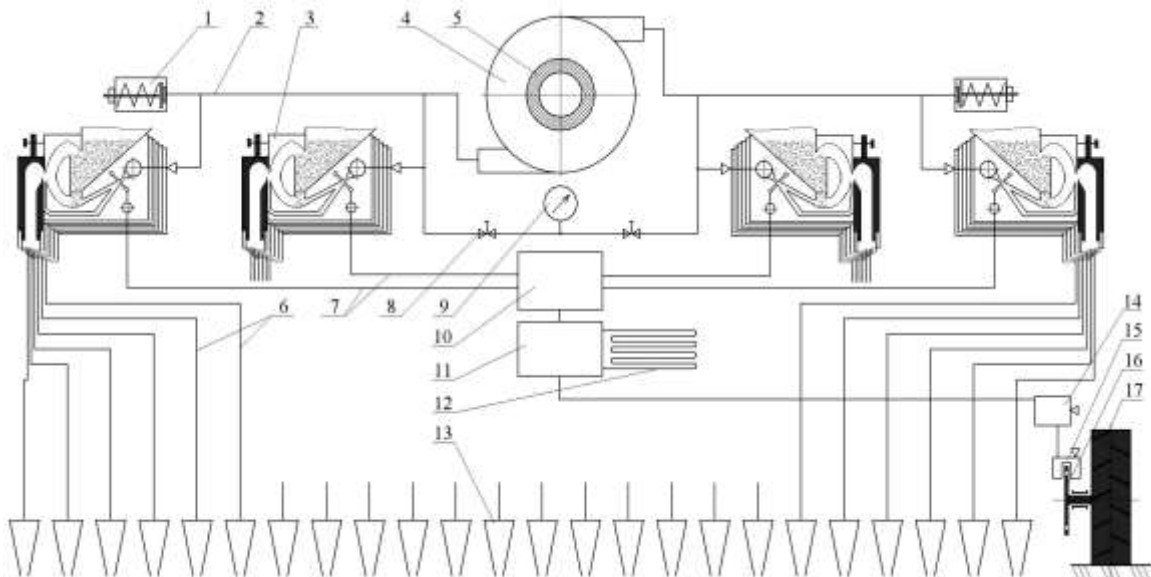
1 – розподільювач; 2 – висівний апарат;
3 – бункер для насіння
Рисунок 16 – Загальний вигляд запропонованої пневматичної висівної системи для зернових культур з вихровим розподільником насіння

Розглянуті висівні пристрої дають змогу знизити нерівномірність висіву насіння, втрати і ушкодження посівного матеріалу, енергоємність процесу сівби, спростити налагодження на норму висіву і автоматизувати робочий процес.

Із застосуванням розроблених висівних пристроїв пропонується принципова схема висівної системи для зернової сівалки (рис. 17).

На підставі теоретичних досліджень пропонується структурна схема інтелектуального мехатронного модуля, в якому максимум функціональних перетворень зосереджений в єдиному структурному елементі (рис. 18).

Виходячи з аналізу функціонально-структурної інтеграції, розподілу функціонального навантаження, на основі схеми на рис.18, із застосуванням апаратної платформи Arduino розроблено комплекс регулювання норми висіву з мехатронним модулем, принципова схема якого представлена на рис. 19.



1 – стабілізатор тиску; 2 – силові пневмопроводи; 3 – висівний апарат;
4 – джерело надлишкового тиску; 5 – фільтр; 6,7 – сигнальні пневмопроводи; 8 – дроселі;
9 – манометр; 10 – підсилювач пневмоімпульсів; 11, 12, 14, 15, 16 – елементи пневмоніки;
13 – сошники; 17 – приводне колесо

Рисунок 17 - Схема запропонованої висівної системи зернової сівалки на основі пневматичних апаратів дискретної дії з елементами пневмоніки

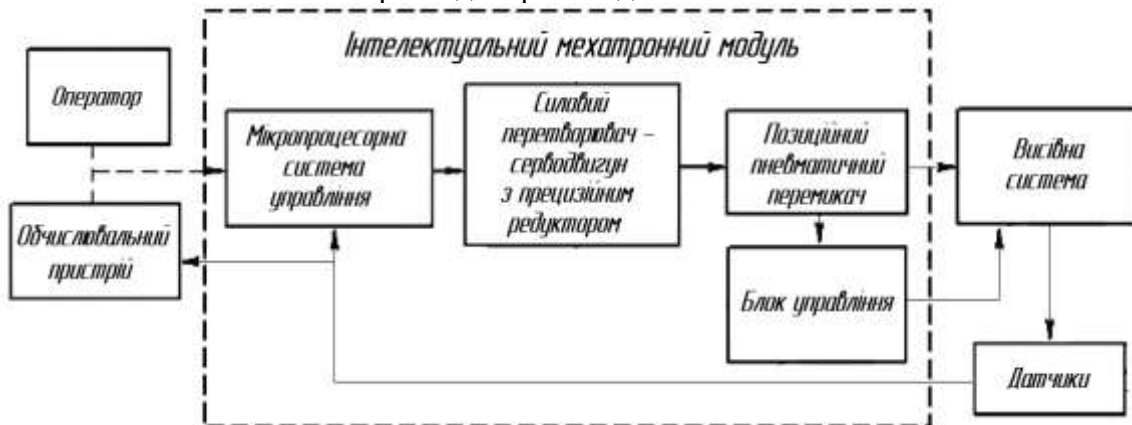
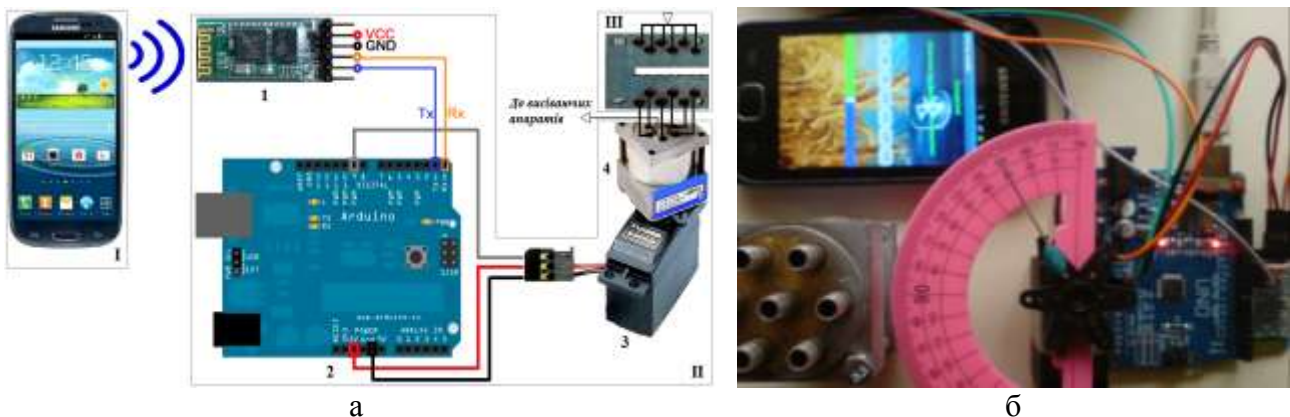


Рисунок 18 – Структурна схема інтелектуального мехатронного модуля управління висівом



I – обчислювальний пристрій; II – мехатронний модуль; III – блок управління висівною системою; 1 – bluetooth-модуль; 2 – платформа Arduino; 3 – серводвигун; 4 – перемикач пневматичний багатопозиційний; VCC - плюс живлення; GND – мінус живлення;
Tx, Rx – сигнали управління

Рисунок 19 – Програмно-апаратний комплекс регулювання норми висіву в висівних апаратах і системах з елементами пневмоніки: схема (а) і загальний вигляд (б)

Для запропонованого апаратного комплексу розроблено програмне забезпечення, що складається з двох частин. Перша частина включає код взаємодії Arduino з серводвигуном і обчислювальним пристроєм на базі операційної системи Android. Друга частина включає в себе код для обчислювального пристрою, який являє собою інтерфейс управління нормою висіву. Після налагодження програма встановлюється на мобільний пристрій.

