

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

ЗАЄЦЬ ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 631.331

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування системи вводу посівного матеріалу в
магістральний трубопровід пневматичної сівалки**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ О.А. Заєць

Керівник роботи

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Заєць Олександр Анатолійович. Обґрунтування системи вводу посівного матеріалу в магістральний трубопровід пневматичної сівалки. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Провівши порівняльний аналіз переваг та недоліків пневматичних сівалок встановлено, що для підвищення якості технологічної операції основну увагу при модернізації пневматичних сівалок слід звернути на подачу насіння в пневмопровід.

Розроблена математична модель, яка протестована в Matlab та продемонструвала працездатність моделі з ІТ-обладнанням, з точки зору закону управління або можливої автоматизації. Проведена експериментальна перевірка математичного моделювання в польових умовах підтвердила її адекватність.

Встановлено, що найбільш придатна з точки зору маневреності та задоволені потреб конфігурація "заднього бункера".

Запропонований метод проектування пневматичної системи транспортування насіння з урахуванням енергетичного аспекту. Конструкція пневматичної транспортної системи базується на визначенні перепадів тиску та виборі аеродинамічної труби відповідно до матеріалу, що транспортується.

Було проведено експериментальне визначення концентрації та мінімальної транспортної швидкості. Це дозволяє отримати оптимальні значення концентрації та швидкості, що застосовуються на сільськогосподарських сівалках, а також дозволяє їх регулювати. Також було вирішено питання вибору діаметра трубопроводів.

Ключові слова: пневматична сівалка, пневмопровід, насіння, потік, швидкість.

ANNOTATION

Zayets Alexander Anatolyevich. Substantiation of the system of input of sowing material into the main pipeline of the pneumatic drill. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

After conducting a comparative analysis of the advantages and disadvantages of pneumatic drills, it was found that to improve the quality of the technological operation, the main attention in the modernization of pneumatic drills should be paid to the supply of seeds in the pneumatic line.

Developed a mathematical model that was tested in Matlab and demonstrated the performance of the model with IT equipment, in terms of control law or possible automation. The experimental verification of mathematical modeling in the field confirmed its adequacy

It is established that the configuration of the "rear bunker" is the most suitable from the point of view of maneuverability and satisfied needs.

The method of designing the pneumatic system of seed transportation taking into account the energy aspect is offered. The design of the pneumatic transport system is based on the determination of pressure drops and the choice of wind tunnel in accordance with the material being transported.

An experimental determination of the concentration and minimum transport speed was performed. This allows you to get the optimal values of concentration and speed used on agricultural drills, and also allows you to adjust them. The issue of choosing the diameter of the pipelines was also resolved.

Key words: pneumatic seeder, pneumatic line, seeds, flow, speed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПНЕВМАТИЧНИХ СІВАЛОК.....	7
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	14
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИПРОБОВУВАННЯ.....	22
ВИСНОВКИ.....	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	29

ВСТУП

В контексті розвитку сталого сільського господарства необхідно оптимізувати енергетичні витрати сільськогосподарських операцій, забезпечуючи при цьому короткий робочий час, а також високу якість виконуваних операцій [1-3]. Це питання стосується зокрема посіву, який є визначальним для якості майбутнього врожаю. Розроблені сьогодні сівалки великої ємності та високої продуктивності повинні бути сумісними з цим набором обмежень [4-8]. Отже, головним завданням при удосконаленні пневматичних посівних комплексів є розробка інноваційної методології із застосуванням модельних інструментів з метою зменшення енергоспоживання посівного обладнання.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – підвищити якість проведення технологічної операції посіву пневматичними сівалками за рахунок розробки та обґрунтування системи вводу посівного матеріалу в магістральний трубопровід.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати умови роботи та особливості експлуатації пневматичних сівалок;
- провести лабораторні дослідження по визначенню діаметра вихідних труб розподільника;
- провести експлуатаційні дослідження.

Об'єкт дослідження: процес виконання технологічної операції посіву зернових культур пневматичною сівалкою.

Предмет дослідження: залежність якості виконання технологічної операції посіву від швидкості повітря та потоку матеріалу, типу згину трубопроводів, місця розміщення напрямних елементів та центруючих конусів, конструкції та висоти колони, в установках конічних дефлекторів та закупування вихідних отворів

Методи дослідження. Дослідження виконано з використанням зальнонаукових методів пізнання, методів механіки, гідравліки, вищої математики та прикладної фізики. Обробка експериментальних даних виконувалась за допомогою методів математичної статистики з використанням прикладних комп'ютерних програм.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Заєць О. А.** Оптимальне розташування бункера при роботі посівного агрегату. Збірник матеріалів і Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції «*Теорія і практика сучасної науки очима молоді*» 26 березня 2020 року (проведено он-лайн 30 квітня 2020 року) м. Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка. С. 129-131.

2. **Заєць О. А.** До питання визначення траєкторії повороту агрегатів в складі трактора та посівного комплексу. ІХ Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (05-24 жовтня 2020 р.). [Електроний ресурс] – <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.

3. Куликівський В. Л. **Заєць О. А.** Критерії ефективності пневматичних сівалок. Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції „*Сучасні проблеми землеробської механіки*” присвяченої 90-річчю Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка та 120-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка. 17 – 18 жовтня 2020 року Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка. С. 69-70.

Практичне значення одержаних результатів. Основні результати магістерської роботи спрямовані на

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 20 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 30 сторінок комп'ютерного тексту, містить 1 таблицю та 11 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПНЕВМАТИЧНИХ СІВАЛОК

Незважаючи на багато переваг пневматичних сівалок, вони також мають багато недоліків [9-15]:

Високі енергетичні потреби;

Агротехнологічні дефекти: вплив на насіння під час дозування, транспортування та розподілу; високий ризик перешкоди повітряного контуру; нерегулярність та розподіл насіння між насінневими рядами;

Важка машина з точки зору ущільнення ґрунту;

Висока вартість машини.

Оскільки два останні недоліки неминучі, ми зупинимось на двох інших основних проблемах.

