

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

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Петровський Борис Борисович

УДК 631.331

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Оптимізація вакуумних висіваючих
апаратів**

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

_____ Б.Б. Петровський

Керівник роботи
Дерев'янка Д.А.
д.т.н., професор

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Петровський Борис Борисович. Оптимізація вакуумних висіваючих апаратів. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі показано, що якість одиничної подачі насіння розробленим апаратом вище, ніж у серійного в 1,03 та 1,02 рази при висіві соняшнику та кукурудзи відповідно. При цьому його коефіцієнт варіації в 1,60 рази при висіві соняшника і в 1,24 рази при висіві кукурудзи менше, ніж у серійного вакуумного висівного апарату. Всі запропоновані модернізації дозволяють збільшити ймовірність захоплення насіння дозуючими елементами та винесення їх із загального шару, однак вони ж призводять до зростання ймовірності появи подвійних і навіть потрійних подач насіння. Для подолання цього явища пропонується змінити конструкцію скидника «зайвого» насіння таким чином, щоб кут між його робочою гранню і гранню, що примикає до висівного диска на початку першого по ходу руху насіння виступу, був гостри. Надалі він повинен плавно збільшуватися в напрямку обертання висівного диска так, щоб у середній частині скидання «зайвого» насіння набув значення 90° . При цьому кут установки робочих граней скидача до траєкторії руху насіння повинен бути приблизно дорівнює куту тертя насіння його поверхню.

Застосування в польових умовах одночасно пневмоворухіння насіння та модернізованого скидувача «зайвого» насіння в апаратах сівалки МС-8 дозволило знизити величину середнього значення коефіцієнта варіації розподілу рослин у рядку на 44%, порівняно з посівом здійсненим серійними апаратами.

Ключові слова: висіваючий апарат, сівба, насіння, вакуум, диск, скидач.

ANNOTATION

Petrovsky Boris Borisovich. Optimization of Vacuum Sowing Machines. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's thesis it is shown that the quality of a single supply of seeds developed by the device is higher than the serial 1.03 and 1.02 times when sowing sunflower and corn, respectively. Its coefficient of variation is 1.60 times when sowing sunflower and 1.24 times when sowing corn is less than the serial vacuum sowing machine. All the proposed upgrades increase the probability of capturing seeds by dosing elements and removing them from the common layer, but they also increase the probability of double and even triple seed feeds. To overcome this phenomenon, it is proposed to change the design of the "extra" seed dropper so that the angle between its working face and the face adjacent to the sowing disc at the beginning of the first in the course of the seed movement was sharp. In the future, it should gradually increase in the direction of rotation of the sowing disc so that in the middle of the discharge of "extra" seeds became 90 °. The angle of installation of the working faces of the discarder to the trajectory of the seed should be approximately equal to the angle of friction of the seed on its surface.

The simultaneous use of pneumatic agitation of seeds and modernized dumping of "excess" seeds in MS-8 seed drills allowed to reduce the average value of the coefficient of variation of plant distribution in a row by 44% compared to sowing by serial machines.

Key words: sowing machine, sowing, seeds, vacuum, disk, dumper.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН МЕХАНІЗАЦІЇ ПОСІВУ ПРОПАШНИХ КУЛЬТУР.....	9
РОЗДІЛ 2. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОПЛЕННЯ НАСІННЯ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР ДОЗУЮЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ВИСІВНОГО ДИСКА.....	17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	43
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В обсязі виробництва продукції рослинництва значне місце займають просапні культури (кукурудза, соняшник, цукровий буряк, соя, сорго тощо). Причому рівень виробництва більшості їх зростає. Наприклад, з 1996 до 2020 р.р. у площу посівів цукрових буряків зросла приблизно в 1,1 раза, соняшнику – приблизно в 1,9 раза, кукурудзи на зерно – у 2,3 раза, сої – у 2,5 раза.

У технології обробітку сільськогосподарських культур, особливо просапних, важливою операцією є посів. Основними вимогами, що пред'являються до посіву, є своєчасність за агротехнічними термінами, висів заданої норми насіння, мінімальне травмування посівного матеріалу та точність розміщення насіння у ґрунті. Причому при посіві насіння просапних культур точність розглядається не лише з погляду рівномірності закладення насіння по глибині, але й рівномірності їхнього розподілу за площею поля. Відстань між насінням у рядку посіву (крок посіву) та між рядками (ширина міжряддя) вибирають на підставі площі живлення (твір кроку посіву на ширину міжряддя), необхідної для розвитку однієї рослини. Площа харчування – один із важливих факторів, що визначають урожайність та якість продукції, ефективність протистояння культурної рослини бур'янам. При надмірно загущених посівах одна рослина пригнічує іншу, при зріджених – не використовується вся площа поля, де потім розростаються бур'яни. Площа харчування – величина змінна і залежить, передусім, від біологічних особливостей сільськогосподарської культури: тривалості вегетаційного періоду, потужності вегетативної маси та кореневої системи, і навіть від родючості ґрунту, вологозабезпеченості та інших умов обробітку [2]. Для більш скоростиглих рослин з невеликим кущем потрібна менша площа харчування, ніж для рослин із сильно розвиненою вегетативною масою та з тривалим вегетаційним періодом. Наприклад, баштанні мають розвинену вегетативну масу і потужну кореневу систему, що стелиться, тому їх

висівають пунктирним або гніздовим способами з міжряддям 140 ... 210 см і кроком посіву 70 ... 140 см. Відповідно площа харчування для них коливається від 9800 до 2940. Чим родючий і вологий ґрунт, тим меншої площі харчування потребують рослини. Часто густоту стояння пов'язують із вологозабезпеченістю. Так, якщо площа харчування цукрових буряків у зоні достатнього зволоження дорівнює 1050 см², то в зоні нестійкого зволоження – 1100 см², а недостатнього – 1200 см². Якщо вона сягає 100 мм, площа живлення становить 2900...3300 см², 150 мм – 2200...2500 см², 200 мм і більше – 1800...2100 см². Від площі живлення залежить спосіб та схема посіву [2]. Пропашні культури можуть висіватися широкорядним, пунктирним, гніздовим або стрічковим методами. При цьому необхідної ширини міжрядь домогтися відносно неважко шляхом перестановки посівних секцій по рамі сівалки, причому міжряддя має становити не менше 45 см, оскільки машинні технології обробітку просапних культур передбачають подальший догляд за рослинами після появи сходів.

Домогтися ж заданого рівномірного розміщення насіння по довжині рядка значно складніше, проте в даний час питання доцільності точного розподілу насіння в рядках посіву просапних культур вже не викликає сумнівів, тому всі сучасні просапні сівалки мають висівні апарати, що забезпечують штучне або порційне дозування насіння.

Такі висівні апарати при усереднених режимах роботи забезпечують подачу насіння більшості просапних культур, що відповідає агровимогам. Однак при значних робочих швидкостях (більше 8 км/год) та нормах посіву при висіві насіння з «незручними» фізико-механічними властивостями погіршуються умови для нормальної роботи апарату. З'являється велика кількість перепусток, порушується рівномірність висіву насіння, що зрештою призводить до нераціонального використання посівних площ та зменшення врожаю [4]. Таким чином, удосконалення конструкції висівних апаратів просапних сівалок, що дозволяє підвищити якість дозування насіння в будь-яких умовах роботи, є

актуальним завданням, здатним збільшити ефективність сільськогосподарського виробництва.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи – розробити вакуумний висівний апарат зі збільшеною ймовірністю захоплення насіння дозуючими елементами та винесення їх із загального шару.

Завдання досліджень:

1. Провести аналіз конструкцій вакуумних висівних апаратів;
2. Удосконалити конструкцію вакуумного висівного апарату;
3. Провести лабораторні дослідження для визначення оптимальних значень конструктивних елементів та режимів роботи.

Об'єкт дослідження: технологічний процес посіву соняшнику та кукурудзи.

Предмет дослідження: залежність якості висіву насіння вакуумних висівним апаратом від конструктивних параметрів та режимів роботи.

Методи дослідження. Лабораторні дослідження проводилися в лабораторіях кафедри процеси, машини і обладнання в агроінженерії Поліського національного університету. Аналіз літературних джерел здійснювався аналітико-монографічним методом. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методів математичної статистики з використанням прикладних програм.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Петраковський Б.Б.** Стан механізації посіву пропашних культур. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 39-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 243-244.

2. Ярош Я.Д., Куликівський В.Л., **Петраковський Б.Б.** Лабораторний стенд для дослідження вакуумних висівних апаратів. IV Всеукраїнська науково-практична інтернет конференція *«Сучасні технології в енергетиці,*

електромеханіці, системах управління та машинобудуванні» (м. Бахмут, 25-26 листопада 2021 р.), Бахмут :ННПП «УПА». С. 116-117.

3. Петраковський Б.Б. Аналіз пневматичних висівних апаратів. Збірник тез *VIII-ї* всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 200-201.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє висіваючий апарат для пропасних культур.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 60 сторінок комп'ютерного тексту, містить 36 рисунків та 9 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН МЕХАНІЗАЦІЇ ПОСІВУ ПРОПАШНИХ КУЛЬТУР

Просапні сівалки – значна і різноманітна група машин, які можуть істотно відрізнятися один від одного конструктивно. Проте, більшість їх характерно наявністю однакових за призначенням елементів. До них відносяться: рама 1 (рис. 1.1), яка служить для монтажу інших вузлів; опорно-привідні колеса 2 та 3; механізми передач 4, 12, 13; робочі секції 5. З трактором сівалки з'єднуються за допомогою навісного пристрою 6 (замка автозчеплення) або причіпного пристрою. Переважна більшість сучасних просапних сівалок оснащено туковисівною системою 7 і маркерами 8 і 9. Сівалки з пневматичними висівними апаратами додатково оснащені пневмосистемою 10. Для далеких переїздів деяких конструкціях просапних сівалок використовуються транспортні пристрої 11 [5].

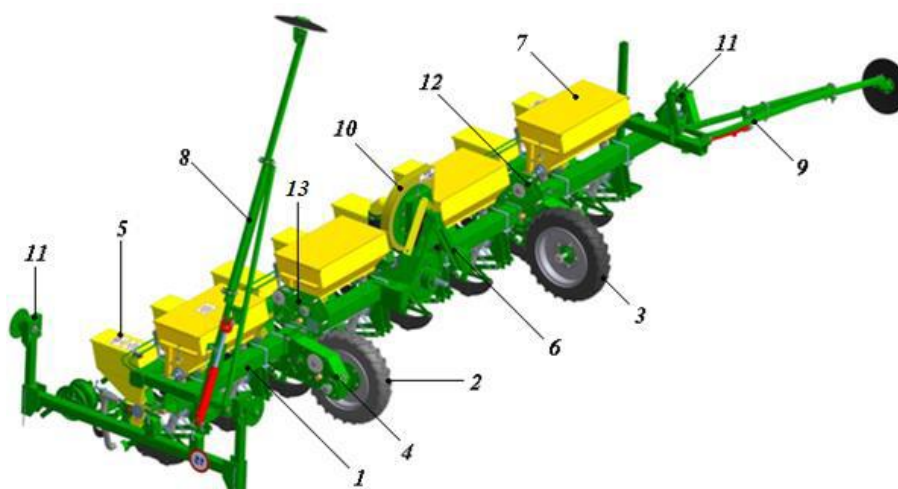


Рис. 1.1. Основні вузли та системи просапної сівалки (на прикладі сівалки МС-8): 1 – рама; 2, 3 – колеса опорно-привідні; 4, 12, 13 – механізми передач; 5 – секція робоча; 6 - пристрій навісний; 7 - система туковисівна; 8, 9 – маркери; 10 – пневмосистема; 11 – транспортні пристрої

За призначенням та влаштуванням кожна робоча секція (рис. 1.2) подібна до однорядної сівалки, що забезпечує дозування та закладення насіння в ґрунт.

До складу більшості робочих секцій входять такі вузли: кронштейн 1, який служить для кріплення секції до рами сівалки та монтажу на ньому приводного валу, що передає апарати, що крутить момент; паралелограмний механізм 2, що дозволяє сошнику 5 під впливом сили тяжіння та сил дії пружин 3 копіювати рельєф поля; висівний апарат 4, що забезпечує поштучне дозування насіння і подачу їх у борозну; сошник 5, що відкриває борозну; насіннєвий бункер 6; закладають робочі органи 7, 9 і 10, підставку 11 та механізм регулювання глибини ходу 12.

Загортачі 7 найчастіше кріпляться до корпусу висівного апарату та служать для закриття борозни сошника. Активне положення загортачів автоматично підтримується пружинами. Каток 10, що прикочує, з гумовою шиною атмосферного тиску служить для прикочування борозни з покладеним насінням, що покращує їх контакт з ґрунтом, і регулювання глибини ходу сошника в ґрунті. Шлейф 9 забезпечує покриття рядка розпушеним шаром ґрунту та вирівнювання поверхні поля [5].

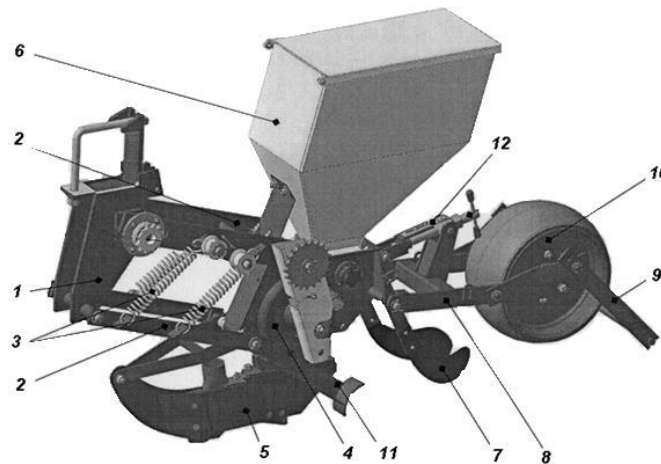


Рис. 1.2. Секція зернова: 1 – кронштейн; 2 – паралелограмний механізм підвіски; 3 – пружини; 4 - апарат висівний; 5 – сошник; 6 – бункер; 7 – загортач; 8 – повідець; 9 – шлейф; 10 – ущільнююче колесо; 11 – опора; 12 – механізм регулювання глибини загортання насіння

Просапні сівалки можуть бути класифіковані за різними ознаками: за призначенням; з компонування робочих органів; за типом дозуючої системи; на вигляд тяги; за способом агрегування; за тяговим класом трактора, з яким

передбачається агрегатування; за способом подачі насіння у борозну; по рядності; за типом рами та числом її секцій; за здійснюваним способом посіву; за типом робочого фону; по наявності та конструкції туковисівної системи; за способом приводу пристроїв, що дозують насіння і т.д. [6].

За призначенням просапні сівалки прийнято поділяти на дві великі групи - універсальні сівалки та сівалки спеціалізовані по культурі, що висівається. Універсальні сівалки отримали також назву кукурудзяні (див. малюнок 1.1), ними може виконуватися посів насіння різних культур, несхожих за технологічними властивостями. Вони забезпечують зазвичай ширину міжрядь 60 ... 90 см (найчастіше 70 см) і забезпечені універсальними апаратами, що дозволяють поштучно або порційно висівати насіння кукурудзи, соняшнику, буряків, баштанних та інших просапних культур. При посіві культур з більшими нормами висіву (соя, еспарцет тощо) висівні апарати кукурудзяних сівалок можуть оснащуватися спеціальними катушками.