Програма являє собою структуру взаємодії блоку управління висівною системою з елементами управління і індикації, які програмно задані перемикачем в обчислювальному пристрої, на кнопках якого встановлено значення кута повороту пневмоперемикача мехатронного модуля (від 30^0 до 330^0 з нейтральним положенням при 0^0), рис. 19, б. Кількість положень перемикача в обчислювальному пристрої дорівнює кількості прорізів перфорованого диска блоку управління висівною системою з елементами пневмоніки. В якості управління нормою висіву використовується поворот пневмоперемикача серводвигуном, що змінює частоту генерованих пневмоімпульсів.

У п'ятому розділі «Результати експериментальних досліджень розроблених струминних елементів і висівних систем» представлені результати експериментальних досліджень. За результатами випробувань шару ґрунту на трібометрі обчислено значення нормальних та дотичних напружень у посівному шарі ґрунту і побудована залежність граничних дотичних напружень τ від нормальних тисків σ (рис. 20), що характеризує величину початкового опору зсуву τ_0 розглянутої сипучої речовини. Точка перетину лінії граничних дотичних напружень з віссю ординат характеризує значення початкового опору зсуву ґрунту, підготовленого до сівби $\tau_0 \approx 334 \text{ Па}$.

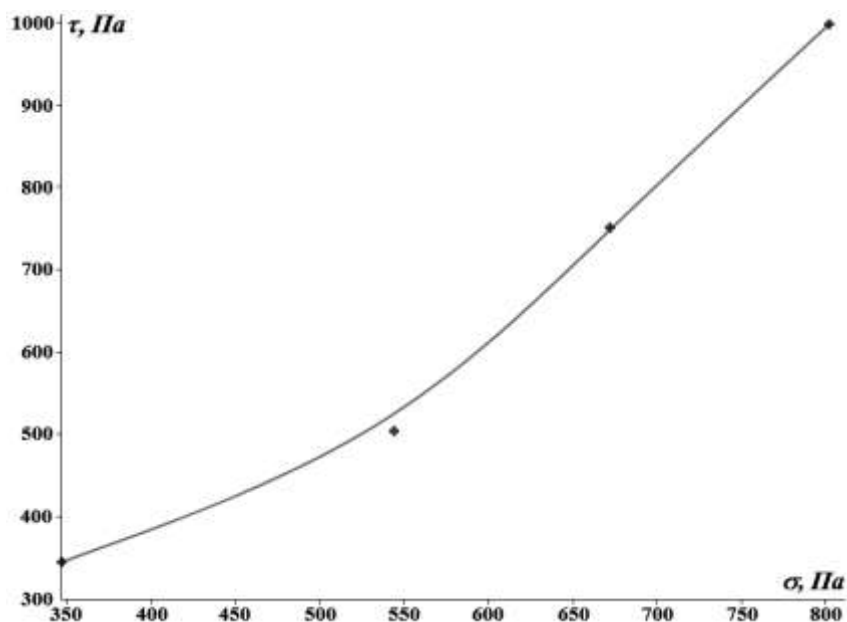
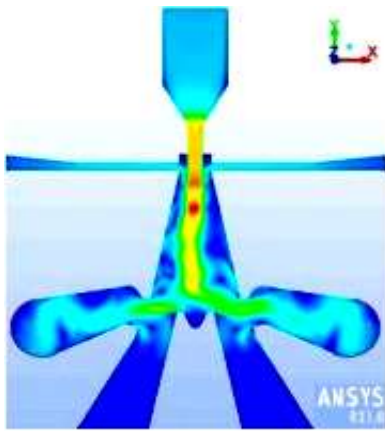


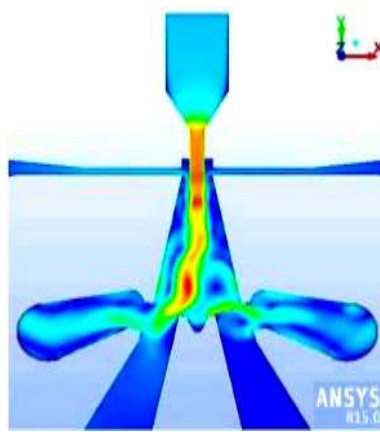
Рисунок 20 – Залежність граничних дотичних напружень ґрунту, підготовленого до сівби, від нормальних тисків

На підставі результатів моделювання силового струминного елемента в програмному середовищі Ansys Fluent (рис. 21, а-є) і вибору його геометричних характеристик виготовлено силовий струминний елемент (рис. 21, ж), а також елемент-ежектор (рис. 21, з) для висівних апаратів і систем зернових сівалок.



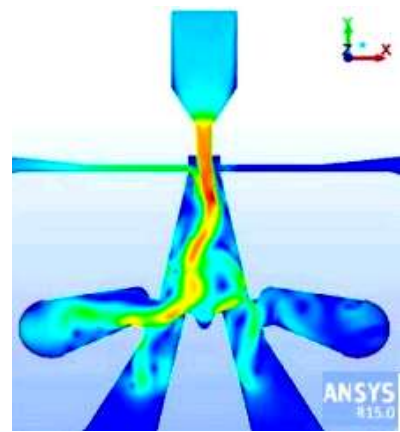
а

Фрагмент процесу встановлення струменя в камері після подачі живлення



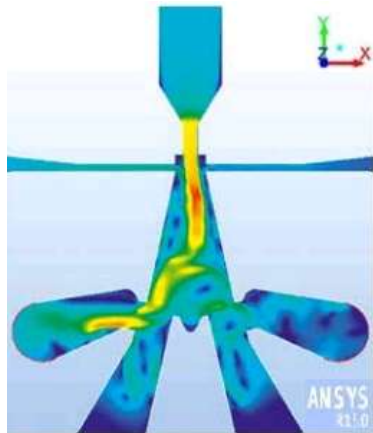
б

Фрагмент підвищення тиску у лівому вихідному каналі елемента



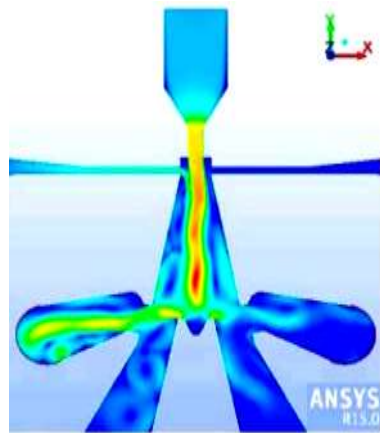
в

Фрагмент скидання струменя у ліве атмосферне вікно елемента



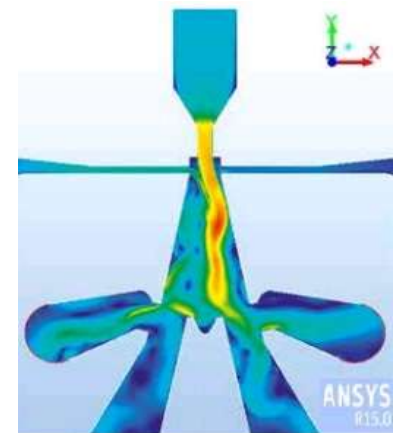
г

Відображення «паразитних» викидів пульсацій тиску і витрати в правий канал



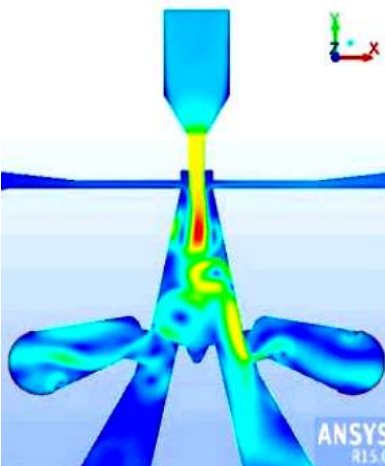
д

Фрагмент встановлення струменя у середнє положення в елементі



е

Фрагмент перемикання струменя до правої стінки струминного елемента



є

Фрагмент початку зворотного перемикання струменя до лівої стінки елемента



ж

Силовий струминний елемент, виготовлений на основі моделювання



з

Струминний елемент-ежектор

Рисунок 21 – Моделювання силового струминного елемента

Результати випробувань силового струминного елемента і елемента ежектора представлені на рис. 22, 23.