Енергоефективність сільськогосподарської машини зумовлена, з одного боку споживанням машини, а з іншого – режимом роботи, визначеним користувачем. З метою збільшення продуктивності робоча ширина збільшується, що неминуче призводить до збільшення енергоспоживання. Цей енергетичний аспект, хоча і важливий у сучасному екологічному контексті, навряд чи враховується машинобудівниками. Отримана енергоефективність повинна бути зосереджена не лише на зменшенні споживання, а й на більш ефективному використанні енергії, що постачається [8].

За цих обставин необхідно розробити нові підходи до параметризації систем пневматичних сівалок із великою робочою шириною. Завданням розробки цих підходів є оптимізація продуктивності пневматичних сівалок шляхом зменшення енергетичних потреб, що є важливим фактором сталого сільського господарства.

Під час роботи пневматичної сівалки великої ширини виникають три типи енергетичних витрат [12]:

- пов'язані з міцністю на розтяг сівалки;
- пов'язані з транспортуванням;
- пов'язані з внутрішнім споживанням.

Найбільш делікатний момент стосується особливо маневрів у кінці поля, таких як розвороти. Наприклад, водії або оператори зобов'язані зменшувати швидкість руху вперед і здійснювати рульове управління, щоб компенсувати погану маневреність великих машин, одночасно розміщуючи мобільний вузол у зоні зменшеного маневрування в кінці поля. Польові результати показують, що під час маневрів на полі можна втратити майже 20% робочого часу. Крім того, ґрунт у районі поворотних смуг більш ущільнений завдяки здійсненим там маневрам, що дуже негативно впливає на врожайність. Таким чином, ширина поворотних смуг повинна бути зменшена до мінімуму, що ускладнює стратегію встановлення шляхів маневру [13].

Одним з недоліків, на якому слід зосередитись, є сильна неоднорідність розподілу насіння. Нинішні сівалки мають коефіцієнти варіації від 9 до 15%, знаючи, що агрономічна допустима межа встановлена на рівні 5%. Для добрив цей коефіцієнт може сягати від 14 до 21%, знаючи, що максимальна межа оптимального розподілу становить 10%. Ця неоднорідність спричиняє негативний вплив на майбутній урожай.

Перешкоди на лініях пневматичних сівалок викликані тим, що дуже часто традиційні методи не підходять для контексту сівалок. Відсутність науково обґрунтованих рекомендацій щодо налаштування машинних систем призводить до надмірного споживання енергії, а також до шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Як правило, одновісні бункери (напівпричепи) розміщуються попереду, тобто між трактором і насінневими секціями. У цьому в цьому випадку вага бункера розподіляється між шасі трактора і віссю бункера. Це пояснює відносно нижчу ціну сівалок, в порівнянні сівалками з заднім бункером, який повинен бути обладнаний двома осями або одним колесом посередині.

Шасі бункера в передньому положенні (рис. 1.1) повинно бути посилене для того, щоб забезпечити передавання сили розтягування на брус з посівними секціями, забезпечити роботу і уникати негативного навантаження на трактор. Якщо навантаження на бункер перевищує допустиме навантаження на задню вісь трактора, потрібно змінити трактор або використовувати конфігурацію із заднім розміщенням бункера [13].



Рис. 1.1. Сівалка із переднім розташуванням бункера.

Здається, що краще використовувати бункер попереду, тому що розміщення бункера позаду посівних секцій призвело б до збільшення енерговитрат на буксирування бункера по обробленому ґрунті.

Після проходження агрегату з переднім розміщенням бункера не залишається слідів від рушіїв, на відміну від використання агрегату з заднім розміщенням бункера.

Конфігурацію машини з переднім бункером необхідно використовувати ранньою весною, коли ґрунт вологий, для посіву насіння на невелику глибину (наприклад ріпаку).

Опитування механізаторів та фермерів показує, що під час використання на нерівній місцевості та при роботі на схилах конфігурація «бункер до» матиме кращий розподіл ваги та кращу поперечну стійкість.

Передній бункер буде ковзати під дією сили тяжіння, а брус з насіннєвими секціями, який занурений у землю запобіжить цьому зміщенню.

Однак недоліком переднього розташування бункера є відсутність видимості посівних секцій з кабіни трактора. Оператор не в змозі візуально перевірити засмічення сошників рослинними залишками. Під час руху по дорогах не можна бачити задню частину машини досить добре. Цей недолік є дуже важливим, тому ми знаходимо все більше машин із бункером позаду. Встановлення камери заднього виду може вирішити даний недолік, однак на даний час дане рішення не впроваджено у виробництво.

Більшість сівалок зазвичай мають бункер із заднім розташуванням. Перш за все, це пояснюється зацікавленням мати більший бункер, щоб мати можливість збільшити ширину захвату і уникати випадкових навантажень (рис. 1.2) [13].



Рис. 1.2. Агрегати із заднім розташуванням бункера.

За певних ґрунтових умов (важкі, глинисті, ущільнені або дуже сухі ґрунти), коли рушії бункера призведуть до ущільнення ґрунту, що унеможливить проникненню сошника в ґрунт і насіння буде знаходитись на поверхні ґрунту, обов'язково необхідно, щоб посівні секції знаходилися перед бункером.

John Deere також вказує, що неможливо використовувати бункер позаду посівних секцій під час роботи на схилах більше 15° . Крім усього іншого, рекомендовано спарювання шин для бункера на схилах більше 10° .

Багато фермерів побоюються, що задній бункер залишить колісні колії на землі (рис. 1.3) [12].



Рис. 1.3. Сліди за сівалкою Flexi-Coil та сходи озимої пшениці, посів сівалкою John Deere 1910 із заднім розташуванням бункера.

Останнім часом спостерігається тенденція до використання сівалок з трьома елементами: брус з посівними секціями + бункер + вирівнювачі елементи (рис. 2). При цьому слід врахувати, що вага всіх елементів (з заповненим на 1/2 бункером) не повинна бути вища за 2/3 ваги трактора.