Спеціалізовані сівалки пристосовані для висіву насіння однієї культури або вузької групи культур, схожих за технологічними властивостями або вимогами до умов зростання та розвитку. Серед спеціалізованих сівалок можна виділити такі основні групи – бурякові, овочеві, баштанні, бавовняні, лісові.

Бурякові сівалки (малюнок 1.3 а) забезпечують посів просапних культур з міжряддям 45 см. Найчастіше вони містять не менше 12 посівних секцій, конструкція яких відрізняється від конструкції секцій кукурудзяних сівалок компонуванням, виконанням окремих вузлів. Перед сошниками бурякових сівалок зазвичай встановлюються комковідводи або додаткові котки, що ущільнюють.

Овочеві сівалки (рис. 1.3 б) забезпечують стрічковий посів насіння просапних культур на невелику глибину. Їх характерно парне розміщення висівних апаратів.

Бавовняні сівалки (рис. 1.3 в) – зазвичай модифікації бурякових сівалок. Лісові сівалки, оснащені апаратами точного висіву, призначені для поштучного

висіву насіння деревних культур та жолудів. У зв'язку з невеликою популярністю такі сівалки промислово не випускаються.



Рис. 1.3 – Сівалки спеціального призначення: а – бурякова сівалка УПС-12 (ВАТ «Червона Зірка», Україна); б – сівалка овочева СОМ-4/2х70 (Ірбіс, Україна); в – дворядкова бавовняна сівалка СЧХ-4Б (компанія «Агріком», Ташкент)

Баштанні сівалки забезпечують посів культур з великими міжряддям (140...210 см) і кроком в рядку, причому баштанні культури часто висівають гніздами. Зі зростанням універсальності кукурудзяних сівалок посів баштанних все частіше стали проводити ними, тому багато баштанних сівалок (наприклад СБН-3 (рис. 1.4 а)) знято з виробництва. Проте, досі штучно випускаються звані «крокові сівалки», у яких робочий орган не виробляє у ґрунті суцільну борозну, а виготовляє окремі лунки, у яких потім подаються групи насіння (рис. 1.4 б) [7].

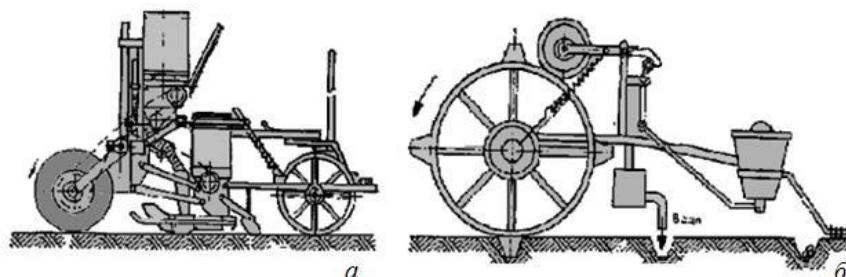


Рис. 1.4. Сівалки баштанні: а – баштанна сівалка СБН-3 (конструкція ГСКБ з посівних та комбінованим машинам); б - сівалка конструкції І.І. Ревенюка та І.П. Ляліна

Слід зазначити, що зі зростанням універсализації сівалок наведена класифікація стає дедалі умовнішою. Оскільки при регульованому розміщенні посівних секцій по ширині машини, одні й ті ж універсальні просапні сівалки можуть забезпечувати високу якість посіву і кукурудзи, і буряків, і баштанних, і овочевих культур.

На основі проведеного аналізу нами запропоновано класифікацію конструкцій вакуумних висівних апаратів, сформовану шляхом розширення класифікації.

За типом робочого органу пневматичні висівні апарати для точного однозернового висіву насіння діляться на такі типи: апарати з поворотною трубкою, дискові апарати та барабанні апарати.

До апаратів з поворотною трубкою можна віднести пневматичний висівати апарат сівалки С.І. Поуха (рис. 1.1). Основним робочим органом такого апарату є поворотна трубка на торці якої знаходиться присмоктувальний отвір.

Дослідженнями встановлено, що апарати з поворотними висівними трубками неперспективні, тому що не забезпечують на загальноприйнятих для сівалок швидкостях висів насіння. При збільшенні кількості трубок апарат виявляється дуже складним та ненадійним у роботі. Тому надалі розглядаються класифікаційні ознаки лише дискових і барабанних висівних апаратів, переважно дискових, оскільки сьогодні барабанні апарати використовуються значно рідше.



Рис. 1.5. Апарат із поворотною трубкою

Залежно від розташування осі обертання диска або барабана по відношенню до напрямку руху сівалки вакуумні висівні апарати поділяються на апарати з віссю обертання, паралельної напрямку руху сівалки і апарати з віссю обертання, перпендикулярно до напрямку руху сівалки.

Апарати для точного однозернового висіву насіння з віссю обертання диска, паралельного напрямку руху сівалки (пневматичний висівний апарат Н. І. Глазьева), конструктивно не відрізняються від апаратів з віссю обертання диска, перпендикулярного до напрямку руху сівалки і мають одні і ті ж переваги та недоліки.

Прикладом барабанних апаратів з віссю обертання, паралельного напрямку руху сівалки, може служити німецький пневматичний висівний апарат за патентом (рисунок 1.2). В основу ідеї покладено той факт, що присмоктування насіння та відокремлення його від отвору відбувається краще, якщо на операцію відводиться більше часу, тобто коли процес присмоктування відбувається за більш повільної швидкості обертання робочого органа.

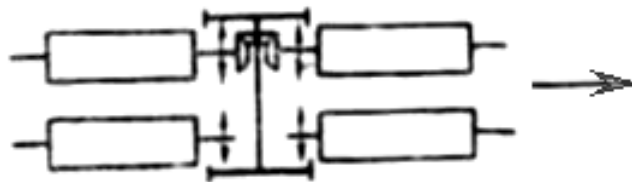


Рис. 1.6. Схема барабанного висівного апарату з віссю обертання, паралельного напрямку руху сівалки

Уповільненого руху висівного органу можна добиватися шляхом одночасного висіву в одну з посівних рядків кількох насінин на заданій відстані один від одного. З цією метою в окремому пристрої висівного апарату встановлюються вздовж напрямку руху сівалки кілька трубок з великою кількістю отворів для присмоктування насіння. Трубки обертаються щодо своїх осей, паралельних напрямку руху сівалки. Для зміни відстані в ряду між висівним насінням трубки зроблені змінними і мають різні відстані між присмоктуючими отворами по довжині трубок.

Дослідженнями встановлено, що апаратами такого типу не можна отримати точного розподілу насіння вздовж рядка. У момент збігу вакуумної порожнини висівної трубки з камерою атмосферного тиску або стисненого повітря насіння відокремлюється від отворів не одночасно і не з однаковою

швидкістю. Точного однозернового розподілу насіння вздовж рядка не досягнуто, тому робота з дослідження таких апаратів було припинено.

За формою присмоктую вальних отворів апарати поділяються на такі типи: з круглими отворами, довгастими отворами і з отворами, утвореними перетином двох щілин (отвори зі змінним контуром).

За типом дозуючих елементів апарати бувають:

- з присмоктуючими отворами на плоскій поверхні висівного диска (без обробки, з насічкою в зоні отвору або з напиленням в зоні отвору);
- з присмоктуючими отворами в комірках;
- з присмоктуючими отворами на виступах;
- з присмоктуючими отворами у западинах на виступах.

Залежно від розташування та групування дозуючих елементів апарати бувають:

- з однорядним розташуванням дозуючих елементів;
- з багаторядним розташуванням дозуючих елементів;
- з груповим розташуванням дозуючих елементів.

За типом застосовуваного розпушувачем насіння дискові вакуумні висівні апарати можна розбити на такі групи: з центральним, з периферійним, з комбінацією периферійного та центрального, ексцентричним розташуванням, з гвинтовим розпушувачем. На барабанних апаратах для активації насіння використовувалися в основному ніпелі або ворущилки, встановлені в насінневій камері на індивідуальному приводному валу.

За типом знімача насіння вакуумні висівні апарати можна розділити на три групи: з пневматичними, з механічними та комбінованими.

Пневматичні знімачі насіння в основному підрозділяються за розташуванням сопла щодо площини висівного диска: перпендикулярно площині, назустріч потоку насіння, у бік руху дозуючих елементів, поперек потоку насіння).

Завдяки простоті конструкції механічні знімачі більш поширені, ніж пневматичні. Вони бувають активні (вібраційні та ротаційні) та пасивні (щіткові, роликові, плоскі ступінчасті, плоскі гребінчасті, плоскі гладкі, плоскі фрикційні, об'ємні, штифтові).

За способом скидання насіння від отворів дозування вакуумні висівні апарати бувають:

- з відсіканням вакууму в зоні скидання;
- з механічним знімачем-направником;
- з поєднанням відсічення вакууму і знімача-направника;
- з щітковим знімачем;
- з механічним виштовхувачем;
- з пневматичним виштовхувачем;
- з поєднанням знімача-направника та пневматичного виштовхувача.

Подача насіння в борозну може здійснюватися вільним падінням, рухом по насінепроводу-направлячу або пневмонасінепроводу.

Висновки по розділу

На сучасних просапних сівалках найчастіше застосовуються дискові вакуумні висівні апарати з одним рядом круглих присмоктувальних отворів на плоскій поверхні висівного диска, з центральним змішувачем насіння, механічним плоским ступінчастим або гребенистим знімачем «зайвого» насіння, з поєднанням відсікання в вакуумі зоні відділення насіння від отворів, що присмоктують і з вільним падінням або подачею по насінепроводу-направлячу насіння в борозну.

РОЗДІЛ 2

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОПЛЕННЯ НАСІННЯ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР ДОЗУЮЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ВИСІВНОГО ДИСКА

Формування однонасінної подачі насіння просапних культур дозуючими елементами вакуумного висівного апарату залежить від багатьох факторів, до яких можна віднести фізико-механічні властивості насіння, розрідження у вакуумній камері висівного апарату, частоту обертання висівного диска, параметри дозуючих елементів висівного диска, конструкцію та положення скидача (відбивача) «зайвого» насіння, рівень заповнення насінневої камери і т.д.

Найбільшу ймовірність фіксації у дозуючого елемента мають насіння, що стикається з висівним диском і що розміщуються при його обертанні на траєкторії руху дозуючих елементів, оскільки зустрічаються з його аеродинамічним полем. Однак процес захоплення і утримання насіння дозуючим елементом погано піддається теоретичному аналізу, так як носить імовірнісний характер, пов'язаний зі стохастичним розподілом фізико-механічних властивостей окремих насіння та їх хаотичним розташуванням у насінневій камері. Тому при розрахунках робочого процесу пневмо вакуумного висівного апарату використовують моделі сипких середовищ.

Як зазначалося найчастіше в основі теоретичних досліджень процесу винесення насіння із загальної маси посівного матеріалу використовують модель сипучого тіла, широко впроваджену Ю.А. Гейм, В.Ф. Семеновим, Л.В. Гячовим, В.А. Богом'яких. У цій моделі передбачається, що сипке тіло посівного матеріалу складається з однакових за розміром кулястих частинок, розміщених у насінневій камері з певним кутом укладання β , значення якого, по суті, характеризує відповідність прийнятої моделі реального середовища.

Однак наведена методика визначення кута укладання β частинок сипкого матеріалу може бути використана тільки при їх компактному розташуванні, наприклад у бункері. У насінній камері висівного апарату під дією ворошилки, тертя насіння об диск, удару насіння об насіння і т.д. питома маса сипкого матеріалу значно змінюється, тому запропонована раніше методика навряд чи може бути застосована визначення кута β .

Дослідниками було встановлено, що укладання частинок сипкого тіла безпосередньо пов'язане з його пористістю, значення якої визначається виходячи з виразу [5]

$$П = \frac{V_{зс} - V_c}{V_{рс}} 100 \% \quad (2.1)$$

Іе $П$ - пористість, %;

$V_{зс}$ - об'єм, що займає насіння, мл;

V_c - обсяг насіння, мл.

На рис. 2.1 наведено графік теоретичної залежності кутів укладання β частинок сипких матеріалів від пористості цих матеріалів.

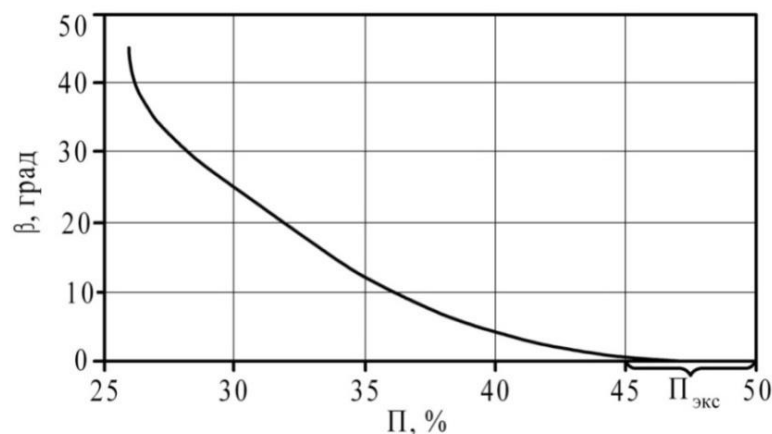


Рис. 2.1. Залежність кутів укладання частинок сипких матеріалів від пористості

Для визначення значення пористості маси насіння в насінній камері було проведено низку експериментів. Вони проводилися з використанням висівного апарату сівалки СПК-8 (рис. 2.2) при дозуванні насіння соняшнику сорту Ласунка та кукурудзи РІК 340МВ. Для забезпечення статистично достовірних

дослідних даних кожен досвід проводився у трьох повторностях, за результатами яких було визначено середнє пористість насіння.

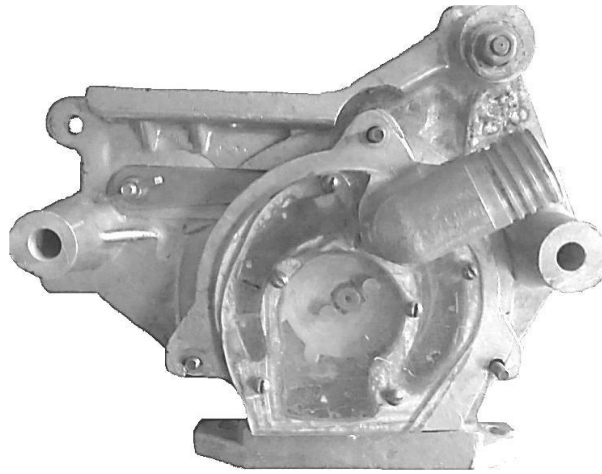


Рис. 2.2. Експериментальний вакуумний висівний апарат сівалки СПК-8 із прозорою кришкою

Для визначення обсягу насіння у насіннєвій камері під час роботи пневмовакуумного висівного апарату кришка та висівний диск останнього були замінені на аналогічні, виконані з прозорого матеріалу. Під час дозування візуально визначалася верхня межа насіння, що переміщується ворошилкою. Висівний апарат зупинявся, одночасно з цим перекривалося вікно надходження насіння з бункера в насіннєву камеру, звідки після витягувався весь насіннєвий матеріал і визначався його об'єм ($V_{сін}$, мл). Об'єм, який займає насіння в насіннєвій камері заповнювався аморфним матеріалом, обсяг якого ($V_{зс}$, мл) також вимірювався. Потім визначався коефіцієнт пористості Π (2.1), який склав в обох випадках 40 ... 50%. Порівняння отриманого значення пористості з теоретичною залежністю (рисунок 2.1) дозволяє вважати укладання насіння в насіннєвій камері працюючого висівного апарату близькою до кубічної, а кут їх укладання наближається до нуля.