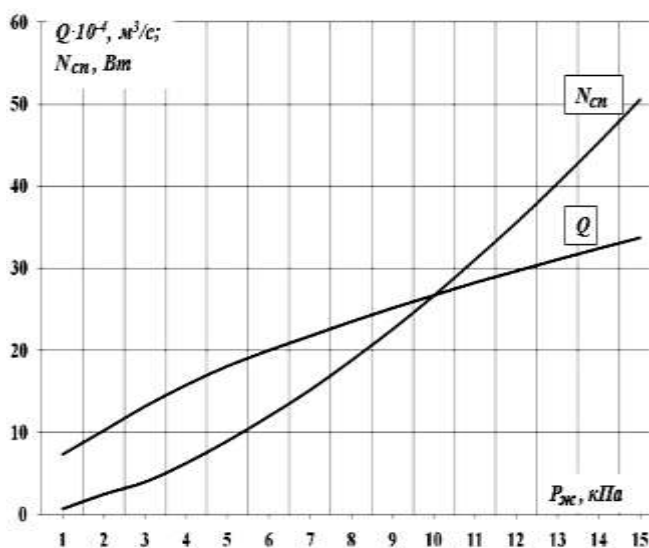
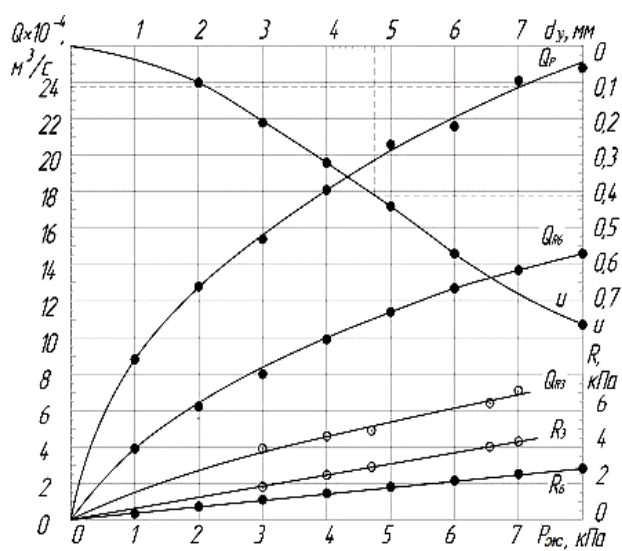


Рисунок 22 – Залежність витрати повітря Q і потужності, споживаної силовим струменевим елементом $N_{\text{сп}}$, від тиску живлення $P_{\text{ж}}$



$P_{\text{ж}}$ – тиск живлення; R – розрідження;
 Q_R і Q_R – витрати робочого і переміщуваного повітря;
 R_3, R_6 – розрідження;
 Q_{R3}, Q_{R6} – витрати переміщуваного повітря;
 u – коефіцієнт ежекції;
 d_y – умовний діаметр каналу навантаження
 Рисунок 23 – Характеристики елемента-ежектора

В ході лабораторних випробувань визначені показники нерівномірності і нестійкості висіву насіння зернових культур пневматичними висівними пристроями дискретної дії з елементами пневмоніки. При аналізі отриманих даних можна відзначити відповідність агротехнічним вимогам, так як у всіх випадках коефіцієнт варіації нерівномірності висіву між окремими виходами в сошник висівних апаратів менше 5%, а коефіцієнт варіації нестійкості висіву в окремих виходах блоків висівних апаратів менше 3%. При висіві насіння вівса, з більш видовженою формою, ніж пшениця, ячмінь або жито, нерівномірність висіву підвищується. Крім того, при нахилі вихрового розподільника посівного матеріалу понад 12° також має місце підвищення нерівномірності висіву.

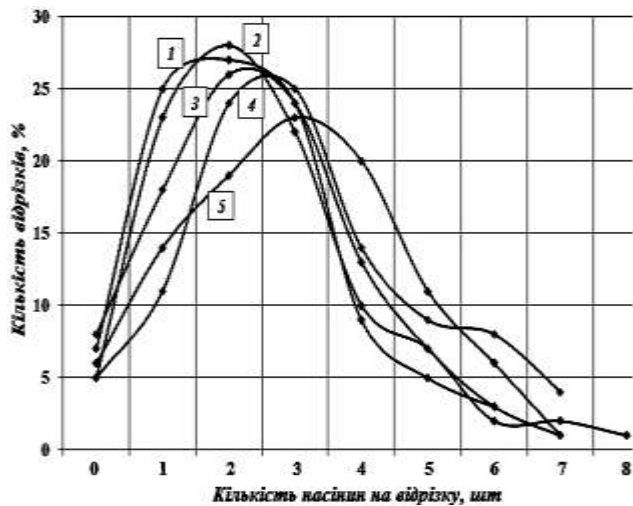
Показники, що характеризують рівномірність поздовжнього розподілу посівного матеріалу при випробуваннях висівних апаратів і систем з елементами пневмоніки на липкій стрічці, представлені на рис. 24, 25.

Аналізуючи представлені залежності можна відзначити, що досліджувані висівні пристрої показують ідентичні характеристики поздовжнього розподілу посівного матеріалу, що обумовлено принципом дії цих апаратів і систем.

Результати досліджень закономірностей впливу норми висіву на рівномірність поздовжнього розподілу насіння представлені на рис. 26.

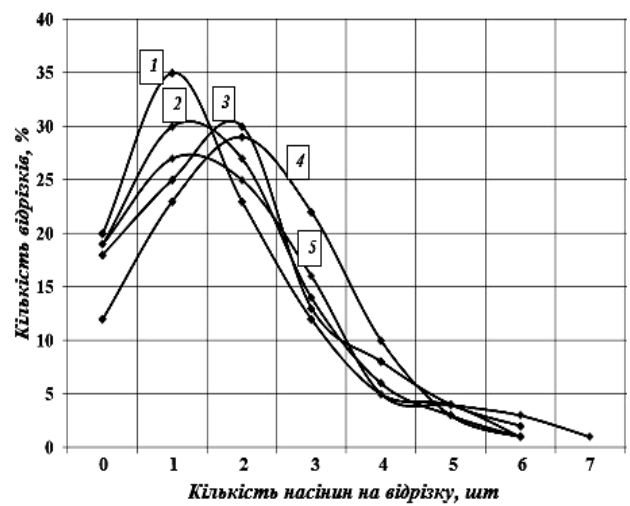
Залежності, які представлені на рис. 26 показують, що із зменшенням норми висіву рівномірність розподілу насіння пшениці і ячменю погіршується. Це пояснюється підвищеною дискретністю подачі потоку насіння.

Показники норми висіву при управлінні положенням багатопозиційного пневматичного перемикача в автоматизованій системі регулювання норми висіву, представлені в табл. 1.