Неоптимізовані маневри машино-тракторних агрегатів збільшують загальну довжину непотрібних переїздів до декількох десятків кілометрів за сезон, знижуючи ефективність сільськогосподарських операцій. Конфігурація нової машини тісно пов'язана з формою поля, і це буде визначати тип руху агрегату. У загальному розумінні рух агрегату трактор – машина є циклічним. Існує два типи руху машино-тракторного агрегату [12]:

- робочий (орієнтовані на виконання агрономічних завдань);
- допоміжний (для здійснення поворотів та розворотів).

З точки зору сталості кінематики параметрів, рух агрегату підрозділяються на: зі стабільним (рівномірним) та нестійким (будь-яким, перехідним) рухом.

Коли трактор залишає рівномірний прямолінійний рух, щоб поступово переключатися, не зупиняючись на круговий рух або просто змінювати напрямок, він повинен пройти перехідний шлях. Тому необхідно мати

можливість моделювати всі типи траєкторій, щоб імітувати складний рух трактора, а потім його елементів. Таким чином, будь-яке моделювання загальної траєкторії буде комбінацією перехідних та рівномірних траєкторій. Якщо рух трактора можна моделювати, тоді можна буде визначити траєкторії зчеплених елементів. Ми пропонуємо вивчити маневри машинно-тракторного агрегату на прикладі напівповороту у вигляді петлі, який є найбільш поширеним.

Моделювання розвороту зазвичай здійснюється шляхом моделювання руху по колу або на півколі. Радіус і кут повороту стабільні, центр обертання унікальний і фіксований для всіх елементів. Перехідні режими часто ігноруються. Слід врахувати, що кругові рухи навряд чи практикуються під час звичайного користування будь-яким транспортним засобом. Спостереження за тракторно-машинним вузлом та його слідами, залишеними після розвороту на землі, демонструє відсутність кругового руху агрегату навколо єдиного центру обертання. Кількість миттєвих центрів обертання дорівнює кількості елементів, які пов'язані між собою точками артикуляції [3, 4, 12].

Класичний розворот у кінці поля відбувається наступним чином: в кінці маршруту водій зупиняє систему висіву і піднімає сівалку в транспортному положенні (не складаючи її повністю) і спрямовує кермо колеса трактора в зворотному напрямку повороту, щоб компенсувати відсутність радіуса повороту для агрегату трактор-знаряддя. Потім водій врівноважує кермо назад, поки дишло не зіткнеться з дишлом середнього елемента. Складні посівні комплекси мають відносно сучасну конструкцію, дослідження цих машин не дуже глибокі та не містять відповідних фізичних моделей для визначення траєкторії повороту. Ми пропонуємо використовувати та адаптувати моделі для автопоїзда, що складається з тягового автомобіля за яким слідує буксировані транспортні засоби.

Висновки по розділу 1

Провівши порівняльний аналіз переваг та недоліків пневматичних сівалок встановлено, що для підвищення якості технологічної операції основну увагу при модернізації пневматичних сівалок слід звернути на подачу насіння в пневмопровід та аспектах маневреності.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як пояснювалося раніше, робота сівалок із централізованим бункером заснована на використанні пневматичного транспорту, що дозволяє транспортувати насіння до висівних агрегатів. Враховуючи специфіку поля та його складність, системи розподілу пневматичних сівалок залишаються мало вивченими. Ключовим моментом для конструкторів пневматичних сівалок є конструкція пневматичної конвеєрної системи. Вона повинна бути точна з точки зору єдиності для досягнення агротехнічних цілей.

Один з критичних моментів для конструкції сівалки цього типу стосується пневматичної транспортної системи. Системи розподілу зернових сівалок мають труби змінного діаметру та перерізу. Таким чином, ці системи є складними для реалізації на рівні розподільчих збірок. Крім того, більшість установок, що працюють із сільськогосподарським насінням, працюють із швидкістю потоку матеріалу від 8 до 10 кг/с, а швидкість руху повітря становить від 10 до 30 м/с.

Однак для пневматичних сівалок швидкість висіву рідко перевищує 1-1,2 кг/с, при значно вищих швидкостях повітря від 20 до 39 м/с.

Під час роботи пневматичної сівалки, можуть виникати несправності пневмосистемі зокрема, із-за чутливості до гігromетрії добрив, які насправді мають тенденцію до агломерації під впливом вологості (зменшуючи ділянку для проходження насіння), до перевантаження системи або до недостатньої швидкості повітря в системі. Перш за все, це стосується випускних труб, розташованих відразу після розподільників. Ці труби мають невеликий діаметр (в середньому від 20 до 30 мм), що ускладнює проходження насіння. Крім того, розподільник, як правило, знижує швидкість повітря вище за течією.

З іншого боку, незалежно від сфери застосування, пневматичне транспортування споживає багато енергії та є джерелом значних шумів та вібрацій.

Наявність складних складових частин (таких як форсунки, розподільники), часті зміни напрямку руху і перерізу, після чого повторне прискорення є важливим, ускладнюють інженерні розрахунки пневматичного контуру сівалок.

Втрати тиску відбуваються в середині в'язкої рідини / газу, коли його потік спотворюється оточуючими предметами (структурні елементи, наявність частинок). Відновлення структури потоку компенсується енергією, що подається повітродувкою (статичний тиск).

Структура потоку в трубі змінюється залежно від таких параметрів, як фазова швидкість потоку та параметри трубопроводів (переріз, довжина, шорсткість внутрішньої поверхні та тип матеріалу). Крім того, необхідно враховувати суворо фізичні параметри кожної фази: щільність, динамічну та кінематичну в'язкість газу, геометрію твердої речовини тощо. Тоді складність полягає в правильній інтерпретації будови машини. Традиційні емпіричні коефіцієнти не підходять для коротких та змінних ланцюгів сівалок, що мають інший режим роботи. Ці коефіцієнти ще недостатньо вивчені та науково обґрунтовані. Сьогодні досліджень, присвячених пневматичним сівалкам, дуже мало, і жодне з них не охоплює всіх втрат тиску, в результаті чого це призводить до високої неточності цих методів. Що стосується фази прискорення, вона також мало вивчена, особливо на коротких проміжках.