Крім цього, при аналізі процесу роботи пневмовакуумного висівного апарату додатково приймалися такі припущення [8, 9]:

- насіння, що захоплюється дозуючим елементом висівного диска, набуває його швидкість на шляху, що дорівнює діаметру дозуючого елемента;

- розміри насіння малі щодо розмірів насінневої камери висівного апарату;
- обертання насіння, що транспортується дозуючим елементом висівного диска, при контакті з іншими насінням із загальної маси посівного матеріалу відбувається без ковзання;
- проекція центру тяжкості насіння, що транспортується, на площину висівного диска збігається з центром отвору дозуючого елемента;
- частота обертання висівного диска постійна;
- Розрідження у вакуумній камері постійно;
- винесення захопленого дозуючим елементом насіння здійснюється у напрямку, зворотному дії вертикальних сил закінчення сипучого матеріалу;
- насіння, захоплене дозуючим елементом і що виноситься з насінневої камери, розглядається як частинка, на яку діє система схожих сил.

Чисельні значення окремих параметрів висівного апарату (радіус розташування дозуючих елементів, їх діаметр, місце розташування скидувача тощо) у розрахунках приймалися з урахуванням параметрів вакуумного висівного апарату універсальної просапної сівалки МС-8, що володіє класичною функціональною схемою.

Сівалка МС-8 (СПБ-8К) є однією з найбільш поширених, тому в роботі висівний апарат цієї сівалки був прийнятий як прототип.

Серійний апарат даної сівалки працює так [5]. Насіння 1 (рис. 2.3) з бункера 2 надходять у насінневу камеру 3, розташовану в кришці 4 апарату, де під дією ворошилки 7 і розрідження, створюваного у вакуумній камері 5, виготовленої в корпусі 6 апарату, присмоктуються по одному або по кілька штук дозуючим елементам (присмоктуючим отворам) 8 висівного диска 9, який закріплений на приводному валу 10 і отримує обертальний рух приводної зірочки 11.

Це насіння переносяться висівним диском 8 до плоского скидача «зайвого» насіння 12, примикає до торцевої площини висівного диска 8, при цьому кожен пилкоподібний виступ 13 хвостовика 14 своєю робочою поверхнею, зверненої в

бік дозуючих елементів 8 висівного диска 9, центру дозуючих елементів 8, в результаті чого насіння здійснюють в радіальному напрямку висівного диска 9 зворотно-поступальні переміщення.

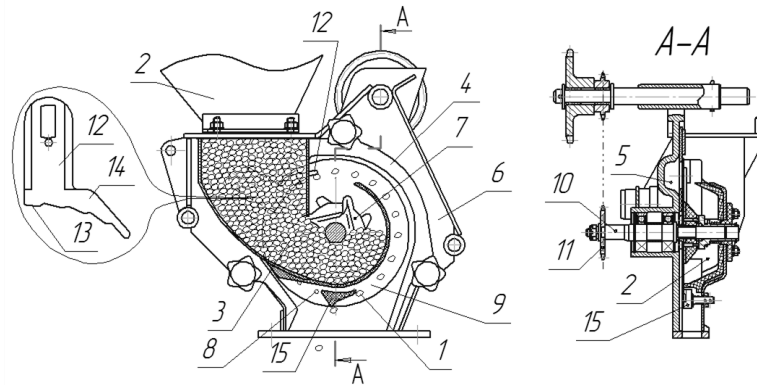


Рис. 2.3. Схема вакуумного висівного апарату сівалки МС-8

У зв'язку з цим «зайві» насіння видаляються за межі дозуючих елементів 8 і повертаються в насіннєву камеру 3, а основне насіння, найбільш центрально розташовані у дозуючого елемента 8, транспортуються висівним диском 9 в зону розвантаження, де в результаті екранування вакууму відокремлюються від дозуючих елементів 8 скидувачем-направителем 15 і падають під дією сили тяжіння на дно борозни, яку формує сошник (на малюнку 2.3 не показаний). Налаштування скидання «зайвого» насіння 12 щодо дозуючих елементів 8 здійснюється регулюванням положення виступів його хвостовика за допомогою механізму, оснащеного циліндричною шайбою (на кресленні не показана), на торцевій поверхні якої виконаний паз у вигляді спіралі Архімеда [2].

Як показали попередньо проведені експерименти, присмоктування насіння починається з нижньої точки насіннєвої камери [4], при тому, що умови для захоплення насіння в цій точці найгірші.

Традиційно прийнято вважати, що в процесі однонасінного дозування на дозуючий елемент серійного пневмовакуумного висівного апарату насіння діють сили, представлені на малюнку 2.4 [5].

Зі схеми видно, що винесення насіння відбувається завдяки силі тертя \bar{F} поверхні висівного диска про насіння, що присмоктується. При цьому на насіння діють і сили опору виносу: сила тертя прилеглого шару насіння про частину \bar{P}_{mp} ,

що присмоктується, сила вертикального тиску верхнього шару насіння \bar{P}_B , сила тяжіння \overline{mg} , сила інерції $m \frac{dv}{dt}$. Умовно до сил опору можна віднести і силу підпору насіння ворушилкою $\bar{P}_{не}$ із зворотним знаком. Відцентрова сила $\bar{P}_ц$ у розрахунках не враховується як дуже мала [7].

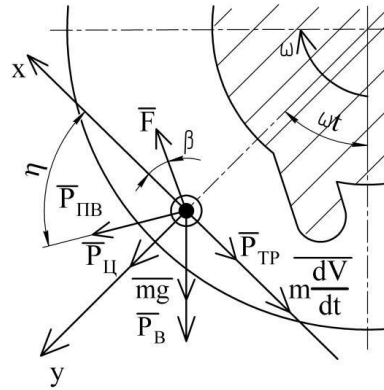


Рис. 2.4. Схема сил, що діють на насіння, що присмоктується, в шарі насіння

Гарантований винос насіння з шару буде забезпечений, якщо виконана умова

$$F \geq \sum R \quad (2.2)$$

або

$$\frac{F}{\sum R} = \frac{(P_B \cdot \text{tg} \beta + P_{ПВ}) \cdot f}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2}} \geq 1, \quad (2.3)$$

де F - сила тертя поверхні висівного диска про насіння, що присмоктується, Н;

$\sum R$ - рівнодіюча сил опору виносу, Н;

P_B - сила вертикального тиску верхнього шару насіння, Н;

β - кут укладання насіннєвого матеріалу, град;

$P_{ПВ}$ - контактна сила присмоктування (спрямована до площини висівного диска; рисуюне 2.3 не показана), Н;

f - коефіцієнт тертя насіння об поверхню висівного диска;

R_x, R_y – проекції сил опору виносу насіння із насінневої камери на осі X та Y, Н.

Контактна сила присмоктування

$$P_{\text{ПР}} = \kappa_{\phi} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot H, \text{Н} \quad (2.4)$$

де κ_{ϕ} - коефіцієнт, що враховує просмоктування повітря;

d – діаметр дозуючих отворів висівного диска, м;

H - розрідження у вакуумній камері, Па.

Проекції сил опору виносу насіння із насінневої камери на осі X та Y (рисунки 2.4) можна подати у вигляді рівнянь (2.5) та (2.6):

$$R_x = P_{\text{ТР}} - P_{\text{ПВ}} \cdot \cos \eta + m \frac{dV}{dt} + m \cdot g \cdot \sin \omega t + P_{\text{Б}} \cdot \sin \omega t, \text{Н}, \quad (2.5)$$

$$R_y = m \cdot g \cdot \cos \omega t - P_{\text{ПВ}} \cdot \sin(90 - \eta) + P_{\text{Б}} \cdot \cos \omega t, \text{Н}, \quad (2.6)$$

де $P_{\text{ТР}}$ - сила тертя прилеглого шару насіння про частину, що присмоктується, Н;

$P_{\text{ПВ}}$ - сила підпору насіння ворушилки, Н;

η – кут, який зміщує насіння під впливом ворушилки, град;

$\frac{dV}{dt}$ - тангенціальне прискорення насіння, м/с²;

m – маса насіння, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

ωt – кут повороту диска щодо вертикалі під час t , град.

Як було встановлено раніше, в результаті того, що під впливом ворушилки пористість шару насіння в насінневій камері набуває значення ($\Pi = 45...50\%$), що відповідає куту укладання β , приблизно рівному нулю, тоді умова захоплення та винесення насіння з насінневої камери набуде вигляду

$$\frac{F}{\sum R} = \frac{\kappa_{\phi} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot H \cdot f}{\sqrt{(m \frac{dV}{dt} - P_{\text{ПВ}} \cdot \cos \eta + m \cdot g \cdot \sin \omega t + P_{\text{Б}} \cdot \sin \omega t)^2 + (m \cdot g \cdot \cos \omega t - P_{\text{ПВ}} \cdot \sin(90 - \eta) + P_{\text{Б}} \cdot \cos \omega t)^2}} \geq 1. \quad (2.7)$$

Контактну силу присмоктування $P_{ПР}$ прийнято вважати пропорційною площею дозуючого елемента. Однак така картина спостерігається тільки у разі повного перекриття дозуючого елемента насінням.

Практичні дослідження роботи серійного вакуумного висівного апарату з круглими дозуючими елементами показали, що в результаті «висхідного закінчення», у міру винесення насіння з порожнини насінневої камери, в зоні активного захоплення насіння і аеродинамічного поля дозуючих елементів за насінням, що виноситься з насінневої камери [5]. Це може бути пов'язано з тим, що насіння, захоплене дозуючим елементом, під час руху в насінневій камері розсуває шар насіння, прилеглий до висівного диска. Після проходження цього елемента, що дозує, шар насіння зникається таким чином, що точки контактів насіння лежать на траєкторії руху дозуючих елементів (рис. 2.5).

Утворені таким чином порожнечі перешкоджають присмоктуванню та винесення насіння із насінневої камери. Тому при роботі пневмовакуумного висівного апарату з'являлися групові перепустки подачі насіння (нульові подачі) по 5...15 шт. поспіль [4].

Таким чином, через відсутність насінневого матеріалу на траєкторії руху дозуючого елемента, а також через те, що насіння має не ідеально круглу форму, яка прийнята в припущеннях [5], насіння не повністю перекриває дозуючий елемент і площа перекриття S_c (рис. 2.5) найчастіше не дорівнює площі дозуючого елемента.

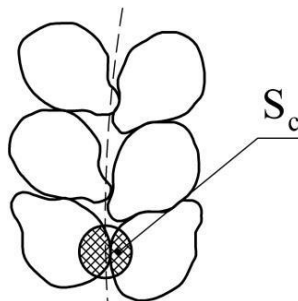


Рис. 2.5. Можливе розташування насіння щодо дозуючого елемента

Тому контактну силу присмоктування спрощено можна розраховувати виходячи з виразу

$$P_{PP} = \kappa_{\phi}, S_c H, \quad (2.8)$$

де S_c - площа перекриття дозуючого елемента насінням, m^2 .

Для визначення залежності сили тертя поверхні висівного диска про насіння F , що присмоктується, і рівнодіючої сил опору виносу ΣR (2.2) графічно була визначена площа перекриття дозуючого елемента насінням. Результати розрахунків представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Значення площі перекриття дозуючого елемента насінням залежно від їхнього взаємного розташування

№ п/п	Ступінь перекриття дозуючого елемента насіння	Діаметр дозуючого елемента, м	Середній умовний діаметр насіння, м	S_c, m^2
1	2	3	4	5
Соняшник сорту Лакомка				
1	0,5d	3×10^{-3}	$10,98 \times 10^{-3}$	$3,33 \times 10^{-6}$
2	0,6d			$4,22 \times 10^{-6}$
3	0,7d			$5,11 \times 10^{-6}$
4	0,8d			$5,94 \times 10^{-6}$
5	0,9d			$6,65 \times 10^{-6}$
6	1,0d			$7,07 \times 10^{-6}$
Кукурудза сорту РІК 340МВ				
1	0,5d	5×10^{-3}	$11,75 \times 10^{-3}$	$8,93 \times 10^{-6}$
2	0,6d			$11,40 \times 10^{-6}$
3	0,7d			$13,89 \times 10^{-6}$
4	0,8d			$16,27 \times 10^{-6}$
5	0,9d			$18,35 \times 10^{-6}$
6	1,0d			$19,63 \times 10^{-6}$

З урахуванням даних таблиці 2.1 вираз (2.7) було представлено графічно для випадків дозування пневмовакуумним висіваючим апаратом насіння соняшнику сорту Ласунка та кукурудзи РІК 340МВ. При цьому величина розрідження у вакуумній камері приймалася для соняшника 4 кПа, для кукурудзи 5 кПа, діаметр дозуючих елементів – 3 та 5 мм відповідно.

Результати розрахунків представлені на рисунках 2.6 та 2.7.

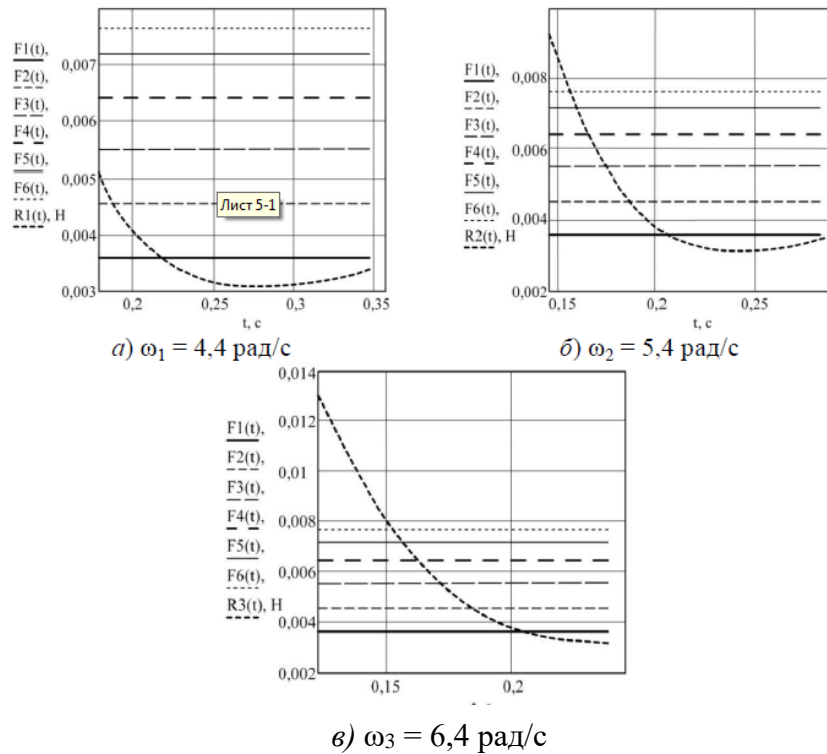


Рис. 2.6. Графіки сил тертя поверхні висівного диска про насіння соняшнику, що присмоктується, та рівнодіючої сил опору

На рис. 2.6, 2.7 прийняті наступні позначення: F_1 – сила тертя поверхні висівного диска про насіння, що присмоктується, для випадку, коли насіння перекриває 0,5 діаметра дозуючого елемента, Н; F_2 – сила тертя поверхні висівного диска про насіння, що присмоктується, для випадку, коли насіння перекриває 0,6 діаметра дозуючого елемента, Н; F_3 – сила тертя поверхні висівного диска про насіння, що присмоктується, для випадку, коли насіння перекриває 0,7 діаметра дозуючого елемента, Н; F_4 – сила тертя поверхні висівного диска про насіння, що присмоктується, для випадку, коли насіння перекриває 0,8 діаметра дозуючого елемента, Н; F_5 – сила тертя поверхні висівного диска про насіння, що присмоктується, для випадку, коли насіння перекриває 0,9 діаметра дозуючого елемента, Н; F_6 – сила тертя поверхні висівного диска про насіння, що присмоктується, для випадку, коли насіння повністю перекриває дозуючий елемент, Н (див. таблицю 2.1); $R_1(t)$, $R_2(t)$, $R_3(t)$ – розрахункова рівнодіюча сил опору виносу при кутовій швидкості обертання

висівного диска $\omega_1 = 4,4$ рад/с, $\omega_2 = 5,4$ рад/с, $\omega_3 = 6,4$ рад /з відповідно; t - час повороту висівного диска, с.