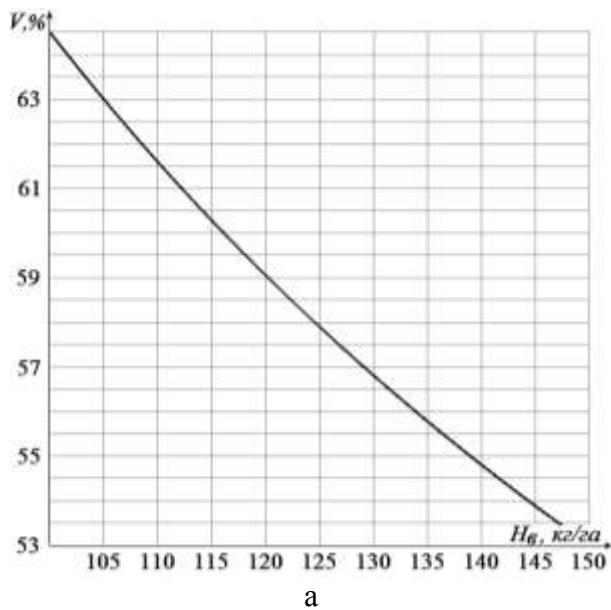
1 – з пневматичним підсилювачем;
2 – маятниковим; 3 – з вихровим клапаном;
4 – без рухомих деталей; 5 – вихровим розподільником насіння

Рисунок 24 – Закономірність позовжнього розподілу насіння пшениці при висіві запропонованими висівними апаратами

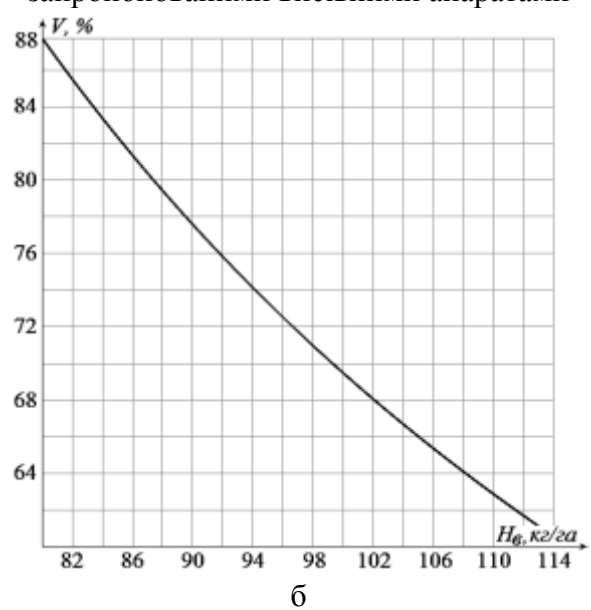


1 – маятниковим апаратом, 2 – апаратом з вихровим клапаном, 3 – вихровим розподільником насіння, 4 – апаратом з пневматичним підсилювачем, 5 – апаратом без рухомих деталей

Рисунок 25 – Закономірність позовжнього розподілу насіння ячменю при висіві запропонованими висівними апаратами



а



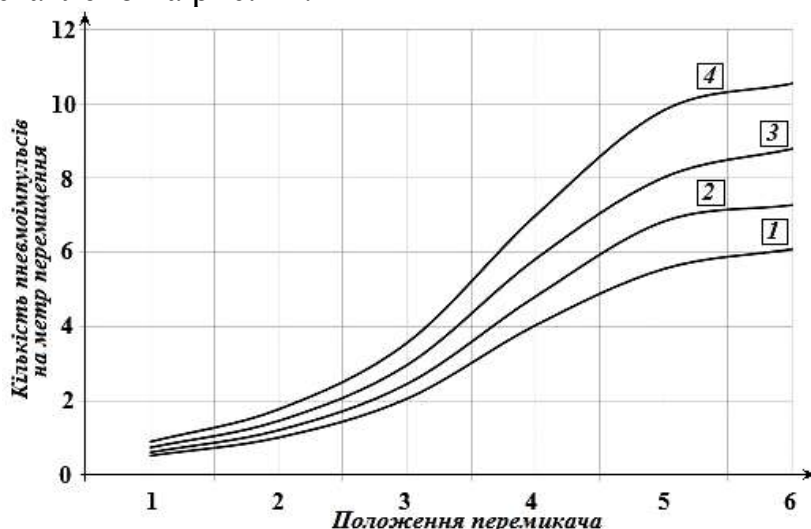
б

Рисунок 26 – Вплив норми висіву на рівномірність позовжнього розподілення вихідного потоку насіння пшениці (а) і ячменю (б)

Таблиця 1 – Число пневмоімпульсів блоку управління на метр переміщення

Положення ремня на шківах блоку управління	Положення багатопозиційного пневматичного перемикача					
	1 	2 	3 	4 	5 	6 
1	0,51	1,00	2,05	4,03	5,55	6,08
2	0,61	1,21	2,46	4,82	6,84	7,28
3	0,74	1,46	2,97	5,83	8,03	8,80
4	0,88	1,76	3,56	7,00	9,84	10,56

Графічну залежність кількості пневмоімпульсів на метр переміщення сівалки, від положення пневматичного перемикача системи управління нормою висіву, представлено на рис. 27.



1...4 – положення паса на шківів приводу блоку управління

Рисунок 27 – Показники регулювання автоматизованим виконавчим механізмом зміни норми висіву

У шостому розділі «Енергетична і техніко-економічна ефективність роботи зернових сівалок, висівних апаратів і систем» визначено показники енергоємності, ККД і технічного рівня посівних машин, висівних апаратів і систем, а також проведено експлуатаційно-технологічну оцінку посівних агрегатів з різними варіантами зернових сівалок.

Порівняння і вибір переважних показників посівних машин та висівних систем представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняння і вибір переважних показників посівних машин і висівних систем

№	Показники	Од. виміру	Варіант посівного агрегату			
			Беларус-1523		Беларус-1221.2	
			Astra-6	Клен-6	Solitaир 9/600КА	СВС
1	2	3	4	5	6	7
1	Принцип дії	-	Механ. котушкова	Електро-вібраційна	Пневмо-централізована	Пневмо-струминна
2	Тип висівного апарату або системи		аналогова	дискретна	аналогова	дискретна
3	Коефіцієнт корисної дії висівної системи	-	0,84	0,75	0,63	0,37
4	Питома енергоємність висівного апарату або системи	Вт	32,0	5,5	195,0	9,0
5	Коефіцієнт технічного рівня	Вт ⁻¹	2,62	11,4	0,38	4,10
6	Енергоємність сівалки	кВт/м	16,7	16,7	16,0	14,5

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7
7	Питомий тяговий опір сівалки	кН/м	2,75	2,76	2,67	2,41
8	Конструкт. маса сівалки	кг	2780	2200	1430	1430
9	Коефіцієнт корисного використання енергії по виду палива висівною системою	-	0,22	0,36		
10	Комплексний критерій ефективності, порівняльна ефективність сівалки	кг /с×м	2,29	2,30	2,22	2,00

При аналізі табл. 2 встановлено, що дискретні висівні системи мають вищий технічний рівень, ніж аналогові внаслідок більш раціонального використання енергії.

Експлуатаційно-технологічна оцінка варіантів посівних агрегатів на сівбі зернових культур представлена в табл. 3.

Таблиця 3 – Експлуатаційно-технологічна оцінка варіантів посівних агрегатів на сівбі зернових культур

№	Показники	Од. вим.	Варіант посівного агрегату			
			Беларус-1523		Беларус-1221.2	
			Astra-6	Клен-6	Solitaire 9/600KA	CBC
1	2	3	4	5	6	7
1	Енергоеквівалент: - тракторів - посівних машин	МДж	810540 322758	810540 255420	722376 166023	722376 166023
2	Теоретична продуктивн.	га/год	7,2			
3	Дійсна продуктивність	га/год	5,4			
4	Змінна продуктивність	га/зм	43,2			
5	Річний обсяг робіт	га	864			
6	Кількість нормо-змін в обсязі робіт	н.-зм.	20			
7	Амортизаційні відрахування	МДж/га	59,2	49,5	35,2	35,2
8	Відрахування на ТО і ПР	МДж/га	34,4	28,9	20,8	20,8
9	Годинна витрата палива	кг/ГОД	18,1	18,1	17,2	15,7
10	Витрата палива на одиницю роботи	кг/га	3,35	3,35	3,18	2,91
11	Витрата палива на річний обсяг робіт	кг	2894	2894	2748	2514
12	Витрати на паливо на одиницю роботи	МДж/га	142,4	142,4	135,2	132,7

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7
13	Витрати на заробітну платню на одиницю роботи	МДж/га	19,6			
14	Прямі експлуатаційні витрати	МДж/га	255,6	240,4	210,8	199,3
15	Питомі капіталовкладення	МДж/га	1312	1234	1028	1028
16	Приведені витрати	МДж/га	452,4	425,5	365,0	353,5
17	Економія приведених витрат у порівнянні з максимальним значенням	%	-	6,0	19,0	22,0
18	Річний економічн. ефект приведених витрат	МДж	-	23242	75514	85450

При аналізі табл.3 встановлено, що із застосуванням розроблених пневматичних висівних систем дискретної дії з елементами пневмоніки на зернових сівалках, можна економити приведені витрати до 16% в порівнянні з іншими машинами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну проблему підвищення ефективності роботи зернових сівалок на основі застосування пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії з елементами пневмоніки, із забезпеченням автоматизованого управління їх робочим процесом.