Зона прискорення – це відстань між точкою введення матеріалу (або складовою частиною, де гальмується потік) до місця, з якого втрати тиску на одиницю шляху постійні. Для насіння злакових культур, ця відстань може бути більше 20 м у трубі зі стабільним перерізом та нахилом. У сівалках це не так, оскільки вони мають короткий та змінний шлях

Дослідження процесів в пневмопроводах сівалок, проведені в компанії Case IH доводять неадаптацію класичних формул для реальних умов роботи, з відхиленням від реального значення, іноді більше 80%.

Як результат, звичайний підхід не може бути застосований через великі розбіжності між теоретичними розрахунками та практичними вимірами. Тому сучасні дослідження пневматичного транспорту зосереджені на транспортуванні щільної фази або на цифровому моделюванні потоків. Численні бібліографічні пошуки не дають рекомендацій щодо оптимального проектування системи розподілу пневматичної сівалки. Ось чому параметри транспортної системи дуже часто вибирають інтуїтивно зрозумілим і неправильним чином, що призводить до наявності перешкод в трубах або невиправданих втратах енергії.

При роботі з пневматичними сівалками трубопроводи схильні до засмічення, спричиненого різними факторами. Ми представимо результати попереднього експерименту, проведеного з метою пошуку критичних точок та виявлення можливих проблем.

Були проведені випробування, спрямовані на визначення максимального потоку стартового добрива, який ми можемо отримати за номінальної швидкості повітродувки за допомогою 8-рядової точної сівалки Kuhn Maxima 2 TI у поєднанні з переднім бункером Kuhn TF-1500 (рис. 2.1).

Вентилятор запускається з номінальної швидкості, рекомендованої виробником. В процесі дослідження змінюємо потік добрив, діючи на швидкість обертання дозатора. Паралельно ми виявляємо безпосереднім спостереженням місця контуру, де сталася стагнація добрив.

Добрива, що виділяються іскровим зазором, потрапляють на вхідний рівень циклону, де вони застоюються. «Проблемні» ділянки характеризуються провисанням труби, уповільненням потоку. Інші шланги не мають цієї проблеми, оскільки вони герметичні.

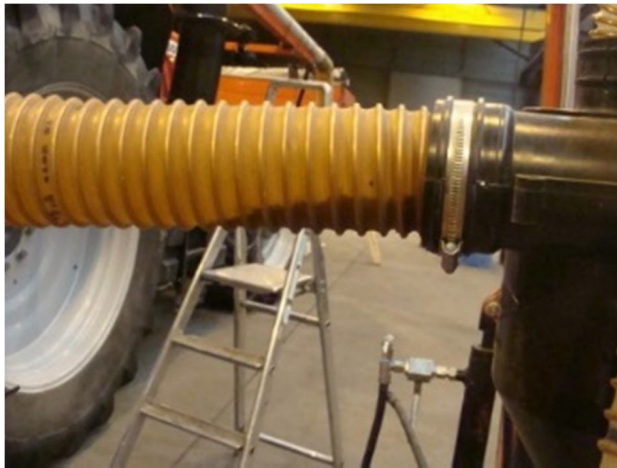
Прогин відбувається лише під впливом сили тяжіння.



Рис. 2.1. 8-рядна точна сівалка Kuhn Maxima 2 TI у поєднанні з переднім бункером Kuhn TF-1500.

Пройшовши через лінію подачі та її перешкоди (форсунки, вигини), потік надходить у розподільник, де він втрачає свою енергію. Швидкість повітря на виході з розподільника вже недостатня для відновлення прискорення частинок: частинки застоюються. Це пов'язано з відсутністю потоку повітря, недостатнім для забезпечення необхідної швидкості. Встановлено, що жорсткість шланга має великий вплив на ймовірність затримки частинок добрива в місцях, де шланги не розтягнуті. Фото забивання труб показана на рис. 2.2.

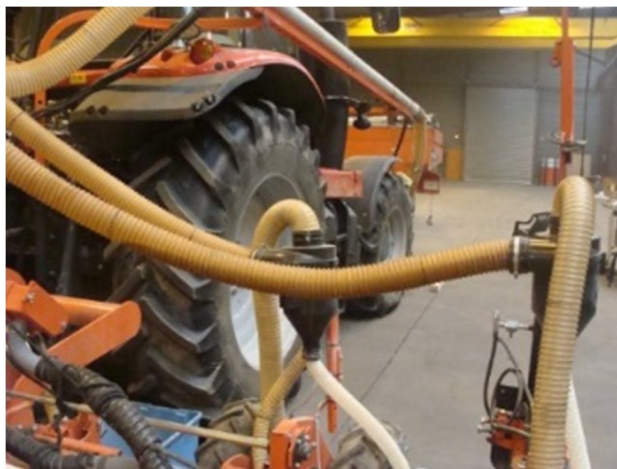
Як тільки 75-мм вихідні труби були замінені на труби діаметром 63 мм, при однаковій швидкості аеродинамічної труби застій матеріалу не повторювався. Це означає, що недостатня швидкість повітря також може бути спричинена неправильним розміром труби.



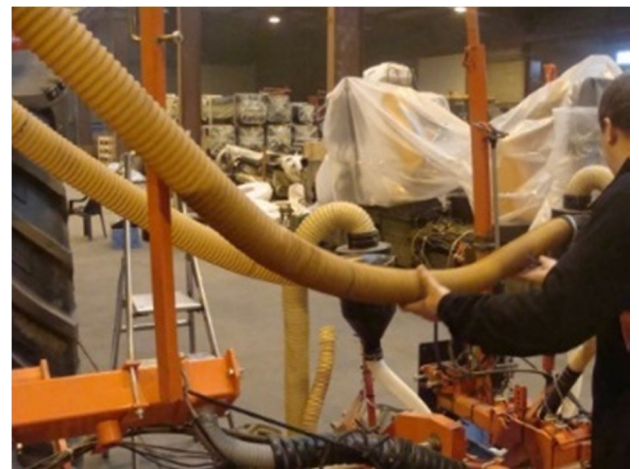
а



б



в



г

Рис. 2.2. Фото засмічення труб: а – початок «застою»; б – утворення дюн; в - переріз на виході повністю зменшений. Агломерація речовини триває. Повітря все ще вдається проникнути крізь шар речовини; г – Повітря вже не може проходити крізь шар речовини і долати її опір. Значення статичного тиску збільшується. Швидкість повітря і його підйом раптово падає і подача речовини припиняється.