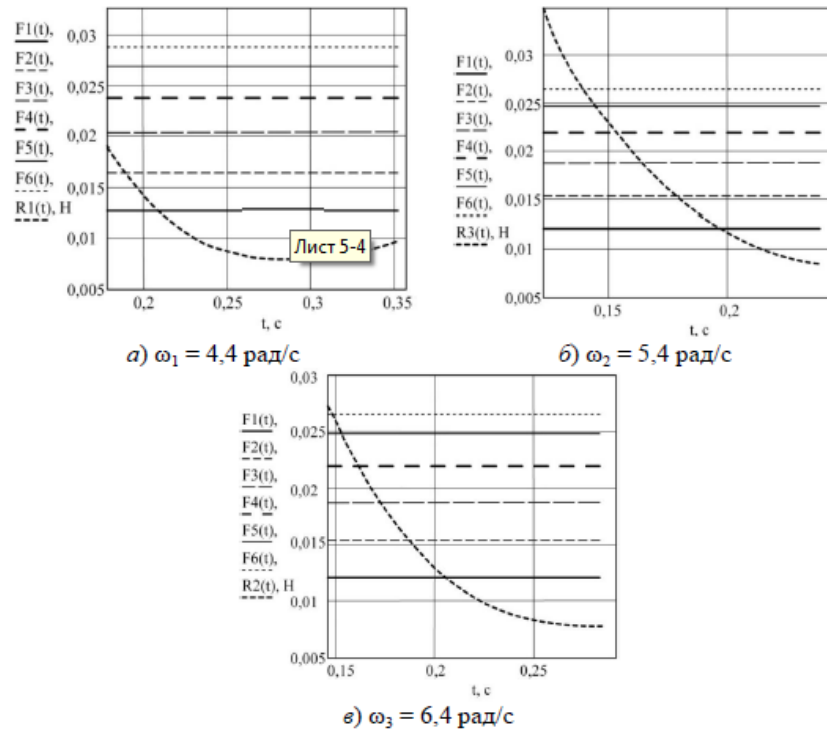


Рис. 2.7. Графіки сил тертя поверхні висівного диска про насіння кукурудзи, що присмоктується, та рівнодіючої сил опору

Аналіз рисунків 2.6 і 2.7 дозволяє зробити такі висновки:

1. При збільшенні кутової швидкості обертання висівного диска з 4,4 до 6,4 рад/с максимальне значення рівнодіючої сил опору захопленню та виносу насіння соняшника зростає з $5,1 \times 10^{-3}$ до $13,1 \times 10^{-3}$ Н та з $18,5 \times 10^{-3}$ до $34,8 \times 10^{-3}$ Н при захопленні та винесенні насіння кукурудзи.

2. При зменшенні площі перекриття дозуючого елемента насінням ймовірність винесення останнього із насінневої камери знижується. Так, наприклад, при дозуванні кукурудзи на середній швидкості обертання висівного диска $\omega_2 = 5,4$ рад/с час, що відводиться на захоплення насіння дозуючим елементом зменшується з 0,15 с при повному перекритті дозуючим елементом насінням ($S_c = 19,63 \times 10^{-6}$ м²) до 0,09 с при $S_c = 8,93 \times 10^{-6}$ м².

3. Гарантоване захоплення буде забезпечено при площі перекриття не менше $5,11 \times 10^{-6}$ м² для соняшника та $13,89 \times 10^{-6}$ м² для кукурудзи.

Однак у реальному процесі посіву машинно-тракторний агрегат відчуває вплив коливань із за нерівностей агрофону. В результаті цього на насіння, що присмокталося до дозуючого елемента, діє ще один вид сил - сили інерції. Оскільки нерівності поверхні ґрунту неоднорідні, їх умовно можна розділити на мікро-, мезо- та макрорельєф [6]. Відповідно і на насіння діятимуть три сили інерції $\overline{P_{in1}}$, $\overline{P_{in2}}$, $\overline{P_{in3}}$. Найбільш негативною для захоплення і винесення насіння з шару є ситуація, при якій всі три сили інерції, що розглядаються, спрямовані з силою тяжкості насіння (рисунок 2.8).

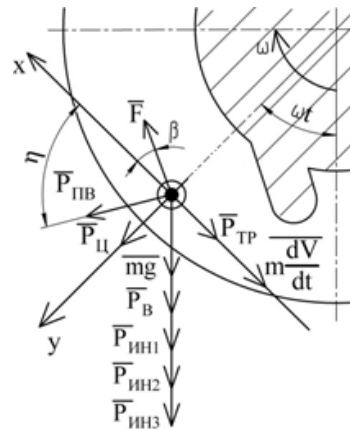


Рис. 2.8. Схема сил, що діють на насіння, що присмоктується, в шарі насіння з урахуванням коливань висівного апарату

Сили інерції мікро-, мезо-, макрорельєфу ґрунту:

$$P_{in1}(t) = m \cdot A_1 \cdot V_1^2 \cdot \cos(t \cdot v_1), \text{ Н} \quad (2.9)$$

$$P_{in2}(t) = m \cdot A_2 \cdot V_2^2 \cdot \cos(t \cdot v_2), \text{ Н} \quad (2.10)$$

$$P_{in3}(t) = m \cdot A_3 \cdot V_3^2 \cdot \cos(t \cdot v_3), \text{ Н} \quad (2.11)$$

де $P_{in1}(t)$ – сила інерції від мікрорельєфу ґрунту, Н;

$P_{in2}(t)$ – сила інерції від мезорельєфу ґрунту, Н;

$P_{in3}(t)$ – сила інерції від макрорельєфу ґрунту, Н;

A_i - амплітуда коливань на i -му рельєфі, м;

v_i – частота коливань на i -му рельєфі, Гц;

t - час, с.

Згідно з дослідженнями інших авторів приймаємо амплітуду коливань сівалки на мікрорельєфі (A_1) 0,065 м при частоті (v_1) 11,3 Гц, на мезорельєфі $A_2 =$

0,120 м, $v_2 = 6,0$ Гц, на макрорельєфі $A_3 = 0,17 = 0,3$ Гц при робочій швидкості сівалки 8...9 км/год.

У розрахунках розглянемо найгірший варіант, коли ці три сили інерції співспрямовані та протидіють виносу насіння із насінневої камери.

Тоді рівняння (2.5) і (2.6), з урахуванням динаміки процесу, набудуть вигляду:

$$R_x(t) = m \frac{dV}{dt}(t) - P_{\text{пв}}(t) \cdot \cos \eta + m \cdot g \cdot \sin \omega t + P_B(t) \cdot \sin \omega t + P_{\text{ин1}}(t) \cdot \sin \omega t + P_{\text{ин2}}(t) \cdot \sin \omega t + P_{\text{ин3}}(t) \cdot \sin \omega t, \text{ Н}, \quad (2.12)$$

$$R_y(t) = m \cdot g \cdot \cos \omega t - P_{\text{пв}}(t) \cdot \sin(90 - \eta) + P_B(t) \cdot \cos \omega t + P_{\text{ин1}}(t) \cdot \cos \omega t + P_{\text{ин2}}(t) \cdot \cos \omega t + P_{\text{ин3}}(t) \cdot \cos \omega t, \text{ Н}. \quad (2.13)$$

Відповідно умова гарантованого захоплення та винесення насіння з насінневої камери набуде вигляду

$$\kappa_{\phi} \cdot S_c \cdot H \geq \sqrt{R_x^2(t) + R_y^2(t)}. \quad (2.14)$$

Результати розрахунків залежності сили тертя поверхні висівного диска про насіння до рівнодіючої сил опору виносу з урахуванням (2.9...2.13) представлені на рисунках 2.9 та 2.10.

Аналіз рис.2.9 і 2.10 дозволяє зробити такі висновки:

1. При збільшенні кутової швидкості обертання висівного диска з 4,4 до 6,4 рад/с максимальне значення рівнодіючої сил опору захоплення та винесення насіння соняшника з урахуванням сил інерції зростає з $7,7 \times 10^{-3}$ до $15,9 \times 10^{-3}$ Н і з $22,1 \times 10^{-3}$ до $39,2 \times 10^{-3}$ Н при захопленні та винесенні кукурудзи.

2. При зменшенні площі перекриття дозуючого елемента насінням ймовірність винесення останнього із насінневої камери знижується. Так, наприклад, при дозуванні кукурудзи на середній швидкості обертання висівного диска ($S_c = 19,64 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$) до 0,06 с при $S_c = 8,93 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

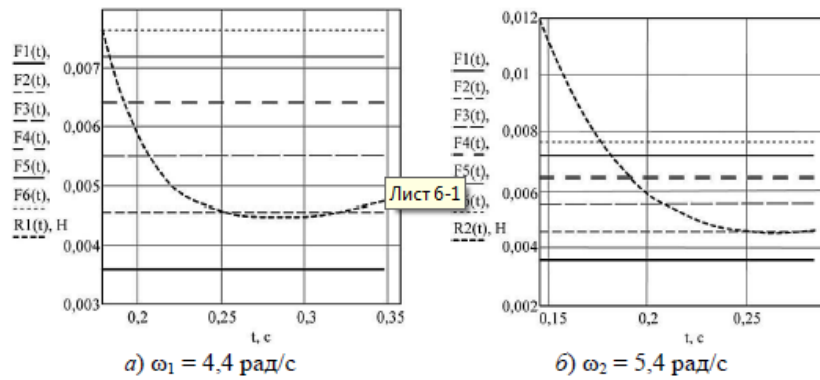


Рис. 2.9. Графік сил тертя поверхні висівного диска про насіння соняшника, що присмоктується, та рівнодіючої сил опору з урахуванням нерівностей агрофону

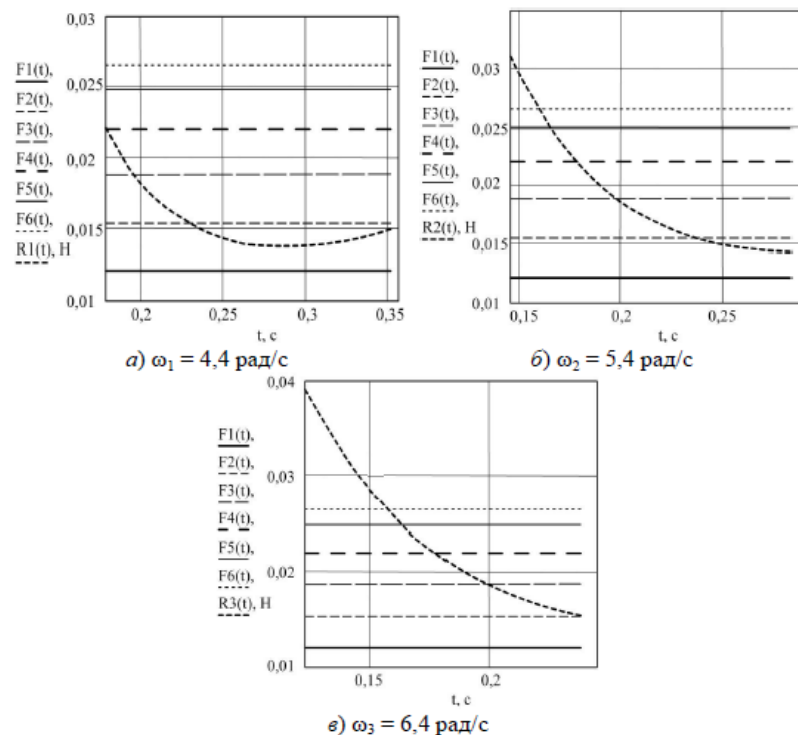


Рис. 2.10. Графік сил тертя поверхні висівного диска про насіння кукурудзи та рівнодіючу силу опору з урахуванням нерівностей агрофону

3. З урахуванням сил інерції, що виникають при русі сівалки по полю, гарантоване захоплення буде забезпечено при перекритті отвору, що присмоктує, насінням не менше $6,65 \times 10^{-6} \text{ м}^2$ для соняшника і $18,35 \times 10^{-6} \text{ м}^2$ для кукурудзи.

4. З графіків, побудованих з урахуванням сил інерції, яким піддається сівалка в процесі роботи (рисунок 2.9, 2.10), видно, що умови для захоплення та

винесення насіння із насінневої камери гірші, ніж у стаціонарній моделі (рисунки 2.6, 2.7). Так, наприклад, при дозуванні насіння соняшника час, що відводиться на захоплення насіння за умови повного перекриття дозуючого елемента (рис. 2.9), зменшився з 0,1 до 0,08 секунди (рис. 2.6). Причому при площі перекриття дозуючого елемента насінням $4,22 \times 10^{-6} \text{ м}^2$ і менше захвату взагалі не станеться. У той час як у стаціонарній моделі, що описує захоплення насіння без урахування коливань висівного апарату через нерівності поля, присмоктування можливе за будь-якого з розглянутих взаємних положень насіння та дозуючого елемента.

З наведених даних видно, що при можливих малих значеннях площі перекриття дозуючого елемента насінням S якість процесу дозування насіння вакуумним висівним апаратом не забезпечується. У зв'язку з цим пропонується виготовляти дозуючі елементи у вигляді радіальних прорізів, що дозволить забезпечити гарантоване влучення хоча б одного насіння на траєкторію руху дозуючого елемента (рис. 2.11).

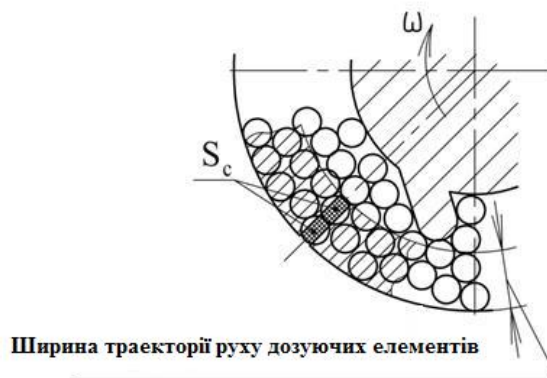


Рис. 2.11. Схема розташування насіння в зоні їх взаємодії з дозуючими елементами пропонуваного висівного диска

При цьому для збільшення ширини траєкторії руху елемента, що дозує, його довжина повинна бути максимальною і прийматися виходячи з геометричних параметрів висівного апарату.

В основу обґрунтування параметрів отвору, що присмоктує, покладена очевидна закономірність - ймовірність присмоктування насіння зі збільшенням площі присмоктування зростає.

Однак збільшення ширини дозуючих елементів може призвести до заклинювання та пошкодження насіння. За аналогією з круглими дозуючими елементами для того, щоб не відбулося западання в дозуючий елемент насіння з подальшим його травмуванням, ширина пропонованих елементів, що дозують, повинна визначатися виходячи з мінімальної.