1. На основі аналізу стану проблеми встановлено, що ефективність роботи зернових сівалок визначається системним комплексом показників ефективності, в якому можна виділити чотири взаємопов'язані підсистеми: *C* – витрат коштів; *Q* – якості висіву; *T* – техніко-експлуатаційного рівня сівалок; *A* – автоматизації та інформатизації робочого процесу. Загальною методологічною основою для покращення показників ефективності роботи є системний підхід та його методи – системний аналіз і синтез, що дозволяють розробити і прийняти найбільш раціональні рішення, спрямовані на підвищення ефективності функціонування зернових сівалок.

2. Показано, що динаміка показників ефективності зернових сівалок з традиційними висівними системами в даний час визначається логістичною залежністю. При цьому *S*-подібні функції, що характеризують швидкість і продуктивність та визначають інтенсивний характер розвитку зернових сівалок, досягають насичення в певний момент часу. У той же час *S*-подібні функції, що характеризують ширину захвату, масу і матеріаломісткість та визначають екстенсивний характер розвитку зернових сівалок, мають тенденцію до безперервного зростання, що тягне за собою непропорційне зростання витрат і зниження ефективності застосування посівних машин.

3. На основі встановленої динаміки показників ефективності роботи

зернових сівалок обґрунтовано комплексний критерій ефективності – співвідношення витрат енергії, виражених тяговим опором, до показника питомої продуктивності, що дозволило обґрунтувати раціональність підвищення швидкості роботи зернових сівалок. Одиниця виміру критерію, виходячи з гідромеханічної аналогії, відповідає умовній динамічній в'язкості μ^* . Фізичний зміст розглянутого критерію полягає в здатності машини долати опір або працювати з максимальною ефективністю, а конструктивні і технологічні показники посівних машин можуть порівнюватися на основі запропонованого критерію.

4. На основі зіставлення фізико-технічних розмірностей показників та критеріїв роботи технічних засобів механізації обґрунтовано узагальнений комплексний критерій для оцінки ефективності застосування інших видів сільськогосподарської техніки. При цьому отриманий узагальнений комплексний критерій може оцінювати ефективність і оптимальність технічних рішень в засобах механізації, екологічність їх застосування та виступати параметричним співвідношенням у системах автоматизації для підтримання оптимальних режимів функціонування робочих органів. В якості оптимального значення запропонованого комплексного критерію ефективності емпірично прийнята «золота» пропорція, значення якої становить 1,62.

5. Запропоновано мехатронний підхід для вдосконалення засобів автоматизації робочого процесу і диференційованого висіву в зернових сівалках. У даному випадку показник функціонально-структурної інтеграції технічних засобів автоматизації $I^{FS} > 0$, на відміну від існуючих засобів, де $I^{FS} < 0$, що досягається на основі розробки і застосування мехатронних модулів, в яких максимум функціональних перетворень зосереджено в єдиному структурному елементі. Показано, що у структурній моделі управління з мехатронним модулем розподіл функціонального навантаження є рівномірним, з показником РФН $I_g = 33,3$, на відміну від існуючих структурних моделей, в яких показник РФН $I_g = 12,5$. Реалізацію програмно-апаратної платформи автоматизації при мехатронному підході необхідно здійснювати на базі структурних рішень, що відкриті для розвитку, зокрема на базі платформи Arduino. Це дозволяє більш ефективно здійснювати автоматизацію і інформатизацію робочого процесу зернових сівалок.

6. Встановлено, що розрахунковий ККД струминного силового елемента по тиску становить 38%. Теоретичні дослідження передачі механічної енергії плоскими струменями показують, що при описі взаємодії струменя робочого тіла з приймальною частиною силового струминного елемента необхідно аеродинамічне або імітаційне моделювання, у зв'язку з тим, що тут виникають складні вторинні течії у вигляді зворотних потоків, які пов'язані з нерівномірністю розподілу швидкостей в струмені. Ці течії істотно впливають на витрату і тиск в приймальному каналі.

7. Показано, що картина перемикання струменя в силових струминних елементах при моделюванні в програмному середовищі Ansys Fluent відрізняється від загальноприйнятої картини перемикання, яка існувала раніше і була отримана емпіричним шляхом. Отримані дані дають наочну картину процесу перемикання силового струминного елемента. Раніше, при дослідженні і розробці силових струминних елементів приймалася модель перемикання,

заснована на непрямих результатах теоретичних та експериментальних досліджень, що не давало повної ясності процесу перемикання і характеру виникнення пульсацій тиску, що викликають помилкові спрацьовування струминних елементів. На підставі імітаційного моделювання обрано оптимізовану конфігурацію силового струминного елемента для використання у висівних апаратах зернових сівалок.

8. Випробування розроблених пневматичних дискретних висівних пристроїв з елементами пневмоніки на рівномірність і нестійкість висіву показало їх відповідність агротехнічним вимогам, оскільки у всіх випадках коефіцієнт варіації нерівномірності висіву між окремими виходами апаратів менше 5%, а коефіцієнт варіації нестійкості висіву в окремих виходах блоків висівних апаратів менше 3%. Встановлено, що при висіві насіння з різними фізико-механічними властивостями показники нерівномірності і нестійкості висіву змінюються. При нахилі вихрового розподільника насіння понад 12° характеристики рівномірності висіву погіршуються. Поздовжній розподіл посівного матеріалу досліджуваними висівними апаратами показує ідентичні характеристики. При цьому коефіцієнт варіації знаходиться в межах 54...84% для різних видів насіння і конструкцій висівних пристроїв.

9. Визначено, що показник технічного рівня механічних катушкових апаратів складає 2,62, електромагнітних вібродискретних – 11,4, апаратів з елементами пневмоніки – 4,10, а у пневматичних централізованих висівних систем даний показник є мінімальним і становить 0,38. Запропонований критерій ефективності посівних машин з катушковими апаратами дорівнює 2,29, з електромагнітними вібродискретними апаратами – 2,30, з пневматичними централізованими висівними системами – 2,22, з висівними апаратами на основі елементів пневмоніки – 2,0. Споживана потужність висівних пристроїв при ширині захвату сівалки 6 м складає для катушкових апаратів – 0,70 кВт, для ПЦВС – 8,46 кВт, для вібродискретних апаратів з електричним приводом – 0,25кВт, для апаратів з елементами пневмоніки – 0,38 кВт.

10. Показано, що конструктивне виконання зернової сівалки з роздільно-агрегатною компоновальною схемою групового висіву і дискретною пневматичною висівною системою на основі елементів струминної техніки дозволяє зменшити матеріалоемність конструкцій, знизити тяговий опір на 12% і енергоємність роботи сівалок в середньому на 13%, до значень 14,5 кВт/м ефективної потужності двигуна, а також економити експлуатаційні і приведені витрати у розмірі до 16% в порівнянні з іншими варіантами посівних машин, висівних апаратів і систем.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Панков А. А. Технические средства процесса высева на основе элементов пневмоники: Монография / А. А. Панков, В. В. Аулин, М. И. Черновол. – Кировоград: издатель Лысенко В. Ф., 2016. – 242 с.