Критична точка пневматичної сівалки знаходиться після розподільника. Щоб забезпечити необхідну роботу машини, необхідно визначити режим роботи (швидкість повітря та транспортна концентрація в залежності від потоку матеріалу) та оптимальний діаметр вихідних труб. Розробка вихідних параметрів повинна бути виконана з робочих параметрів після розподільника.

Критична точка пневматичної сівалки знаходиться після розподільника. Щоб забезпечити необхідну роботу машини, ми зобов'язані визначити режим роботи (швидкість повітря та транспортна концентрація в залежності від потоку матеріалу) та оптимальний діаметр вихідних труб. Розробка вихідних параметрів повинна бути виконана з робочих параметрів після розподільника.

Огляд бібліографічних джерел не дозволив знайти надійні теоретичні розрахунки концентрації транспортування та оптимальної швидкості повітря щодо діаметра труби. З цієї причини ми пропонуємо раціональний метод експериментальний метод дослідження для різного насіння та добрив з урахуванням особливостей пневматичних сівалок.

Завдання цього дослідження було розбито на три під завдання, а саме:

1. Визначити максимальну концентрацію речовин (пшениця, ячмінь, добрива, ячмінно-добривна суміш), а також швидкість застою при здійсненні транспортування у трубах малого діаметру (тих, які зазвичай перебувають після розподільних головок) порядку 20, 25 і 30 мм;
2. Провести випробування нового методу вимірювання швидкості повітря за допомогою різниці тисків;
3. Провести порівняння, виявити та проаналізувати особливості пневматичного транспортування.

Теоретично визначити оптимальної концентрації та швидкості повітря дуже складно і часто неможливо. Їх можна визначити лише експериментально.

Для цього ми пропонуємо визначити транспортну концентрацію та мінімальну швидкість повітря на виході з розподільника для різних культур та діаметрів, щоб уникнути перешкод у системі.

Випробування проводились на конкретному експериментальному макеті сівалки Kuhn SA.

Результати лабораторних досліджень представлено на рис. 2.3. У найменшій трубі (діаметр 20 мм) швидкість застою суміші ідентична швидкості застою ячменю (зелені криві, рис. 2.3). Співвідношення 60/40 за масою означає,

що об'єм ячменю вдвічі більший за обсяг добрив на об'єм повітря. Ми могли б припустити, що поведінка добрива маскується поведінкою ячменю, який, як правило, "несе" добриво, як "мітла".

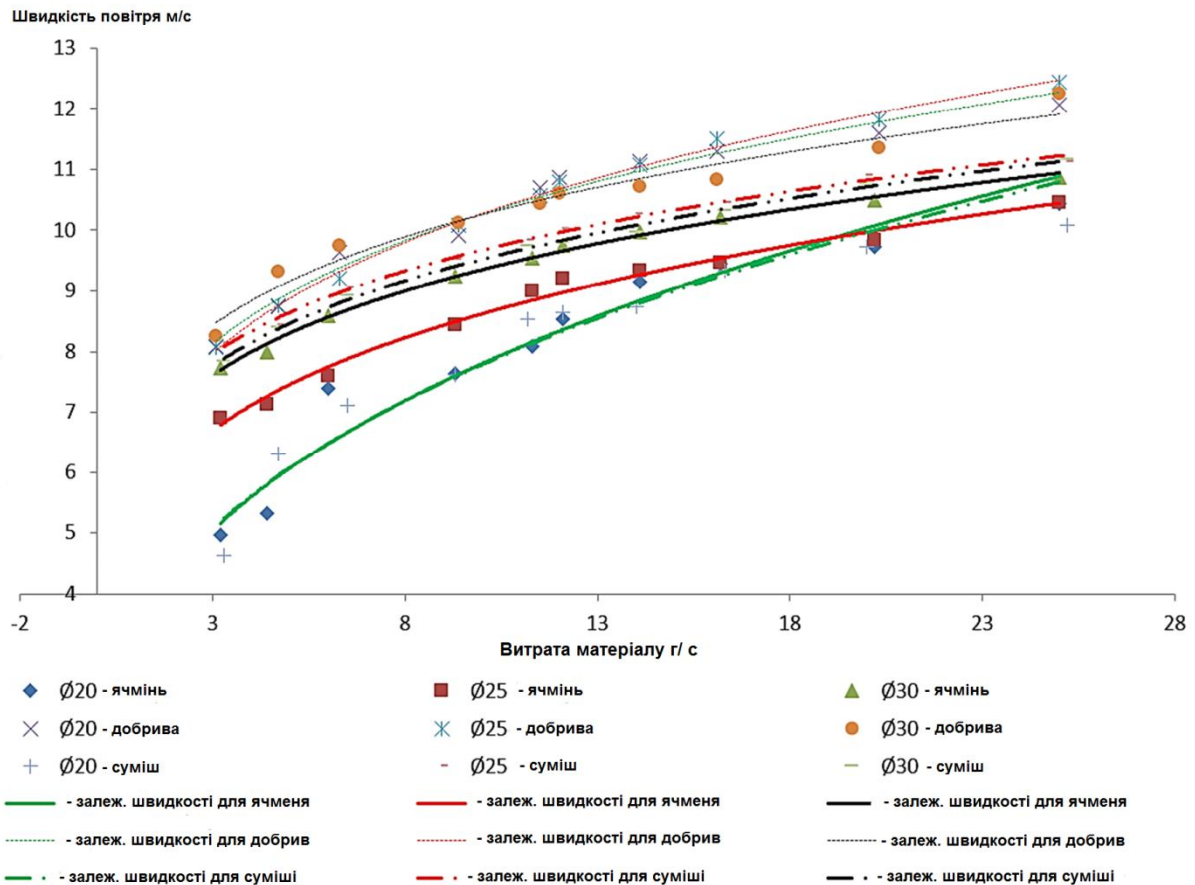


Рис. 2.3. Залежність витрати матеріалу від швидкості та діаметра повітропроводу.