товщини насіння висівається культури.

$$t_e = (0,5 \dots 0,7) c, \text{ м}, \quad (2.15)$$

де t_e – ширина радіально розташованих отворів, м;

c – мінімальна товщина насіння, що висіється, м.

Виконання умови (2.15) дозволяє запобігти заклинюванню насіння в прорізах елементів, що дозують. Однак при цьому необхідно враховувати, що параметри пропонованих елементів, що дозують, повинні забезпечувати необхідну для якісного захоплення насіння площу їх перекриття S_c (рисунок 2.12).

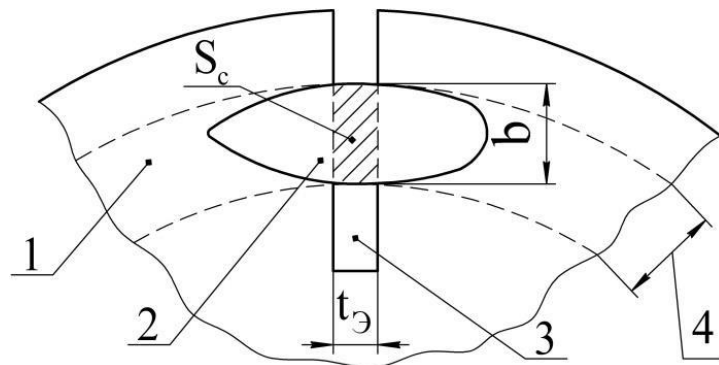


Рис. 2.12. Схема захоплення насіння радіальним дозуючим елементом: 1 – висівний диск; 2 – насіння; 3 – дозуючий елемент; 4 – ширина вакуумної камери

Виходячи з запропонованої конструкції дозуючого елемента була отримана залежність, що приблизно встановлює взаємозв'язок площі перекриття дозуючого елемента насінням S_c від ширини дозуючого елемента t_e (рисунок 2.12):

$$S_c = 4 \cdot \int_0^{t_3/2} \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - x^2} dx, \text{ м}^2,$$

де x - тангенціальна відстань від центру дозуючого елемента до проміжного положення цієї точки, м.

При цьому передбачалося, що ймовірність розташування всіх насіння, що потрапляють на траєкторію руху дозуючих елементів «ребром», вкрай мала, і нею можна знехтувати.

Тоді

$$S_c = 2 \cdot \left(\frac{t_3}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - \frac{t_3^2}{4}} + \left(\frac{b}{2}\right)^2 \cdot \arcsin \frac{t_3}{2 \cdot b} \right), \text{ м}^2. \quad (2.16)$$

Знаючи мінімально необхідну для гарантованого захоплення насіння площу перекриття дозуючого елемента насінням S_c (малюнки 2.8; 2.9 в), можна визначити мінімальне значення ширини дозуючого елемента t_e . Мінімальна ширина елемента для дозування насіння соняшника становить приблизно 2 мм, для посіву кукурудзи – 3 мм.

Однак функціональні можливості серійного вакуумного висівного апарату можна розширити шляхом зміни геометрії його дозуючих елементів з метою адаптивності їх на висів двох культур, що володіють схожими фізико-механічними властивостями. З урахуванням забезпечення гарантованого захоплення насіння остаточно приймаємо ширину адаптивного радіального дозуючого елемента для здійснення дозування насіння і соняшника і кукурудзи 2,5 мм.

Площу S_c було визначено графічно. Результати представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення площі перекриття насінням дозуючого елемента пропонованого вакуумного висівного апарату

Культура	$t_e, \text{ м}$	$c, \text{ м}$	$S_c, \text{ м}^2$
Соняшник Лакомка	2,5×10 ⁻³	6,84×10 ⁻³	21,83×10 ⁻⁶
Кукурудза РІ340МВ		9,51×10 ⁻³	23,34×10 ⁻⁶

Результати розрахунків залежності сили тертя поверхні висівного диска пропонованого вакуумного висівного апарату про насіння, що присмоктується, і

рівнодіючої сил опору виносу при кутовій швидкості обертання $\omega_3 = 6,4$ рад/с з урахуванням сил інерції, що виникають через нерівності поля, представлені на рис. 2.13 .

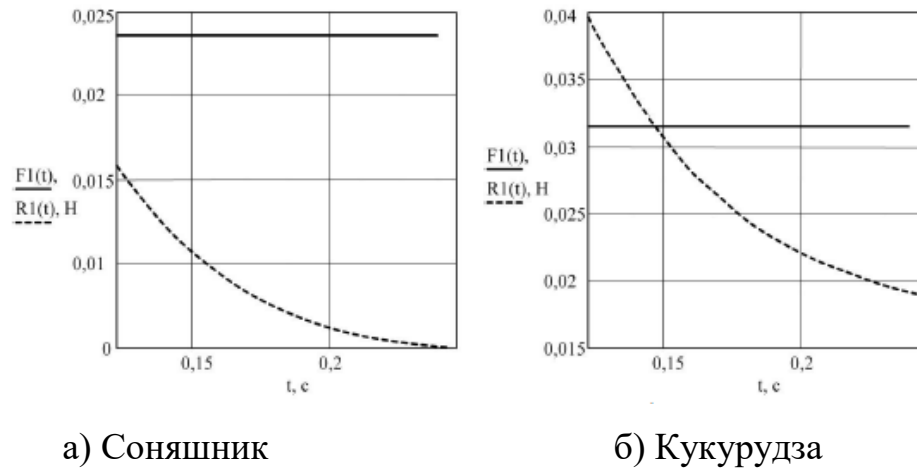


Рис. 2.13. Графіки сил тертя поверхні висівного диска про насіння запропонованого вакуумного висівного апарату та рівнодіючої сили опору з урахуванням коливань висівного апарату

Аналіз графіків, представлених малюнку 2.13, дозволяє зробити такі висновки:

1. Прийняті в результаті розрахунків радіальні дозуючі елементи шириною 2,5 мм дозволяють гарантовано забезпечити процес захоплення та винесення насіння соняшника, оскільки сила тертя насіння про дозуючий елемент $F = 0,024$ Н перевищує рівнодіючу сил опору виносу ΣR приблизно в 1,5 рази (див. рисунок 2.13 а).

2. При висіві насіння кукурудзи конструкція дозуючих елементів також дозволяє забезпечити стабільні умови для захоплення і винесення насіння з насінневої камери. У серійному вакуумному висівному апараті цей процес менш стабільний (див. рис. 2.10 в).

Таким чином, можна зробити загальний висновок, що через можливу зміну площі перекриття дозуючого елемента S_c процес винесення насіння з насінневої камери серійного вакуумного висівного апарату відбувається в нестійкому режимі. У пропонованому вакуумному висівному апараті досягається стійке

значення відношення (2.2), що забезпечує гарантоване присмоктування насіння до елементів, що дозують.

Очевидним недоліком використання радіальних елементів, що дозують, є значна частота подвійних і навіть потрійних подач насіння. Для зниження ймовірності цих подій у роботі запропоновано ширину прорізу в прокладці вакуумної камери, що контактує з елементом, що дозує, виконати змінної.

Стендові випробування показали, що найбільше прилипання насіння до отворів, що присмоктують, у висівному диску спостерігається в самій нижній частині насінневої камери. Таким чином, вакуумна камера повинна мати найбільшу ширину l у нижній частині насінневої камери (рисунок 2.14).

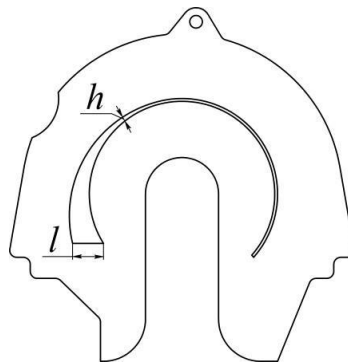


Рис. 2.14. Прокладання вакуумної камери

Далі вакуумна камера повинна зменшуватися по ходу обертання висівного диска до закінчення зони початку впливу на посівний матеріал скидання «зайвого» насіння, приймаючи значення h . Це дозволить «полегшити» роботу скидача «зайвого» насіння, оскільки за рахунок звуження зони присмоктування насіння частина «зайвого» насіння падатиме в насінневу камеру.

Таким чином, як дозуючий елемент буде виступати отвір, утворене перетином радіального прорізу у висівному диску і вирізом у прокладанні вакуумної камери. Причому форма і площа даного елемента будуть змінюватися в залежності від виконуваного етапу технологічного процесу роботи вакуумного висівного апарату (рис. 2.15).

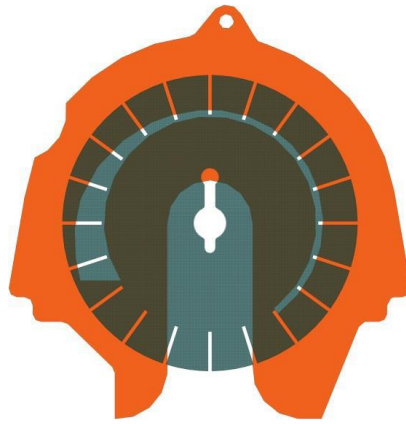


Рис. 2.15. Пропоновані висівний диск та прокладання вакуумної камери

На переважній більшості сучасних вакуумних висівних апаратах видалення «зайвого» насіння проводиться шляхом часткового екранування дозуючих елементів плоскими пилкоподібними скидувачами (рисунок 2.16).

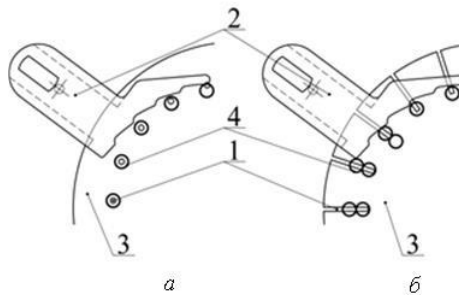


Рис. 2.16. Зміщення насіння щодо дозуючого елемента під дією скидача «зайвого» насіння в серійному (а) та пропорованому (б) вакуумному висівному апараті: 1 – дозуючий елемент; 2 – скидач «зайвого» насіння; 3 – висівний диск; 4 – насіння

При налаштуванні сівалки візуально для кожного висівного апарату окремо визначають найбільш раціональне положення скидача, при якому забезпечується найменші частоти подвійних і нульових подач.

Процес налаштування досить трудомісткий і не гарантує надійної роботи апарату. Це пов'язано з тим, що незначне відхилення положення скидача від оптимального призводить до зміни незакритої площі дозуючого елемента і, як наслідок, до суттєвого зростання числа або нульових чи подвійних подач насіння.

Площа незакритої частини дозуючого елемента серійного вакуумного висівного апарату може бути визначена з виразу

$$S_{c1} = \pi \cdot r^2 - \int_0^{c_{де}} 2 \cdot \sqrt{2 \cdot r \cdot c_{lt} - c_{lt}^2} dc_{lt}, \text{ м}^2 \quad (2.17)$$

де r - радіус дозуючого елемента, м;

$c_{ДЕ}$ - лінійне перекриття дозуючого елемента скидувачем «зайвого» насіння, м.

У запропонованому пневмовакuumному висівному апараті аналогічний показник визначається

$$S_{c2} = t_e \cdot (l_1 - c_{де}), \text{ м}^2 \quad (2.18)$$

де l_1 - початковий радіальний розмір дозуючого елемента, м.

На рисунку 2.17 представлені залежності зміни площі перекриття серійного (d) та запропонованого (t) дозуючого елемента насінням (S_c , мм²) від ступеня його радіального перекриття ($c_{ДЕ}$, мм).

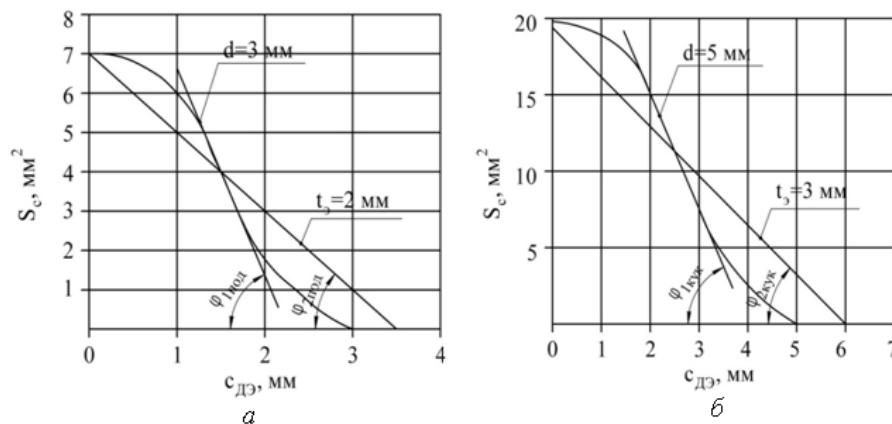


Рис. 2.17. Залежність площі дозуючого елемента від ступеня його перекриття плоским скидачем «зайвого» насіння при висіві соняшника (а) та кукурудзи (б)

При цьому початкова площа радіального дозуючого елемента приймалася рівною площі відкритого серійного отвору, що присмоктувально-вакуумного висівного апарату при $d = 3$ мм для соняшника та $d = 5$ мм для кукурудзи.

Як видно з представлених залежностей при зміні положення скидача «зайвого» насіння в запропонованому дозуючому елементі, утвореному перетином радіальних прорізів у висівному диску в прокладці вакуумної камери

(див. рис. 2.15), ця площа змінюється лінійно, у той час як у серійному апараті ця залежність косинусоїдальна. Як показує виробничий досвід [7, 9] раціональним становищем скидача «зайвого» насіння є таке, при якому дозуючий елемент перекритий на 50%.

Визначимо значення кутового коефіцієнта функції $k = \operatorname{tg}\varphi$ у даній точці для серійних елементів, що дозують (див. малюнок 2.17). При висіві соняшника $k_{1сон} = 1,33$, при висіві кукурудзи $k_{1кук} = 0,87$. У той самий час аналогічні показники пропонованого пневмовакуумного висівного апарату становлять $k_{2сон} = 1,12$, $k_{2кук} = 0,72$.

Таким чином, можна зробити висновок, що запропонована конструкція дозуючого елемента дозволить збільшити плавність регулювання скидувача «зайвого» насіння приблизно в 1,2 рази, що, в свою чергу, дозволить зменшити час проведення цієї операції та покращити якість роботи пневмовакуумного висівного апарату.

Сили опору, що діють на насіння після проходження ним зони скидання «зайвого» насіння, значно менше, ніж при винесенні з насінневої камери.

У зв'язку з цим, як зазначалося раніше, площу присмоктування дозуючого елемента необхідно зменшити. Це призведе до зниження витрати повітря, за рахунок зменшення його просмоктування.

Оскільки ширина дозуючого елемента конструктивно змінюватися не може, зменшення площі присмоктування досягається шляхом зменшення радіального розміру дозуючого елемента (звуженням ширини вирізу в прокладці вакуумної камери).

Визначимо раціональне значення цього показника. При цьому розглядатимемо положення насіння в «кінці» вакуумної камери – точці А, оскільки в цій зоні складаються найгірші умови для процесу транспортування - сила тяжкості насіння \overline{mg} і відцентрова сила $\overline{P\Omega}$ близькі за напрямком (рисунок 2.18).