2. Панков А. А. Целесообразность применения и теоретическое обоснование параметров активного вихревого распределителя семян / А. А. Панков, В. Е. Кириченко // Збірник наукових праць ЛДАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛДАУ, 2001. – № 10/22. – С. 82–85.

3. Коваль В. Я. Решение третьей задачи виброреологии путем аппроксимации теоретических данных и обобщения полученных результатов для различных сыпучих сред / В. Я. Коваль, Н. И. Волошко, А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць КДТУ. – Вип.10. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – С. 59–63.

4. Панков А. А. Преобразование выражений Булевой алгебры последовательным применением принципа двойственности / А. А. Панков, А. Е. Петренко, Ю. А. Корчанова // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2002. – № 17/29. – С. 84–86.

5. Волошко Н. И. О разработке конструкции и исследовании виброремеха плуга / Н. И. Волошко, П. А. Ермак, А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2002. – № 17/29. – С. 39–41.

6. Панков А. А. Перспективные направления в разработке и совершенствовании высевающих аппаратов рядковых сеялок / А. А. Панков, В. Е. Кириченко // Механізація сільського господарства. Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – Т. XIV. – Київ, 2003. – С. 429–432.

7. Панков А. А. Дифференцированный высев на основе элементной базы струйной пневмоавтоматики / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2003. – № 31/43. – С. 167–170.

8. Панков А. А. Совершенствование дозирующих систем с элементами струйной техники для рядовых культур / А. А. Панков, В. Я. Коваль, А. В. Щеглов // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2004. – № 42/54. – С. 126–129.

9. Коваль В. Я. Определение силы бокового давления семян подсолнечника на стенку неглубокого сосуда / В. Я. Коваль, А. В. Щеглов, А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2004. – № 42/54. – С. 76–84.

10. Панков А. А. Сравнительный анализ эксплуатационных энергетических показателей работы высевающих аппаратов рядовых сеялок / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2005. – № 49/72. – С. 186–194.

11. Панков А. А. Повышение производительности посевных машин на основе рационального использования энергии / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2006. – № 68/91. – С. 186–193.

12. Панков А. А. Механико-технологические основы снижения энергетических затрат при работе посевных машин / А. А. Панков // Збірник наукових праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2006. – № 65/88. – С. 164–173.

13. Панков А. А. Совершенствование пневматических высевающих аппаратов / А. А. Панков, А. В. Щеглов // Науковий вісник ЛНАУ. Спеціальн. вип. Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2011. – № 30. – С. 338–341.

14. Применение новых информационных технологий в земледелии [Электронный ресурс] / А. А. Панков, А. В. Щеглов, В. А. Колесников // Наукові

вісті Далівського університету. – 2012. – № 9 (180), Ч. 2. – Режим доступу до журналу: <http://uran.donntu.org/~masters/2014/igg/knysh/library/17.htm>

15. Панков А. А. Анализ динамики удельного тягового сопротивления рядковых сеялок / А. А. Панков, А. В. Щеглов // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірн. наук. праць КНТУ. – Вип. 25, Ч. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 61–68.

16. Щеглов А. В. Нижняя подача семян присосками барабана из семенной камеры / А. В. Щеглов, А. А. Панков // Науковий вісник ЛНАУ. Серія : Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2013. – № 47. – С. 202–205.

17. Панков А. А. Применение эжекторов в пневмоструйной технике агропромышленного комплекса / А. А. Панков, А. В. Щеглов // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – Вип. 43, Ч.І. – С. 326–329.

18. Панков А. А. Актуальность и перспективы создания универсальных модульных машин для выращивания зерновых культур / А. А. Панков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 45, Ч. І. – С. 239–246.

19. Аулин В. В. Технично–экономическое обоснование и анализ перспектив точного посева зерновых культур пневмоструйными аппаратами / В. В. Аулин, А.А. Панков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково–технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 45, Ч. 2. – С. 7–14.

20. Черновол М. И. Моделирование силовых пневмоструйных элементов высевальных аппаратов / М. И. Черновол, В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2015. – № 4. – С. 175–179.

21. Панков А. А. Устройства и методы автоматического управления на основе пневмоструйных элементов в средствах механизации сельского хозяйства / А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірник наукових праць КНТУ. – Вип. 29. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – С. 76–82.

22. Аулин В. В. Надёжность рабочих процессов технических средств АПК с элементами пневмоники / В. В. Аулин, А. А. Панков, Т. Н. Замота // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2016. – № 5. – С. 117–125.

23. Аулин В. В. Энергетическая концепция развития высевальных систем / В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2016. – №1. – С. 267–273.

24. Аулин В. В. Конструктивно–компоновочные схемы высевальных систем с элементами пневмоники / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 1. – С. 142–147.

25. Аулін В. В. Напрями розвитку висівальних систем / В. В. Аулін, М. І. Черновол, А. О. Панков // Механізація та електрифікація сільського

господарства: [загальнодержавний збірник]. – 2016. – Випуск № 3 (102) / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2016. – С. 54–58.

26. Аулин В. В. Исследование формирования исходного потока семян пневмодозатором пунктирного высева / В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 2. – С. 27–32.

27. Панков А. А. Энергетические показатели рабочего процесса высевающих аппаратов и систем / А. А. Панков // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Збірн. наук. праць ЦНТУ. – Вип. 30. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 28–36.

28. Аулин В. В. Экспериментальные исследования струйного высевающего аппарата / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов, Г. И. Анистратов // Вісник інженерної академії України. – 2016. – № 4. – С. 67–70.

29. Аулин В. В. Исследование выброса семян пропашных культур пневмоструйным высевающим аппаратом / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. В. Щеглов // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 1. – С. 221–225.

30. Аулин В. В. Панков А. А. Эволюционное вычисление жизненного цикла технических средств на основе генетических алгоритмов / В. В. Аулин, А. А. Панков // Вісник інженерної академії України. – 2017. – №2. – С.116–119.

31. Аулин В. В. Выбор датчика скорости и надежность его работы в блоке управления струйной высевающей системой / В. В. Аулин, А. А. Панков // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2017. – № 8. – С. 153–158.

32. Аулин В. В. Автоматизация регулирования нормы высева на основе мехатронной реализации программно-аппаратного обеспечения / В. В. Аулин, А.А. Панков, М. И. Черновол, А. Г. Стахорская // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 3. – С. 240–244.

33. Аулин В. В. Критерий эффективности применения зерновых сеялок с механическими высевающими аппаратами / В. В. Аулин, М. И. Черновол, А. А. Панков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – Вип. 47, Ч. 1. – С. 40–46.

34. Pankov A. The research of application and working process of fluid-jet elements and devices in planting techniques / A. Pankov, T. Zamota, A. Shcheglov // ТЕКА Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – Lublin, 2014. – Vol. 14., № 1. – pp. 191–199. (Закордонне періодичне видання).

35. Аулин В. В. Поточно-программное регулирование рабочих параметров мобильных технологических машин / В. В. Аулин, А. А. Панков, А. Г. Стахорская // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Poland, Lublin, 2016. – Vol. 18, № 2. – pp. 25–32. (Закордонне періодичне видання).

36. Аулин В. В. Программно-аппаратные средства дифференцированного дозирования технологических материалов / В. В. Аулин, А. А. Панков // Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. Труды БГТУ. Серия 1. – Минск: БГТУ, 2017. – № 1 (192). – С. 23–33. (Закордонне періодичне видання).

37. Аулин В. В. Функционально–структурный анализ системы управления нормой высева в информационной системе земледелия / В. В. Аулин, М. И. Черновол, А. А. Панков // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции (Минск, 22-24 ноября 2017 года). – Минск, БГАТУ. – 2017. – С. 72–74. (Закордонне періодичне видання).