У трубі діаметром 25 мм ефект присутності добрив помітніший. Крива застою суміші (рис. 2.3) знаходиться прямо між ячменем (зеленим) та добривом (червоним). Можна припустити, що повітря може вільно циркулювати між частинками і важчі частинки (найважче добриво та зерна ячменю) легше осідають на дні труби. Незважаючи на більший об'єм, який він займає, ячмінь має менший вплив на відкладення добрив через більший діаметр труби. Можна припустити, що більша частка добрив у суміші збільшить граничну швидкість застою. Однак, коли ми збільшуємо діаметр труби до 30 мм (чорні криві), ми бачимо той самий результат, що і для труби 20 мм. Тому для висновку будуть проведені інші експерименти та статистичні дослідження. Отже, у першому

підході ми будемо використовувати найвищу швидкість застою елементів суміші для проектування транспортної системи.

Висновки по розділу 2

В результаті проведених лабораторних досліджень встановлено:

1. Встановлені експериментальні криві мінімальної швидкості (тобто максимальної концентрації) можуть бути використані для визначення умов транспортування для кожного виду насіння або як схеми регулювання (наприклад, в системах автоматизації).

2. Рекомендується використовувати якомога меншу довжину труби, щоб сприяти однорідності потоку та зменшити енергетичні затрати на транспортування.

3. Лабораторні випробування довели можливість та практичний інтерес (стабільність, точність) вимірювання швидкості повітря за допомогою різниці тисків з деякими обмеженнями, такими як ризики зниження рухливості та необхідність манометра з максимально високою точністю (до шкали 1Па).

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИПРОБОВУВАННЯ

Польові випробування розподілу проводили з насінням пшениці (доза 230 кг / га). Робоча ширина становила 12 м, а змодельована швидкість руху вперед - 10 км / год. Швидкість повітря в аеродинамічній трубі була встановлена відповідно до рекомендацій виробника.

Кожен дистриб'ютор і кожна торгова точка пронумеровані. Систему запускали протягом 1 хвилини, потім насіння збирали у пакети і зважували.

Висновок цих тестів полягає в тому, що неоднорідність розподілу становить від 9 до 14%. Це значно вище, ніж неоднорідність, яку допускають агротехнічні вимоги (6%).



Рис. 3.1. Експлуатаційні випробування пневматичної сівалки John Deere

Окрім високої неоднорідності розподілу, ми також помітили, що поле розподілу завжди було орієнтоване відповідно до сектору або квадранту.

Це спостереження свідчить про те, що орієнтація розподільного поля є наслідком прокладки труб. Всі вигини та вигини до розподільників впливають

на розподіл (рис. 3.2). Оскільки конфігурація труби перед розподільниками ніколи не є однаковою, кінематика надходження насіння, а також початкова структура потоку не буде подібною. Звідси така неоднорідна орієнтація поля розподілу.

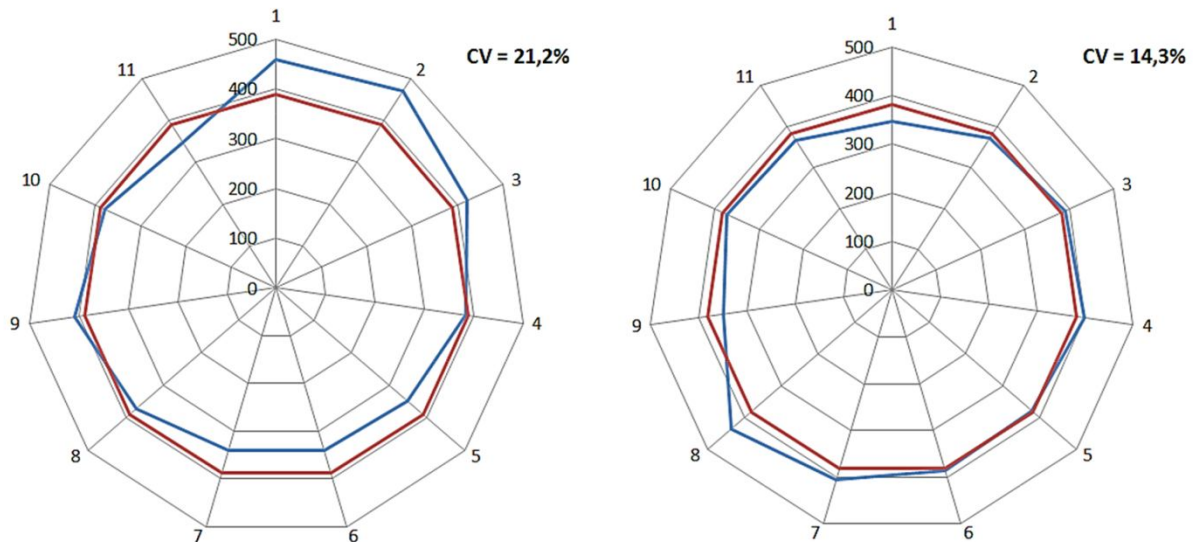


Рисунок 3.3. Поля розподілу, отримані для пшениці під час випробування сівалки John Deere (перед розподільником).

На основі цих даних можна зробити висновок, що деякі виходи отримують більше насіння ніж інші. Ця неоднорідність зумовлена багатьма факторами, обумовленими структурою та умовами експлуатації. Оцінити перевагу кожного з цих факторів важко, а то й неможливо встановити. Однак можна вивчити вплив кожного параметра, зокрема змінюючи значення цього параметра, коли інші фактори стабільні.

Використання якісного насіння з продуктивних та стійких до хвороб сортів є важливим фактором для розвитку рослин та майбутнього врожаю. Застосування засміченого насіння під час сівби може погіршити точність дозування. Для пневматичних сівалок соломинки, колоски зерна та інше сміття особливо небезпечні на виході з розподільника. Література не містить інформації про негативний вплив чистоти насіння на розподіл насіння.