Рівнодія сил опору R може бути визначена згідно з третьою аксіомою статички за формулою

$$R = \sqrt{(mg)^2 + P_{ц}^2 mg^2 P_{ц} \cos \omega t}, Н \quad (2.19)$$

Умову утримання насіння дозуючим елементом можна уявити рівнянням

$$\kappa_{\phi} h t_e H f = \sqrt{(mg)^2 + P_{ц}^2 + 2mgP_{ц} \cos \omega t} \quad (2.20)$$

Звідки мінімально допустима ширина вакуумної камери після зони скидачі «зайвого» насіння

$$h = \frac{\sqrt{m^2 g^2 P_{ц}^2 + 2mgP_{ц} \cos \omega t}}{\kappa_{\phi} t_e H f}, М \quad (2.21)$$

де H - розрідження у вакуумній камері, для соняшника $H_{сон} = 4,0$ кПа, для кукурудзи $H_{кук} = 4,5$ кПа.

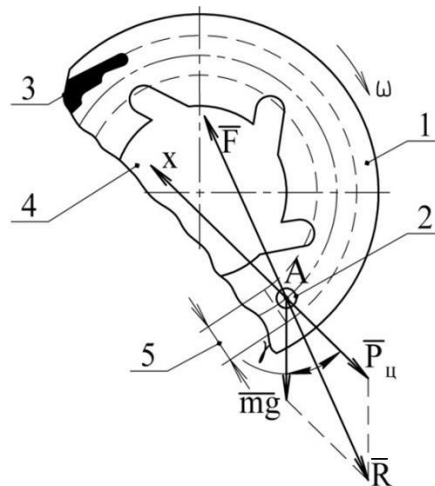


Рис. 2.18. Схема сил, які діють насіння у процесі транспортування в надсошниковий простір: 1 - висівний диск; 2 – дозуючий елемент; 3 – скидач «зайвого» насіння; 4 – ворухитель; 5 – вакуумна камера

Для того щоб забезпечити гарантоване утримання насіння у дозуючого елемента з урахуванням просмоктування повітря, приймаємо коефіцієнт запасу, що дорівнює чотирьом. Тоді ширина щілини $h = 3$ мм.

Крім іншого важливою складовою динаміки висіву є процес відриву насіння від диска, що висіває.

При цьому рівномірність розподілу насіння в борозні значною мірою залежить від кута, на який повертається насіння до повного виходу з дозуючого елемента (рисунки 2.19, 2.20).

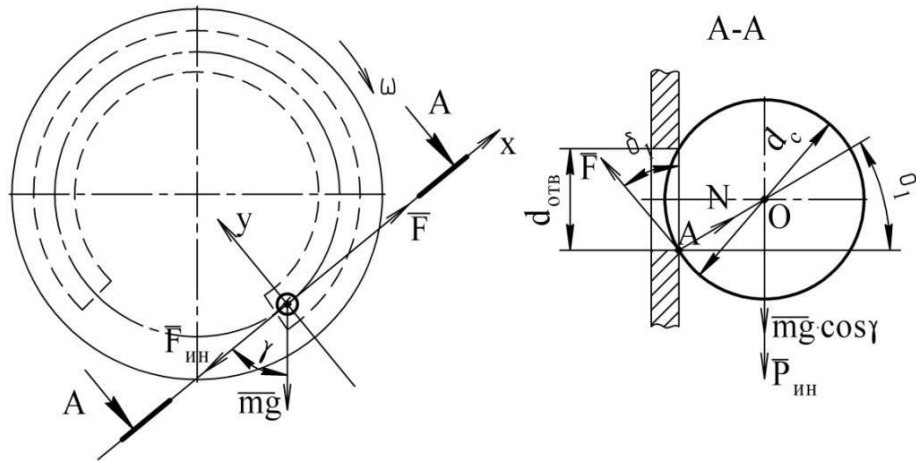


Рис. 2.19. Схема розташування насіння в момент його сходу з серійного висівного диска

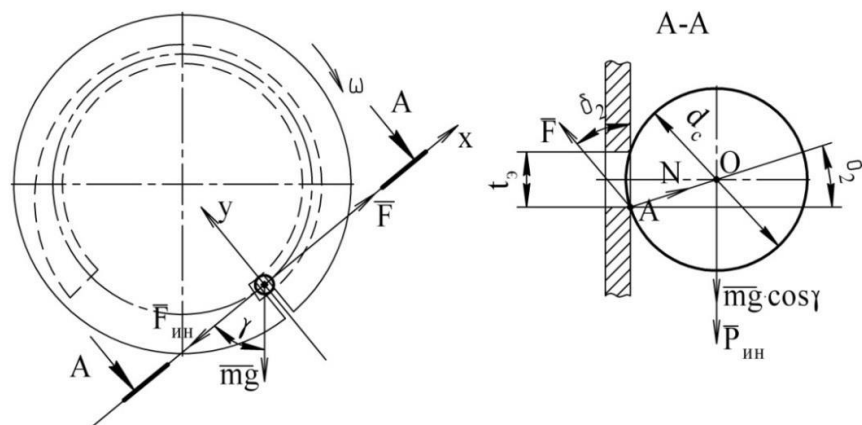


Рис. 2.20. Схема розташування насіння в момент його сходу з пропонованого висівного диска

Для серійного отвору, що присмоктує

$$\sin \delta_1 = \frac{d_{\text{отв}}}{d_c} \quad (2.22)$$

де δ_1 – кут, на який повертається насіння при його сході з серійного висівного диска, град;

$d_{\text{отв}}$ – діаметр присмоктуючого отвору, м;

d_c – діаметр насіння, м.

Тоді

$$\delta_1 = \arcsin \frac{d_{\text{отв}}}{d_c} \quad (2.23)$$

Для пропонованого дозуючого елемента

$$\sin \delta_2 = \frac{t_e}{d_c} \quad (2.24)$$

де δ_2 - кут, на який повертається насіння при його сході з пропонованого висівного диска, град.

Тоді

$$\delta_2 = \arcsin \frac{t_e}{d_c} \text{ ,град} \quad (2.23)$$

Розрахунки показують, що для соняшника $\delta_{1\text{сон}} = 76,78^\circ$, для кукурудзи $\delta_{1\text{кук}} = 77,93^\circ$, відповідно $\delta_{2\text{сон}} = 73,92^\circ$, $\delta_{2\text{кук}} = 64,75^\circ$, тобто. пропонована конструкція в середньому дозволяє полегшити процес сходу насіння від дозуючого елемента висівного диска і, як наслідок, забезпечити більш рівномірний розподіл їх у сошниковому просторі порівняно з серійним пневмовакуумним висівним апаратом.

Таким чином, можна зробити висновок, що запропонована конструкція елементів, що дозують, дозволяє практично на всіх етапах підвищити якість роботи вакуумного висівного апарату. Однак застосування запропонованої форми дозуючих елементів може призвести до збільшення витрати повітря, а як наслідок, погіршення роботи пневмосистеми сівалки.

З метою перевірки даного припущення було визначено витрату повітря через дозуючі елементи серійного та пропонованого вакуумних висівних апаратів.

$$Q = \frac{V_B \pi d^2 n k_n}{4} z \text{ ,м/с}^3 \quad (2.26)$$

де V_B – швидкість повітряного потоку в дозуючому елементі диска, м/с;

n – кількість дозуючих елементів висівного диска, через які одночасно проходить повітряний потік, прим.;

k_n - коефіцієнт присмоктування, $k_n = 0,55 \dots 0,72$;

z – кількість висівних апаратів на сівалці, прим.

Швидкість повітря V_B

$$V_B = \lambda \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{\rho_B}}, \text{ м/с} \quad (2.27)$$

де λ – аеродинамічний коефіцієнт опору присмоктуючого отвору, $\lambda = 0,7 \dots 0,72$;

ρ_B – густина повітря, кг/м^3 .

Причому для пропонованого вакуумного висівного апарату визначався еквівалентний діаметр d_e , оскільки його дозуючі елементи мають умовно прямокутну форму:

$$d_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{2 \cdot a_i \cdot b_i}{a_i + b_i}, \text{ м} \quad (2.28)$$

де a і b - Довжина і товщина прямокутного дозуючого елемента, м.

Висновки по розділу

Відповідно (2.26) витрата повітря при використанні висівних дисків з діаметром дозуючих елементів 3 мм становитиме $4,1 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. Використання висівних дисків з діаметром дозуючих елементів 5 мм викликає витрати повітря $10,5 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. Розрахунки показують, що пропонований вакуумний висівний апарат з шириною дозуючих елементів 2,5 мм ($Q = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$.)

Експлуатація пропонованого вакуумного висівного апарату не тягне за собою перевищення витрати повітря в порівнянні з серійним, діаметр дозуючих елементів якого 5 мм. Це дозволяє використовувати на сівалці ексгаустер, що встановлюється заводом-виробником без його модернізації у бік збільшення потужності.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для визначення раціональних параметрів і режимів роботи висівних апаратів на факультеті інженерії та енергетики Поліського національного університету було проведено низку експериментів. В експериментах досліджувалося якість роботи вакуумного висівного апарату сівалки МС-8 (раніше СПБ-8К).

Лабораторні випробування проводилися на універсальному комп'ютеризованому комплексі, схема якого наведена на рис.3.1.

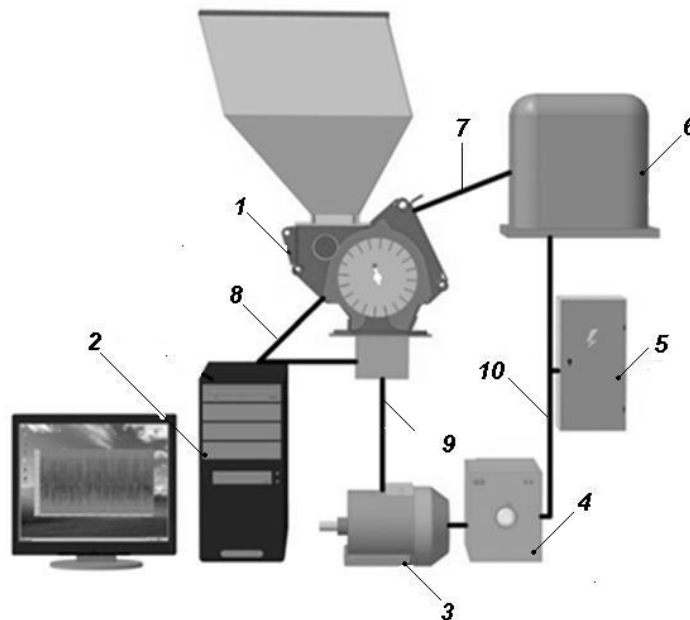


Рис. 3.1. Схема універсального комп'ютеризованого комплексу: 1 – досліджуваний висівний апарат; 2 – ЕОМ з пакетом програм "ADCLab", "Microsoft Excel"; 3 – електродвигун постійного струму; 4 – модуль управління; 5 – джерело живлення; 6 – генератор зниженого тиску; 7 – пневмопровід; 8 – шлейф датчиків; 9 – приводний механізм; 10 – електрична мережа

На рис. 3.2 представлений зовнішній вигляд лабораторного стенду для дослідження роботи висівного апарату.

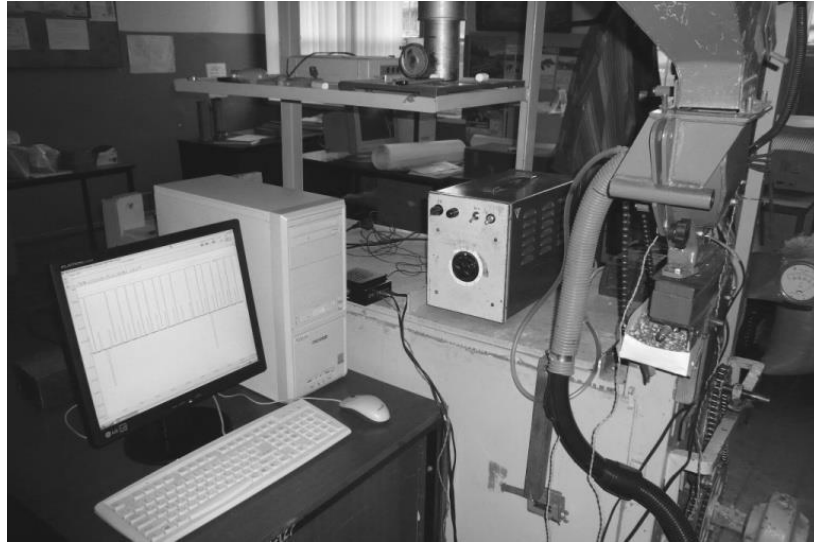
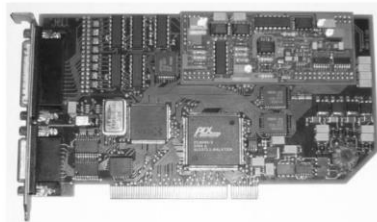
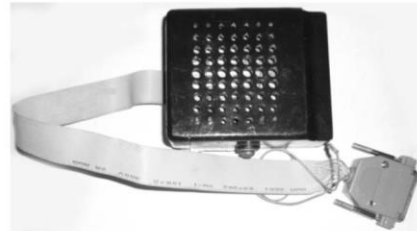


Рис. 3.2. Вимірювальний комплекс

До складу цифрової вимірювальної апаратури даного стенду крім ЕОМ входять (рисунок 3.3): універсальна плата збору аналогової та вводу/виводу цифрової інформації ЛА-1,5РСІ (рисунок 3.3 а); плата з'єднання, що передає аналоговий сигнал від датчиків до аналого-цифрового перетворювача АЦП (рисунок 3.3 б); датчики визначення якості роботи апарату (рисунок 3.3, в).



а



б



в

Рис. 3.3. Цифрова вимірювальна апаратура: а - Плата ЛА-1,5 РСІ; б – плата сполучення; в – датчики

Датчик являє собою фототранзистор ФТ-2КБ, який реєструє світлове випромінювання від світлодіода, що розташовується навпроти чутливої частини фототранзистора. Фототранзистор і світлодіод підключені за допомогою

екранованих дротів в підсилювальну схему. Сигнал від датчиків йде через плату пару на АЦП.

Три фотодатчики розташовуються на корпусі висівного апарату відповідно до схеми, представленій рис. 3.4. Датчик 1 призначений визначення кількості нульових подач. Він встановлюється після зони впливу скидувача на насіння. Датчик 2 призначений для визначення загальної кількості комірок за повторність досвіду (для спрощення схеми деякі конструктивні частини апарату, в тому числі і кришка з розташованими в ній світлодіодами датчиків 1 і 2, не зображені). Датчик 3 реєструє частоту висіву насіння.

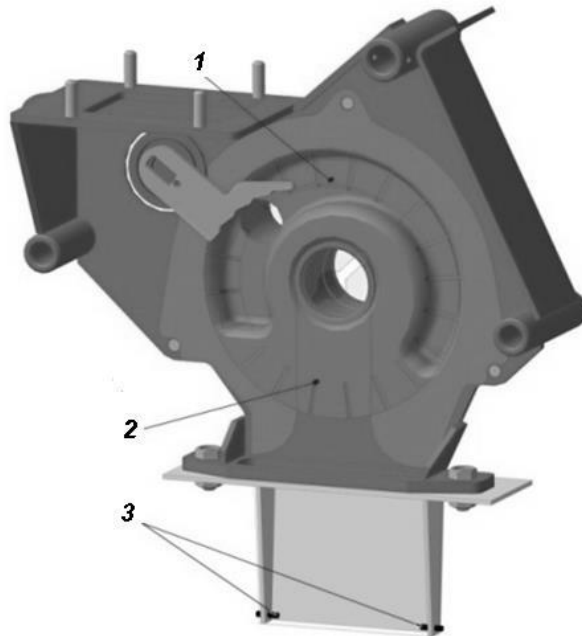


Рис. 3.4. Схема розміщення фотодатчиків на висівному апараті. Регулювання частоти обертання висівного диска пневматичного висівного апарату проводиться за допомогою модуля управління 4 універсального комп'ютеризованого стенду шляхом зміни частоти обертання електродвигуна постійного струму 3 (див. рис. 3.1).