38. Aulin V. V. Sowing machines and systems based on the elements of fluidics / V. V. Aulin, M. I. Chernovol, A. O. Pankov, T. M. Zamota, K. K. Panayotov // INMATEH. Agricultural engineering. – 2017. – Vol. 53, № 3. – pp. 21–28. (Закордонне періодичне видання).

ОПУБЛИКОВАНІ ПРАЦІ АПРОБАЦІЙНОГО ХАРАКТЕРУ

39. Панков А. А. Применение элементов струйной техники в сельском хозяйстве, легкой и пищевой промышленности : матеріали V Міжнародної науково–практичної конференції [«Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД»], (Краснодон, 20 квітня 2012 р.) / Міністерство освіти, СУНУ ім. В. Даля, 2012. – С. 47–51.

40. Панков А. А., Щеглов А. В. Качественный системный анализ процессов и явлений в техническом обеспечении АПК : матеріали IX Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»], (Кіровоград, КНТУ, 2013 р.) / Міністерство освіти, КНТУ, 2013. – Вип.1. – С. 219–221.

41. Панков А. А. Разработка и применение высевающих систем с элементами струйной пневмоавтоматики : матеріали VI Міжнародної науково–практичної конференції [«Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД»], (Краснодон, 19 квітня 2013 р.) / Міністерство освіти, СУНУ ім. В. Даля, 2013. – С. 65–67.

42. Панков А. А. Тенденции развития технических средств для выращивания зерновых культур в агропромышленном комплексе : матеріали Всеукраїнської науково–практичної інтернет–конференції з міжнародною участю [«Нові матеріали і перспективні технології, охорона праці і професійна освіта»], (Луганськ, 4 квітня 2014 р.) / Міністерство освіти, «ЛНУ ім. Тараса Шевченка», 2014. – С. 57–58.

43. Панков А. А. Возможности и задачи использования пневмоструйных устройств в технических средствах АПК : материалы IX Международной научно–практической конференции [«Проблемы горного дела и экологии горного производства»], (Антрацит, 24–25 апреля 2014 г.) / Міністерство освіти, СУНУ ім. В. Даля, 2014. – С.206–208.

44. Аулин В. В., Панков А. А. Перспективы применения универсальных модульных машин в растениеводстве : матеріали X Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»], (Кіровоград, КНТУ, 2015 р.) / Міністерство освіти, КНТУ, 2015. – С. 157–158.

45. Аулин В. В., Панков А. А., Стахорская А. Г. Управление дозирующими устройствами в информационных системах земледелия : матеріали IX Міжнародної науково–практичної конференції [«Інтегровані

інтелектуальні робото-технічні комплекси» (ПРТК–2016)»], (Київ, 17-18 травня 2016 р.) / Міністерство освіти, К. : НАУ, 2015. – С. 193–195.

46. Аулин В. В., Панков А. А., Щеглов А. В. Повышение эффективности рабочего процесса лесных сеялок на основе применения элементов и устройств пневмоструйной техники : материалы 81 научно–технической конференция профессорско–преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием) [«Технология и техника лесной промышленности»], (Минск, 02-07 февраля 2017г.) / Минск: БГТУ. – С.129–130.

47. Аулин В. В., Панков А. А. Пневмоструйные исполнительные элементы высевających систем посевных машин : матеріали III Всеукраїнської науково–практичної конференції [«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»], (Житомир, 29–30 березня 2017 р.) / Міністерство освіти, ЖНАУ, 2017. – С. 6–8.

48. Аулин В. В., Панков А. А. Исследование показателей эффективности конструкций и рабочего процесса зерновых сеялок : матеріали XI Міжнародної науково–практичної конференції [«Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»], (Кропивницький, ЦНТУ, 2017 р.) / Міністерство освіти, ЦНТУ, 2017. – С. 119-120.

ДОДАТКОВІ ПУБЛІКАЦІЇ

49. Пат. 108787 Україна, МПК А01С 7/04. Пневматична висівна система / В.В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № у 2016 01983; заявл. дата 29.02.2016; опубл. 25.07.2016, Бюл. №14.

50. Пат. 112482 Україна, МПК А01С 7/04. Спосіб пневмоструминного висіву / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № у 2016 01982; заявл. дата 29.02.2016; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24.

51. Пат. 114711 Україна, МПК А01С 7/12. Спосіб пневмоструминного висіву / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № у 2016 10952; заявл. дата 31.10.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5.

52. Пат. 115046 Україна, МПК А01С 7/12. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, В. Я. Коваль, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № у 2016 11776; заявл. дата 21.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7.

53. Пат. 115394 Україна, МПК А01С 7/00. Спосіб розподілення технологічного матеріалу / В. В. Аулін, А. О. Панков, А. В. Щеглов, Т. М. Замота, А. В. Гриньків (Україна). - № у 2016 11778; заявл. дата 21.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7.

54. Пат. 116994 Україна, МПК А01С 7/04. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № у201613580; заявл. дата 29.12.2016; опубл.12.06.2017. Бюл.№11.

55. Пат. 122243 Україна, МПК А01С 7/04. Пневматична висівна система / В. В. Аулін, А. О. Панков, А. В. Щеглов, А. В. Гриньків, Т. М. Замота (Україна). - № у201713580; заявл. дата 20.07.2017; опубл. 26.12.2017. Бюл.№24.

АНОТАЦІЯ

Панков А. О. Наукові основи підвищення ефективності роботи зернових сівалок застосуванням пневматичних висівних пристроїв дискретної дії. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва (13 – Механічна інженерія). – Центральноукраїнський національний технічний університет МОН України, Кропивницький, 2017.

В дисертації вирішено комплексну науково-технічну проблему підвищення ефективності роботи зернових сівалок, що включає в себе наступні складові: покращення енергоефективності робочого процесу висівних систем, зниження матеріаломісткості і тягового опору сівалок на основі застосування пневматичних висівних пристроїв дискретної дії з елементами струминної техніки, а також удосконалення засобів автоматизації та інформатизації процесу висіву на основі мехатронного підходу.

Встановлено, що перспективним напрямком підвищення ефективності технологічного процесу висіву є його принципова структурна зміна на основі застосування вепольного дискретного принципу дії висівних пристроїв, пов'язаних гнучкою дискретною синхронізацією з переміщенням посівної машини. При цьому дискретний принцип дії висівних пристроїв дозволяє оптимізувати енергоспоживання та ефективніше здійснювати автоматизацію робочого процесу, на відміну від аналогового принципу дії традиційних висівних систем.

Залежності, виявлені в результаті аналізу і обробки даних, що характеризують роботу зернових сівалок, дозволили обґрунтувати комплексний універсальний критерій ефективності застосування посівних машин, який представляє собою параметричне співвідношення, що визначає ефективність виробництва та експлуатації зернових сівалок на основі раціонального використання енергії. Співвідношення витрат енергії, виражених питомим тяговим опором, до продуктивності, або витрат до ефективності, показує порівняльну ефективність посівної машини.

Показано, більшість існуючих технічних засобів диференціювання норми висіву є структурно надлишковими, з негативним показником функціонально-структурної інтеграції та нерівномірним розподілом функціонального навантаження. Наявність надлишкових блоків призводить до зниження надійності і точності функціонування систем автоматизації, погіршення їх масогабаритних і вартісних показників. Доведено необхідність поліпшення показника функціонально-структурної інтеграції та розподілу функціонального навантаження в системах автоматизації посівних машин на основі застосування інтелектуальних мехатронних модулів.

Встановлено, що поєднання в посівній машині роздільно-агрегатної компоновальної схеми групового висіву з малої матеріаломісткістю і висівних систем зі зниженою енергоємністю можливо на основі розроблених пневматичних висівних пристроїв дискретної дії з елементами пневмоніки. Це дозволяє зменшити енергоємність роботи зернових сівалок в середньому на 13%, знизити їх тяговий опір в середньому на 12%, а також економити

експлуатаційні і приведені витрати до 16% в порівнянні з посівними машинами, заснованими на поєднанні інших компоновальних схем і висівних систем.