Однак цей факт вже відомий на практиці. Досвід отриманий від використання пневматичних сівалок показує, що рослинні залишки часто

забивають вихід у розподільника (рис. 3.4). Як наявність сміття так і забиття виходу призводять до нерівномірного розподілу насіння.



Рис. 3.4. Забиття виходів розподільника пневматичних сівалок.

Як і насіння мінеральні добрива також викликають засмічення труб сівалки, що негативно впливає на їх розподіл. Це пояснюється здатністю добрив поглинати вологу з повітря, збільшуючи в'язкість і тим самим активізуючи адгезійні властивості добрив.

Засмічення може серйозно вплинути на точність внесення: в одних рядах може бракувати добрив, а в інших їх буде занадто багато. Жоден з випадків не є сприятливим для розвитку рослин. Це також може призвести до пошкодження сівалки з часом (корозія та знос деталей).

Проведені експерименти мали на меті виміряти коефіцієнт варіації (CV) як функцію швидкості повітря та швидкості потоку матеріалу, які ми варіювали відповідно до декількох комбінацій для даного матеріалу (табл. 3.1).

Встановлено, що для даної швидкості потоку, CV не змінюється пропорційно швидкості руху повітря. Найкращий розподіл досягається лише в тому випадку, якщо швидкість повітря має певне значення. Тому корисно представити залежність між швидкістю повітря та швидкістю потоку речовини у вигляді тривимірного графіку (рис. 3.5). Цілком очевидно, що ці параметри впливають на характер руху частинок всередині розподільника.

Таблиця 3.1. Коефіцієнт варіації у залежності від швидкості повітря та потоку матеріалу.

Швидкість повітря, м/с	Витрата матеріалу на виході, г/с				
	5	8	12.5	15	30
30	9.10	8.17	5.18	4.62	9.56
	9.42	8.13	5.29	4.61	9.34
	9.11	8.24	5.31	4.53	9.46
26	8.06	6.04	4.94	8.58	11.14
	8.19	6.12	5.01	8.46	11.22
	7.93	6.19	5.01	8.64	11.11
20	6.41	4.27	9.19	14.38	16.52
	6.31	4.19	9.33	14.45	16.71
	6.35	4.21	9.26	14.37	16.47

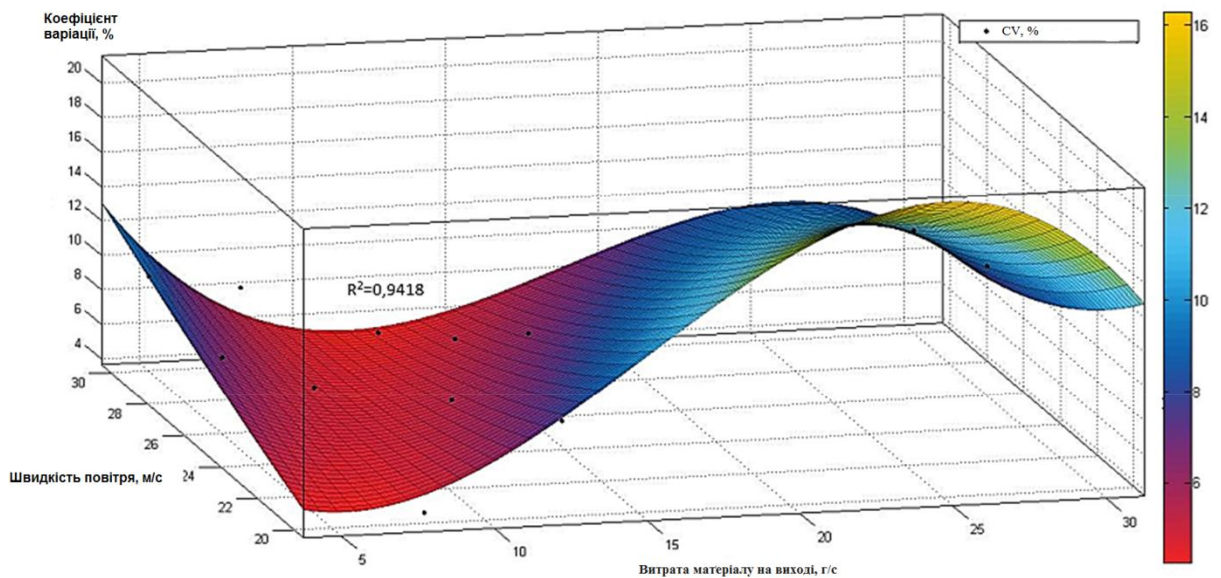


Рис. 3.5. Вплив швидкості повітря та потоку матеріалу на регулярність розподілу. Взаємозв'язок між основними змінними (витратою матеріалу, швидкістю повітря та коефіцієнтом варіації) отримали за допомогою програмного забезпечення Matlab [16-20].

Як ілюструє бібліографічне дослідження, система розподілу повинна не тільки передавати частинки, а й відповідати агротехнічним вимогам щодо регулярності подачі та високої якості розподілу між рядками. Якщо для регулярності розподілу без пульсацій та перешкод досить просто збільшити швидкість повітря, то за отриманими результатами аспект регулярності розподілу, а також форма поверхні вимагають подальших досліджень.

Повітря віддає всю свою енергію частинкам, одночасно прискорюючи їх. Це збільшує кінетичну енергію частинок, які приймають напрямок повітряного потоку. Однак, оскільки швидкість повітря низька, воно не чинить достатньої аеродинамічної дії, щоб стабілізувати частинки і надати їм рух у правильному напрямку. Таким чином, у випадку низької швидкості повітря напрямок частинок обумовлений їх початковим напрямком через відскоки, удари між частинками тощо.

Висновки по розділу 3

Результати експериментальних досліджень дали підставу зробити такі висновки:

1. Кожен розподільник має оптимальну робочу швидкість. Кожна швидкість потоку даної культури відповідає швидкості повітря, де неоднорідність розподілу буде мінімальною. Цей принцип можна використовувати як діаграму коригування.