Підтримка необхідного рівня розрядження у вакуумній камері висівного апарату здійснюється дросельною заслінкою генератора зниженого тиску 6 (див. рис 3.1).

Порівняльна оцінка функціонування вакуумних висівних апаратів із серійними та радіальними дозуючими елементами проводилася на основі

апарату сівалки МС-8 при висіві соняшника сорту Лакомка та кукурудзи РІК340МВ. Для дозування насіння соняшника використовувалися серійний висівний диск з діаметром (d) отворів, що присмоктують, 3 мм і пропонований диск з радіально розташованими дозуючими елементами шириною (t_E) 2 мм. Дозування кукурудзи здійснювалося серійним висівним диском з отворами, що присмоктують, діаметром 5 мм і пропонованим диском з шириною дозуючих елементів $t_E = 3$ мм. Ширина вакуумної камери пропонованої прокладки в середній частині зони впливу скидання «зайвого» насіння 6 мм.

Досліди проводилися у триразовій повторності при розрідженні у вакуумній камері 4,0 та 4,5 кПа при дозуванні соняшника та кукурудзи відповідно. Частота обертання висівного диска становила $0,7\text{с}^{-1}$.

Параметри та їх позначення, що визначаються в експерименті: P_0 – середня частина нульових подач, %; P_1 – середня частина одиничних подач, %; P_2 – середня частина подвійних подач, %; σ_{CP} – середнє квадратичне відхилення подачі насіння, шт.; M – середня подача насіння дозуючими елементами, прим.; V – коефіцієнт варіації, %.

Значення оброблених експериментальних даних представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна оцінка якості роботи серійного та пропонованого вакуумних висівних апаратів

Тип апарату	Культура	Дозуючий елемент	P_0 , %	P_1 , %	P_2 , %	σ_{CP} , шт.	M , шт.	V , %
Серійний	Соняшник	$d = 3$ мм	1,9	94,9	3,2	0,23	1,01	22,2
	Кукурудза	$d = 5$ мм	1,7	95,9	2,4	0,20	1,01	20,1
Пропонований	Соняшник	$t_E = 2$ мм	2,0	98,0	0	0,14	0,98	13,9
	Кукурудза	$t_E = 3$ мм	0	98,0	2,0	0,17	1,02	16,2

Аналіз даних таблиці 3.1 дає можливість зробити висновок про те, що пропонований вакуумний висівний апарат дозволяє підвищити якість одиничної подачі в 1,03 та 1,02 рази при висіві соняшнику та кукурудзи відповідно. При цьому його коефіцієнт варіації в 1,60 рази при висіві соняшника і в 1,24 рази при висіві кукурудзи менше, ніж у серійного вакуумного висівного апарату. При

цьому він забезпечує зниження коефіцієнта варіації подачі насіння з 222 до 139% при висіві соняшника і з 201 до 162% при висіві кукурудзи.

Однак функціональні можливості запропонованої конструкції можна розширити шляхом визначення адаптивної геометрії елементів, що дозують, з метою дозування ними і соняшника і кукурудзи.

З метою перевірки впливу запропонованої конструкції вакуумного висівного апарату на рівномірність розподілу насіння в борозні в лабораторних умовах був проведений порівняльний висів досліджуваних культур. При цьому приймалися наступні параметри роботи апарату, що висіває: частота обертання висівного диска $n = 0,7 \text{ с}^{-1}$. Число подач кожної повторності - 80 шт. Для отримання статистично достовірних результатів досвідчених даних кожен досвід проводився у десяти повторно.

При цьому під висіваючим апаратом розташовувалася пориста секція для уловлювання розподіленого насіння з осередками квадратного перерізу $25 \times 25 \text{ мм}$ (рис. 3.5).

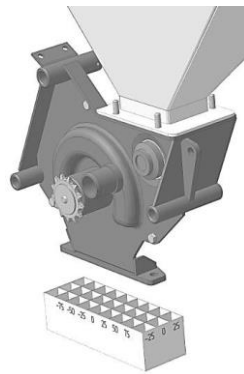


Рис. 3.5. Положення пористої секції щодо вакуумного висівного апарату

За результатами лабораторних експериментів було визначено середнє значення подачі насіння до кожного осередку за 10 повторностей. При цьому прийняті наступні позначення: n - частота обертання диска, що висіває, с^{-1} ; M_i - середня подача насіння в i -му осередку короба, шт.; P_i - частота подачі в i -му осередку короба, %; σ_{P_i} - середньоквадратичне відхилення подачі насіння за повторностями, мм; a_{P_i} - помилка досвіду, %; m_{P_i} - відносна помилка досвіду, %.

Отримані та оброблені в результаті лабораторних експериментів дані представлені графічно на рисунках 3.6 та 3.7.

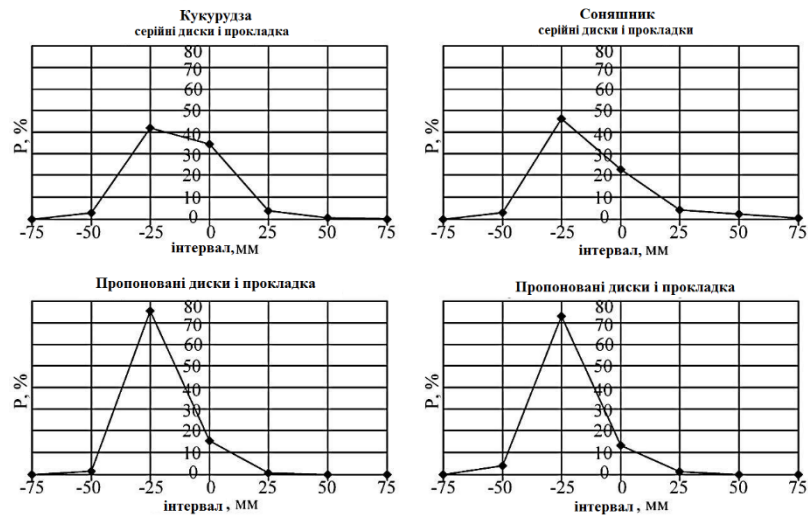


Рис. 3.6. Подача насіння на середньому ряді діапазону поздовжніх рядів

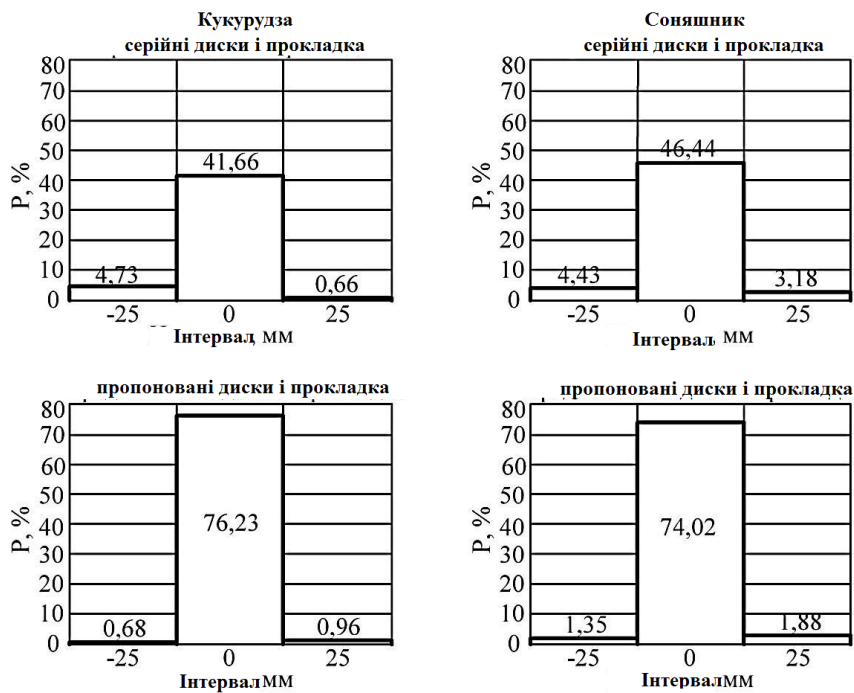


Рис. 3.7. Подача насіння на середньому ряді діапазону поперечних рядів

Аналізуючи графіки, представлені на рисунках 3.6 і 3.7, можна зробити такі висновки: при частоті обертання висівного диска $0,7 \text{ с}^{-1}$ (відповідає робочій швидкості руху сівалки 9 км/год) середнє квадратичне відхилення розподілу насіння (без урахування їх можливого перекочування в борозні) у поздовжньому напрямку у серійного вакуумного висівного апарату склало $14,1 \text{ мм}$ при висіві насіння кукурудзи та $16,1 \text{ мм}$ для соняшника, а у пропонованого

12,4 мм для кукурудзи та 11,4 мм для соняшника. Таким чином, середнє квадратичне відхилення розкиду насіння пропонованим вакуумним висівним апаратом менше, ніж під час роботи серійного апарату для кукурудзи на 12%, а для соняшника на 29%. Це досягається тому, що ширина дозуючого елемента пропонованого вакуумного висівного апарату значно менше, ніж діаметр серійного отвору.

Середнє квадратичне відхилення розкиду насіння по ширині сошника на серійному апараті склало 6,4 мм для кукурудзи і 7 мм для соняшника, а у пропонованого висівного апарату 3,7 мм для кукурудзи та 4,8 мм для соняшника. Таким чином, середнє квадратичне відхилення розкиду насіння кукурудзи по ширині сошника у пропонованого вакуумного висіваючого апарату на 42 і 31% відповідно менше, ніж у серійного.

Таким чином, можна зробити висновок, що застосування пропонованого вакуумного висівного апарату дозволить підвищити рівномірність подачі насіння в борозну в середньому на 12-29% по довжині умовного рядка і на 30-40% по ширині.

Для визначення якості роботи вакуумних висівних апаратів на підвищених швидкостях був проведений ряд порівняльних дослідів при частотах обертання висівного диска (n) приблизно відповідних робочим швидкостям руху посівного агрегату $V_P = 13$ км/год, $V_P = 15$ км/год та $V_P = 17$ км/год.

Вакуумний висівний апарат налаштовувався за експлуатаційними рекомендаціями. Кількість повторностей кожного досвіду – 3, кількість подач насіння у кожній повторності – 300 шт. Результати досліджень представлені у таблиці 3.2.

За результатами експериментальних даних визначалися:

M – середня подача насіння одним дозуючим елементом, прим.;

σ_M – середнє квадратичне відхилення від середньої подачі насіння за повторюваностями, прим.;

V – коефіцієнт варіації середньої подачі, %;

a – абсолютна помилка досвіду, прим.;

m – відносна помилка досвіду, %.

Аналіз результатів експериментів показав, що запропонована конструкція дозуючих елементів вакуумного висівного апарату забезпечує при частотах обертання висівного диска 1,0 с⁻¹ підвищення подачі насіння порівняно з серійним з 0,91 до 0,94 для соняшнику та з 0,83 до 0,95 для кукурудзи.

Таблиця 3.2 – Результати експериментальних досліджень серійного та пропонованого вакуумних висівних апаратів

Тип апарату	Культура	n, c^{-1}	$M, шт.$	$P, \%$	$\sigma_M, шт.$	$V, \%$	$a, шт.$	$m, \%$
Серійний	Соняшник	1,0	274,3	91,4	2,4	1,0	14,0	0,0
		1,2	263,0	87,7	2,9	1,0	17,0	0,1
		1,4	224,3	74,8	4,2	2,0	24,0	0,1
	Кукурудза	1,0	250,0	83,3	1,7	1,0	10,0	0,0
		1,2	212,0	70,7	3,3	2,0	19,0	0,1
		1,4	153,7	51,2	9,2	6,0	53,0	0,3
Пропонований	Соняшник	1,0	285,7	94,3	4,9	2,0	29,0	0,1
		1,2	271,3	92,9	4,7	2,0	27,0	0,1
		1,4	228,7	87,6	19,6	9,0	113,0	0,5
	Кукурудза	1,0	283,0	95,2	1,9	1,0	11,0	0,0
		1,2	278,7	90,4	6,2	2,0	35,0	0,1
		1,4	262,7	76,2	20,4	8,0	118,0	0,4

Для вивчення явища травмування насіння соняшника пропонованими висівними дисками на лабораторному стенді проведено ряд порівняльних дослідів при частотах обертання висівного диска $n = 0,45, 0,7, 1,0 c^{-1}$. За одну повторність висівалося близько 50 г насіння. Кожен досвід проводився в п'яти повторностях при використанні серійного висівного диска з діаметром дозуючих елементів 3 мм і пропонованого із шириною дозуючих елементів (t_E) 2,5 мм. Для виключення можливого накопичення пошкодженого насіння в насінневій камері апарату після кожної повторності вакуумний висівний апарат звільнявся від пошкодженого насіннєвого матеріалу.

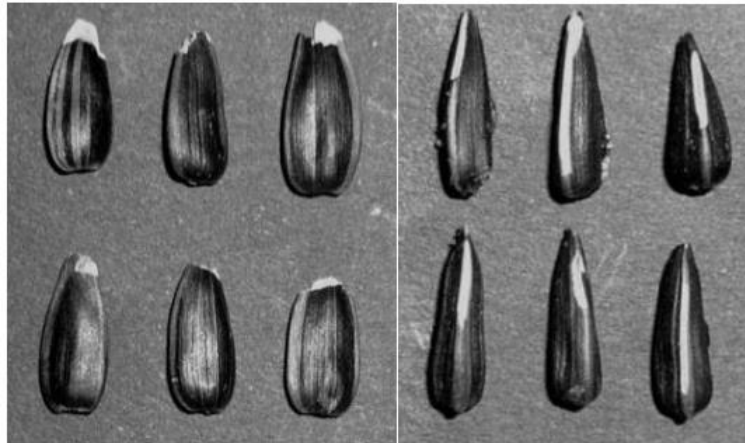
У табл. 3.3 представлені результати досліджень травмування насіння соняшника серійним (діаметр дозуючих елементів 3 мм) та пропонованим висівними дисками (ширина дозуючих елементів $t_E = 2,5$ мм).

Таблиця 3.3 – Пошкодження насіння соняшника серійним та пропонованим висівними дисками

n , c^{-1}	№ n/n	N_i , шт.		N_{CP} , шт.	
		$d = 3$ мм	$t_e = 2,5$ мм	$d = 3$ мм	$t_e = 2,5$ мм
1	2	3	4	5	6
0,5	1	11	9	7,8	9,6
	2	5	10		
	3	5	8		
	4	10	12		
	5	8	9		
0,7	1	4	8	4,2	9,0
	2	3	12		
	3	5	9		
	4	6	4		
	5	3	12		
1,0	1	2	7	2,6	6,2
	2	5	4		
	3	2	6		
	4	1	8		
	5	5	6		

У таблиці прийняті наступні позначення: n – ча стога обертання висіваючого диска, c^{-1} ; № п/п – номер повторності; N_i - кількість пошкоджених насіння в i -ї повторності, шт.; N_{CP} – середня кількість пошкодженого насіння за кожною з п'яти повторностей, прим.; d – діаметр дозуючих елементів, мм; t_E – ширина радіальних елементів, що дозують, мм.