Ключові слова: висівна система, диференційований висів, зернова сівалка, критерій ефективності, мехатронний модуль, пневмоніка, струминний елемент, тяговий опір, енергоємність, ефективність, вепольність, дискретність, автоматизація.

АННОТАЦИЯ

Панков А. А. Научные основы повышения эффективности работы зерновых сеялок применением пневматических высевających устройств дискретного действия. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.11 – Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства (13 – Механическая инженерия). – Центральноукраинский национальный технический университет МОН Украины, Кропивницкий, 2017.

В диссертационной работе решена комплексная научно-техническая проблема повышения эффективности работы зерновых сеялок, которая включает в себя следующие составляющие: улучшение энергоэффективности рабочего процесса высевających систем, снижения материалоемкости и тягового сопротивления сеялок на основе применения пневматических высевających устройств дискретного действия с элементами струйной техники, а также совершенствование средств автоматизации и информатизации процесса высева на основе мехатронного подхода.

Выявлено, что причиной снижения эффективности применения зерновых сеялок с традиционными высевających системами являются непропорционально возрастающие материалоемкость конструкций и рабочего процесса, и как следствие, повышение тягового сопротивления машин. Следовательно, актуальной проблемой является снижение материалоемкости вследствие того, что она превышает рекомендуемые значения, равные 250...300 кг/м. Значение энергоемкости работы зерновых сеялок также превышают рекомендуемые и равные 10...15 кВт/м.

Установлено, что для зерновых сеялок с традиционными высевających системами принципиально не удастся снизить материалоемкость и энергоемкость до оптимальных в данных социальных и технико-экономических условиях, с одновременным пропорциональным повышением эффективности и производительности. Вследствие того, что эффективное использование таких высевających систем в значительной степени исчерпало свой потенциал, то актуальным является внедрение новых технологий производства и механико-технологических принципов действия высевających систем с минимальной энергетикой производства и эксплуатации, автоматизацией и информатизацией рабочего процесса.

Показано, что в настоящее время для повышения производительности посевных МТА перспективным является интенсивное направление, основанное на повышении скорости движения до 15 км/ч и выше. При этом необходимо обеспечить снижение энергозатрат, связанных с повышением скорости, что возможно на основе применения новых высевających систем зерновых сеялок с оптимизированным энергопотреблением.

Установлено, что перспективным направлением повышения эффективности технологического процесса высева является его принципиальное структурное изменение на основе применения вепольного дискретного принципа действия высевающих устройств, связанных гибкой дискретной синхронизацией с перемещением посевной машины. При этом дискретный принцип действия высевающих устройств позволяет оптимизировать энергопотребление и эффективнее осуществлять автоматизацию рабочего процесса, в отличие от аналогового принципа действия традиционных высевающих систем.

Зависимости, выявленные в результате анализа и обработки данных, характеризующих работу и конструкции зерновых сеялок, позволили обосновать комплексный универсальный критерий эффективности применения посевных машин, который представляет собой параметрическое соотношение, определяющее эффективность производства и эксплуатации зерновых сеялок на основе рационального использования энергии. Отношение затрат энергии, выраженных удельным тяговым сопротивлением к показателю удельной производительности, или затрат к эффективности, показывает сравнительную эффективность посевной машины.

Показано, что существующие машины для посева зерновых культур недостаточно склонны к автоматизации и работы в условиях системы точного земледелия. Установлено, что необходимое их переоборудование связано со значительными техническими и материальными затратами, а практическая реализация многих предлагаемых технических решений дифференцирования нормы высева недостаточно эффективна. При этом большинство существующих технических средств дифференциации нормы высева является структурно избыточными, с отрицательным показателем функционально-структурной интеграции и неравномерным распределением функциональной нагрузки. Показано, что наличие избыточных блоков приводит к снижению надежности и точности функционирования систем автоматизации, ухудшению их массогабаритных и стоимостных показателей. Доказана необходимость улучшения показателя функционально-структурной интеграции и распределения функциональной нагрузки в системах автоматизации посевных машин на основе применения интеллектуальных мехатронных модулей.

Установлено, что сочетание в посевной машине раздельно-агрегатной компоновочной схемы группового высева с малой материалоемкостью и высевающих систем с пониженной энергоемкостью возможно на основе разработанных пневматических высевающих устройств дискретного действия с элементами пневмоники. Это позволяет уменьшить энергоемкость работы зерновых сеялок в среднем на 13%, снизить их тяговое сопротивление в среднем на 12%, а также экономить эксплуатационные и приведенные затраты до 16% в сравнении с посевными машинами, основанными на сочетании других компоновочных схем и высевающих систем.

Ключевые слова: высевающая система, дифференцированный высев, зерновая сеялка, критерий эффективности, мехатронный модуль, пневмоника, струйный элемент, тяговое сопротивление, энергоемкость, эффективность, вепольность, дискретность, автоматизация.

ABSTRACT

Pankov A. O. Scientific bases of increase of grain seeders' efficiency of work by application of pneumatic sowing devices of discrete action. – Manuscript.

Thesis for the Doctor's degree of Technical Sciences on specialty 05.05.11 – Machines and means of mechanization of agricultural production (13 – Mechanical engineering). – Central Ukrainian National Technical University (The Ministry of education of Ukraine), Kropyvnytskyi, 2017.

In this thesis the complex scientific and technical problem of increase of efficiency of use of grain seeders including the following components is solved: improvement of power efficiency of working process of the sowing systems, decrease in material intensity and traction resistance of seeders on the basis of application of pneumatic seeding devices of discrete action with elements of jet equipment, and also improvement of means of control, automation and informatization of process of sowing on the basis of mechatronic approach.

It is established that the perspective direction of efficiency increasing of seeding technological process is its basic structural change on the basis of discrete principle's application of the seeding devices action which are connected with flexible discrete synchronization with movement of the sowing machine. In this discrete principle of operation of the sowing device allows to optimize and effectively automate workflow, in contrast to the analog principle of conventional sowing systems.

Dependencies that are identified in the analysis and processing of the data characterizing the operation of grain drills, allowed to justify the complex universal criterion of the effectiveness of seeding machines, which is a parametric ratio that indicates the efficiency of production and operation of grain drills on the basis of rational use of energy. The ratio of energy costs, expressed as the specific traction resistance to productivity, or costs to efficiency, shows the comparative efficiency of the sowing machine.

It is shown that the majority of the existing technical means of seeding rate differentiation is structurally redundant, with a negative indicator of functional and structural integration and uneven distribution of functional load. The presence of excess blocks leads to a decrease in the reliability and accuracy of automation systems, deterioration of their weight and size and cost indicators. The necessity of improving the index of functional-structural integration and functional load distribution in the automation systems of sowing machines based on the use of intelligent mechatronic modules is proved.

It is established that the combination in the sowing machine of separate-aggregate layout scheme of group seeding with low material consumption and seeding systems with low energy consumption is possible on the basis of the developed pneumatic seeding devices of discrete action with elements of pneumatic. This reduces the power consumption of grain drills by an average of 13%, reduce their traction resistance by an average of 12%, as well as save operating and reduced costs up to 16% compared to sowing machines based on a combination of other layout schemes and sowing systems.

Key words: seed system, differentiated seeding, seeder, criterion of efficiency, mechatronic module, pneumatic, jetting element, the traction resistance, energy, efficiency, vector-field, discreteness, automation.

Підписано до друку 7.03.2018 р. Формат 60х80/16.
Ум друк. арк. – 1,9. Обл.-вид. – 1,8.
Наклад 100 прим. Зам №266/2016.

РВЛ КНТУ. 25030, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8
Тел. 390-441, 559-245.