2. Якість розподілу між рядками визначається розподілом матеріалу при надходженні на розподільник. Неоднорідність розподілу обумовлена головним чином зміною напрямку потоку.

3. При розробці маршруту трубопроводів необхідно переконатися, що деталь, що передує надходженню до розподільника, є якомога більш прямою. Будь-яка зміна напрямку потоку до розподільника призводить до того, що серцевина частинок скатується у вертикальній колоні.

4. Збільшення висоти колони сприяє стабілізації розподілу (від 10-12 діаметрів труб). Однак це є не вигідним з енергетичної точки зору та ускладнює складання висівного бруса.

5. Забивання вихідних отворів або надмірна довжина труб несприятливі для хорошого розподілу насіння.

6. Встановлення елементів відхилення у верхній частині розподільника, незалежно від їх конфігурації є виправданим, якщо частинки вже добре розподілена в секції.

7. Нахил головки є несприятливим фактором. Кільцева колона «гасить» цей ефект.

8. Якість розподілу безпосередньо залежить від якості застосовуваного матеріалу. Важливо звертати увагу на чистоту та калібрування насіння та ретельно дотримуватися інструкцій щодо зберігання добрив.

ВИСНОВКИ

Було проведено математичне моделювання функціонування пневматичної системи сівалки. Модель була протестована в Matlab, яка продемонструвала працездатність моделі IT-обладнанням з точки зору закону управління або можливої автоматизації. Проведено експериментальну перевірку математичного моделювання в експериментальних умовах.

Що стосується вибору конфігурації сівалки з великою робочою шириною (так званий "передній бункер" та "задній бункер"), то ця конфігурація "заднього бункера" вважалася найбільш маневреною та придатною до потреб користувачів.

Ми запропонували метод проектування пневматичної системи транспортування насіння з урахуванням енергетичного аспекту. Конструкція пневматичної транспортної системи базується на визначенні перепадів тиску та виборі аеродинамічної труби відповідно до матеріалу, що транспортується.

Було проведено експериментальне визначення концентрації та мінімальної транспортної швидкості. Це дозволяє отримати оптимальні значення концентрації та швидкості, що застосовуються на сільськогосподарських сівалках, а також дозволяє їх регулювати. Також було вирішено питання вибору діаметра трубопроводів.

Визначено вплив швидкості повітря та потоку матеріалу, вплив типу згину, вплив розміщення напрямних елементів та центруючих конусів, вплив конструкції та висоти колони, вплив установки конічних дефлекторів, вплив закупорювання вихідних отворів на рівномірність розподілу насіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Машини для приготування і внесення добрив. Харків : Око, 2002. Т. 1, ч. 3. 352 с.
2. Кленин Н. И. Сельскохозяйственные машины : учебник для студ. вузов, обуч. по напр. «Агроинженерия». Москва : КолосС, 2008. 816 с.
3. Рунов Б. А. Основы технологии точного земледелия. Зарубежный и отечественный опыт. Санкт-Петербург : АФИ, 2012. 120 с.
4. Подураев Ю. В., Кулешов В. С. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем. *Мехатроника*. 2000. №1. С. 5–10.
5. Гевко Р. Б. Машини сільськогосподарського виробництва : навчальний посібник. Тернопіль : ТДПУ, 2005. 228 с.
6. Капустин В. П. Глазков Ю. Е. Сельскохозяйственные машины. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. 104 с.
7. Кобяков И. Д. Машини и оборудование в растениеводстве: курс лекций. Омск : ОмГАУ им. П.А. Столыпина, 2012. 120 с.
8. Астахов В.С. Пневматические сеялки на службе новых технологий. *Аграрная наука на рубеже XXI века. Материалы Общего собрания Академии аграрных наук Республики Беларусь (16 ноября 2000 года)*, Минск, 2000, С. 262-264.
9. Яковец А. В. Анализ дозирующих систем сеялок точного высева./ *Аграрная Россия*. 2011. № 3. С. 60–63.
10. Несмиян А. Ю. Теория работы высевающего аппарата пропашной сеялки вакуумного типа. *Вестник Белгородского ГТУ им. В.Г. Шухова*. 2012. № 2. С. 72–75.
11. Зубрилина Е. М. Теоретические исследования процесса движения семян по семяпроводу. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. № 5. С. 40–41.

12. Лобачевский П. Я. Проектирование сеялок для точного посева пропашных культур. *Зерноград* : ФГОУ ВПО АЧГАА, 2006. 48 с.
13. Любушко Н. И. Зволинский В. Н. Зерновые сеялки на рубеже XXI века. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2001. №2. С. 4-7.
14. Токушев М. Х., Мартыч С. П. Классификация распределительных устройств пневматических сеялок. *Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Материалы междунаро. научн.-теорет. конф. «Сейфуллинские чтения - 15: Молодежь, наука, технология – новый идеи и перспективы»* т.1 часть 1. –Нур-Султан, 2019. С. 208-211.
15. Нукешев С. О., Токушев М. Х. Распределительное устройство для посевного комплекса с центральным дозированием. *Земледелие и селекция сельскохозяйственных растений на современном этапе: Сб. докладов междунаро. науч.-практ. конф. посв. 60-летию НППЗ зернового хозяйства им. А.И. Бараева (Всесоюзный, затем Казахский НИИ зернового хозяйства им. А.И. Бараева)*.-Шортанды, 2016. Т 1. С.54-60.
16. MATLAB GPU Coder Reference R2020a. Author not specified. The MathWorks, Inc., 2020. 100 p.
17. Lynch S. *Dynamical Systems with Applications Using MATLAB* : 2nd edition. Birkhauser, 2014. 532 p.
18. Malthe-Sorensen A. *Elementary Mechanics Using Matlab: A Modern Course Combining Analytical and Numerical Techniques*. Springer, 2015. 590 p.
19. Mara K. S., Vagga K. V. *MATLAB: Part A: Basic Tutorial*. New York: Amazon.com Services LLC, 2020. 675 p.
20. Palm W. J. *Introduction to MATLAB 7 for Engineers*. McGraw-Hill, 2003. 682 p