Досліди з пророщування висіяного насіння показали, що насіння з пошкодженою оболонкою (рис. 3.8) приблизно на 10% проростає активніше, ніж цілі насіння (рис. 3.9 а). При цьому швидкість розвитку зародків пошкодженого насіння вище (рис. 3.9 б).



а) носик пошкоджений б) бік пошкоджений

Рис. 3.8. Характер пошкодження насіння дозуючими елементами серійного (а) та модернізованого (б) висівних дисків

Досліди показали, що кількість травмованого насіння та серійним та пропонованим вакуумними висівними апаратами перевищує встановлену агрономогами. Однак на схожості насіння це не позначилося. Більше того, експерименти показали, що схожість пошкодженого насіння була в середньому на 10% вищою, ніж у непошкоджених. Очевидно, це пов'язано з ефектом скарифікації, що виникає – у пошкодженому насінні менше енергії витрачається на руйнування оболонки.

Таким чином, порівняльні випробування серійного та пропонованого вакуумних висівних апаратів сівалки МС-8 дозволяють зробити висновок про перспективність запропонованої конструкції для проведення посіву на підвищених швидкостях.

Дослідження впливу основних факторів на роботу вакуумного висівного апарату

З використанням комп'ютеризованого стенду були проведені дослідження впливу деяких факторів на процес висіву насіння аналізованих культур пропонованим вакуумним висівним апаратом.

На підставі аналізу попередніх досліджень було виявлено основні фактори, що впливають на процес дозування насіння:

- ✓ розрідження у вакуумній камері висівного апарату;

- ✓ ширина дозуючих елементів;
- ✓ радіальний розмір вирізу у прокладанні вакуумної камери;
- ✓ частота обертання висівного диска та інші.

У процесі підготовчої роботи було визначено основні чинники. До них відносяться: розрідження у вакуумній камері висівного апарату, розмір елементів, що дозують, геометрична форма вакуумної камери, число дозуючих елементів. У зв'язку з рекомендаціями заводу-виробника пневматичної сівалки вакуумного типу, що обмежують

швидкість проведення посіву до 9 км/год, експерименти проводилися за відповідної частоти обертання висівного диска $0,7 \text{ c}^{-1}$.

Для дослідження впливу основних факторів на якісні показники процесу висіву – частину одиничних подач насіння, було проведено повний факторний експеримент з матриці ортогонального плану другого порядку (таблиця 3.4). Чинники та рівні їх варіювання представлені у таблиці 3.5.

Кодовані значення факторів знаходять за формулами:

$$X1_{\text{нод}} = \frac{H_{\text{нод}} - 4}{0,5}, \quad (3.1)$$

$$X1_{\text{ок}} = \frac{H_{\text{ок}} - 4,5}{0,5}, \quad (3.2)$$

$$X2 = \frac{h - 6}{1}, \quad (3.3)$$

$$X3 = \frac{t_2 - 2,5}{0,5}. \quad (3.4)$$

Таблиця 3.4 - План експерименту з матриці ортогонального плану другого порядку

Номер досліджу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>X1</i>	0	+	-	-	+	+	+	-	-	0	0	0	0	0	0
<i>X2</i>	0	-	+	-	+	0	0	0	0	0	+	+	-	-	0
<i>X3</i>	0	0	0	0	0	+	-	+	-	0	+	-	+	-	0

Інші фактори під час проведення повного факторного експерименту приймалися на нульовому рівні:

– кількість дозуючих елементів у висівному диску 20 шт.;

- наповнення бункера висівного апарату насінням - $\frac{3}{4}$ обсягу.

Таблиця 3.5 – Рівні варіювання факторів

Назва фактора	Позначення	Інтервал варіювання	Рівні факторів		
			нижній	нульовий	верхній
Розрідження (H , кПа)	$X1$	0,5	3,5* (4,0)**	4,0* (4,5)**	4,5* (5,0)**
Ширина вакуумної камери в зоні розташування середньої частини скидачі «зайвого» насіння (h , мм)	$X2$	1	5,0	6,0	7,0
Ширина дозуючого елемента (t_e , мм)	$X3$	0,5	2,0	2,5	3,0

За результатами багатофакторного експерименту визначалися коефіцієнти регресії та рівняння регресії у кодованому, а потім у натуральному вигляді.

Перевірка однорідності дисперсій проводилася за критерієм Кохрена.

Перевірка гіпотези важливості коефіцієнтів регресії проводилася критерієм Стьюдента.

Перевірка адекватності математичної моделі проводилася критерієм Фішера.

Рівень значущості приймався = 0,05.

Було проведено аналіз отриманих результатів багатофакторного експерименту шляхом графічної побудови тривимірних графіків поверхонь та ліній рівного рівня.

Результати експериментальних досліджень, метою яких було виявлення адаптивних параметрів для висіву соняшника та кукурудзи одним вакуумним висівним апаратом, оброблені за допомогою пакета комп'ютерних програм MathCAD та Microsoft Office Excel (таблиці 3.6, 3.7). При цьому були прийняті такі позначення: n - частота обертання висівного диска, c^{-1} ; M_i – середня подача насіння в i -му осередку короба, шт.; P_i – частота подачі в i -му осередку короба; σ_{P_i} – середньоквадратичне відхилення подачі насіння за повторностями, мм; a_{P_i} – помилка досвіду, %; m_{P_i} – відносна помилка досвіду, %.

Таблиця 3.6 – Подача насіння соняшника пропонованим вакуумним висівним апаратом

№ п/п	Рівень фактора			P_{0cp}	P_{1cp}	P_{2cp}	σ_{cp} , шт.	M_{cp} , шт.	V_{cp} , %
	X1	X2	X3						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0,02	0,93	0,04	0,26	1,02	25,16
2	1	-1	0	0,02	0,95	0,03	0,22	1,02	21,72
3	-1	1	0	0,02	0,94	0,04	0,24	1,01	24,14
4	-1	-1	0	0,02	0,94	0,03	0,24	1,01	23,22
5	1	1	0	0,01	0,91	0,08	0,29	1,06	27,22
6	1	0	1	0,02	0,94	0,04	0,25	1,02	24,51
7	1	0	-1	0,04	0,96	0,01	0,18	0,95	19,11
8	-1	0	1	0,05	0,95	0,00	0,22	0,95	23,21
9	-1	0	-1	0,05	0,97	0,03	0,14	0,92	14,99
10	0	0	0	0,02	0,94	0,04	0,25	1,02	24,38
11	0	1	1	0,02	0,97	0,01	0,17	0,99	16,78
12	0	1	-1	0,04	0,97	0,01	0,16	0,95	16,38
13	0	-1	1	0,02	0,96	0,01	0,19	0,99	18,97
14	0	-1	-1	0,02	0,98	0,00	0,14	0,98	13,88
15	0	0	0	0,02	0,93	0,05	0,26	1,03	24,94

Таблиця 3.7 – Подача насіння кукурудзи пропонованим висівним апаратом

№ п/п	Рівень фактора			P_{0cp}	P_{1cp}	P_{2cp}	σ_{cp} , шт.	M_{cp} , шт.	V_{cp} , %
	X1	X2	X3						
1	0	0	0	0,01	0,98	0,01	0,15	1,01	14,40
2	1	-1	0	0,02	0,89	0,09	0,32	1,08	29,65
3	-1	1	0	0,01	0,90	0,08	0,30	1,07	27,98
4	-1	-1	0	0,07	0,88	0,05	0,35	0,98	35,75
5	1	1	0	0,00	0,95	0,05	0,21	1,05	20,36
6	1	0	1	0,00	0,94	0,06	0,23	1,06	21,88
7	1	0	-1	0,04	0,95	0,00	0,21	0,96	22,10
8	-1	0	1	0,00	0,97	0,03	0,17	1,02	17,12
9	-1	0	-1	0,11	0,86	0,03	0,37	0,92	39,73
10	0	0	0	0,01	0,98	0,01	0,14	1,01	13,99
11	0	1	1	0,00	0,97	0,02	0,17	1,02	16,19
12	0	1	-1	0,05	0,91	0,04	0,30	0,98	30,24
13	0	-1	1	0,05	0,92	0,03	0,28	0,98	28,51
14	0	-1	-1	0,17	0,83	0,00	0,38	0,83	45,08
15	0	0	0	0,01	0,98	0,02	0,16	1,01	15,42

Спільний аналіз, дозволяє зробити висновок про те, що раціональними параметрами запропонованого висівного апарату, що дозволяє без заміни диска висівати насіння та кукурудзи та соняшнику, є: ширина дозуючого елемента $t_E = 2,5$ мм, ширина щілини вакуумної камери в зоні розташування середньої частини скидачі «зайвого» насіння $h = 6$ мм. При висіві соняшника розрідження у вакуумній камері необхідно знижувати до $H \leq 4$ кПа, при висіві кукурудзи – збільшувати до $H \geq 4,5$ кПа.

Апробація запропонованого вакуумного висівного апарату в польових умовах проводилася при експериментальному висіві насіння соняшнику сорту Ласун першої репродукції на полях селянсько-фермерського господарства машинно-тракторним агрегатом у складі трактора МТЗ-82 та просапної сівалки МС-8. Швидкість руху посівного агрегату складала 9 км/год, норма висіву – 70 тис. шт/га. Розрідження у вакуумних камерах висівних апаратів, що створюється ежектором, 4,0 кПа.

Для наочності на сівалці чотири висівні апарати модернізувалися, а решта – ні.

Оцінка якості роботи висівних апаратів проводилася за такими показниками: l – середня відстань між насінням у рядку, мм; σ – середнє квадратичне відхилення від середньої відстані між насінням, мм; V – коефіцієнт варіації, %; m – абсолютна помилка досвіду.



Рис. 3.9. Експериментальний машинно-тракторний агрегат для посіву просапних культур

Результати розподілу рослин у рядках представлені у таблиці 3.8 та на рисунку 3.10.

Таблиця 3.8 – Результати апробації висівних апаратів у польових умовах

Тип апарату	l_{ep} , см	σ , см	V , %	$m \sigma$, см	m_V , %
Серійний	19,7	16,8	85,3	1,68	13,42
Пропонований	19,7	9,7	49,2	0,97	5,95

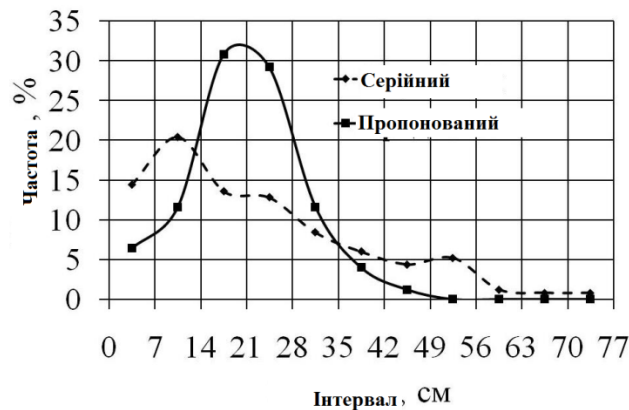


Рис. 3.10. Розподіл рослин у рядках, висіяних серійними та пропонованими вакуумними висівними апаратами.

Висновки по розділу

Аналіз польового експерименту дозволяє стверджувати, що пропонований вакуумний висівний апарат на швидкостях посіву близько 13 км/год зменшує нерівномірність розподілу рослин у рядку майже в 1,5 рази в порівнянні з серійним і максимально наближає розподіл насіння до необхідного відповідно до технології вирощування культури.

Таким чином, порівняльні випробування серійного та пропонованого вакуумних висівних апаратів сівалки МС-8 дозволяють зробити висновок про перспективність запропонованої конструкції для посіву.

ВИСНОВОК

Порівняльна оцінка функціонування вакуумних висівних апаратів у лабораторних умовах показала, що якість одиначної подачі насіння пропонуваним апаратом вище, ніж у серійного в 1,03 та 1,02 рази при висіві соняшнику та кукурудзи відповідно. При цьому його коефіцієнт варіації в 1,60 рази при висіві соняшника і в 1,24 рази при висіві кукурудзи менше, ніж у серійного вакуумного висівного апарату. Крім того, застосування пропонуваного вакуумного висівного апарату дозволило підвищити рівномірність розподілу насіння в борозні в середньому на 12-29% по довжині умовного рядка і на 30-40% по ширині.

Всі запропоновані модернізації дозволяють збільшити ймовірність захоплення насіння дозуючими елементами та винесення їх із загального шару, однак вони ж призводять до зростання ймовірності появи подвійних і навіть потрійних подач насіння. Для подолання цього явища пропонується змінити конструкцію скидника «зайвого» насіння таким чином, щоб кут між його робочою гранню і гранню, що примикає до висівного диска на початку першого по ходу руху насіння виступу, був гостри. Надалі він повинен плавно збільшуватися в напрямку обертання висівного диска так, щоб у середній частині скидання «зайвого» насіння набув значення 90° . При цьому кут установки робочих граней скидача до траєкторії руху насіння повинен бути приблизно дорівнює куту тертя насіння його поверхню.

Застосування в польових умовах одночасно пневмоворушіння насіння та модернізованого скидувача «зайвого» насіння в апаратах сівалки МС-8 дозволило знизити величину середнього значення коефіцієнта варіації розподілу рослин у рядку на 44%, порівняно з посівом здійсненим серійними апаратами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Київ : Каравела, 2004. 580 с.
2. Аніскевич Л. В., Росамаха Ю. О. Конструктивні особливості сошникових систем сучасних сівалок та їх відповідність вимогам точного землеробства. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 241. С. 270–279.
3. Аніскевич Л. В., Росамаха Ю. О. Імітаційне моделювання процесів функціонування двофазної сошникової системи. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2017. Вип. 275. С. 188–200.
4. Зернові сівалки ПАТ «Elvorti». URL: <http://www.elvorti.com/index.php?part=production&lang=ru#tab3> (дата звернення 25.11.2017).
5. Інструкції з експлуатації посівної техніки Great Plains. URL: <https://www.greatplainsmfg.com.ua/ru/node/2599> (дата звернення 25.11.2017).
6. Каталог техніки. Сеялки точного висева John Deere. URL: http://origin-www.deere.ua/uk_UA/docs/product/equipment/seeding/db_series/specs/1014608_Planters_RUS.pdf. (дата звернення 25.11.2017).
7. Сало В.М. Загортаючі робочі органи для прямої сівби зернових культур : монографія. Кіровоград : СПД ФО Лисенко В. Ф., 2012. 164 С.
8. Алдошин О. Б. Аналіз основних типів сівалок для прямої сівби зернових культур. *Досягнення та перспективи галузі сільськогосподарського виробництва* : зб. тез доп. : наук.- практи. конф., Кіровоград, 15-17 квіт. 2015 р. Кіровоград : КНТУ, 2015. С. 10-12.
9. Ясенєцький В. Тенденції розвитку конструкцій сівалок. *Пропозиція*. 2011. № 1. С. 18–27.

10. Адамчук В.В. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки. Київ : Аграрна наука. 2004. 396 С.

11. Герук С.М. Тенденції розвитку конструкцій посівних агрегатів. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2014. № 1. С. 31–45.

12. Адамчук В. В. Формування і розвиток ринку сільськогосподарської техніки в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2013. №7. С. 5-9

13. Пастухов В. І. Перспективні напрямки модернізації зернових сівалок. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2014. Вип. 148. С. 77-81.

14. Шмат С. І. Напрямки підвищення ефективності роботи сошників просапних сівалок. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2009. Вип. 22. С. 374-376.

15. Свірень М. О. Науково-технологічні основи підвищення ефективності роботи висівних апаратів посівних машин : Автореф. дис.... д. т н. КНТУ, Кіровоград, 2012. 36 с.