МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

А.І. Бойко, П.С. Попик

РОЗРОБКА ПНЕВМОМЕХАНІЧНОГО АПАРАТА ТОЧНОГО ВИСІВУ З АКТИВНОЮ КОМІРКОЮ СПРЯМОВАНОЇ ДІЇ

Монографія

ТОВ «Видавничо-поліграфічний дім «ФОРМАТ»
Київ – 2017

УДК 631.331.85
ББК 40.724
О - 13

Автори:
А.І. Бойко, доктор технічних наук;
П.С. Попик, кандидат технічних наук.

Рецензенти:
Адамчук В.В., доктор технічних наук, професор (Національний науковий центр "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства").
Аніскевич Л.В., доктор технічних наук, професор (Національний університет біоресурсів і природокористування України).
Рекомендовано до друку: Вченою радою Національного університету біоресурсів і природокористування України, (протокол № 2 від 27 вересня 2017 року).
Бойко А.І.
Розробка пневмомеханічного апарата точного висіву з активною коміркою спрямованої дії. Монографія / А.І. Бойко, П.С. Попик. – ТОВ «Видавничо-поліграфічний дім «ФОРМАТ», 2017. – 162 с.
ISBN 978-966-1617-20-8

У монографії проаналізована і представлена можливість підвищення надійності технологічного процесу дозування насіння пневмомеханічним висівним апаратом з дозатором спрямованої дії.
Важливою операцією, що суттєво впливає на майбутню врожайність технічних культур, є своєчасне і раціональне проведення посівних робіт. Оптимальні умови проростання технічних культур забезпечуються шляхом надання насінині необхідної площі живлення.
Проблема точності і надійності виконання технологічного процесу висіву технічних культур набуває ще більшої актуальності з підвищенням швидкості руху посівних агрегатів та збільшенням їх функціонального навантаження. Результатом останніх тенденцій розвитку посівних технологій і, відповідно, техніки для їх реалізації, стала потреба в нових рішеннях висівних апаратів, направлених на підвищення точності їх роботи.
В зв'язку з цим вкрай необхідною проблемою є дослідження технологічного процесу дозування насіння з послідуючим висівом та розробкою нового пневмомеханічного висівного апарата, що і визначило актуальність даної теми.
Розроблено і запропоновано конструкцію пневмомеханічного висівного апарата з дозатором спрямованої дії.
Рекомендовано науковцям, аспірантам, студентам та інженерним працівникам.

ISBN 978-966-1617-20-8

УДК 631.331.
ББК 40.724
© Бойко А.І., © Попик П.С., 2017

© НУБіП України, 2017

ЗМІСТ

ВСТУП…….…… 6

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ НАПРАВЛЕНИХ НА ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИСІВУ ОСНОВНИХ ТЕХНІЧНИХ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР……..……... 7

1.1. Шляхи підвищення якості висіву при вирощуванні сільськогосподарських просапних технічних культур…….... 7

1.2. Способи і технології сівби та агровимоги до посіву технічних культур…….……... 9

1.3. Історія розвитку конструкцій висівних апаратів сівалок та їх патентний огляд…….. 14

1.3.1. Особливості конструкцій висівних апаратів, які застосовують для посіву технічних просапних культур…… 24

1.4. Короткий опис пневмомеханічних сівалок для точного висіву технічних культур ……..... 29

Задачі досліджень……..… 49

2. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ НАСІНИН ПНЕВМОМЕХАНІЧНИМ АПАРАТОМ З КОМІРКОЮ НАПРАВЛЕНОЇ ДІЇ……..…… 50

2.1. Опис пневмомеханічного апарата з торцевим розташуванням комірок направленої дії……..... 50

2.2. Дослідження закономірності зміни присмоктуючої сили від відстані до комірки…..…….. 53

2.3. Теорія захвату насінин присмоктуючою коміркою дозатора...….. 58

2.4. Аналіз зусиль, що діють на насінини при переміщенні їх дозуючим елементом з орієнтованою коміркою…… 66

2.5. Визначення умов скидання зайвих насінин пневмомеханічним висівним апаратом з периферійним торцевим розташуванням присмоктуючих комірок…… 70
2.6. Скидання основної насінини при формуванні регулярного потоку…….. 78
Висновки……..……...…… 81
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ….. 82
3.1. Програма експериментальних досліджень……... 82
3.2. Опис експериментальної установки та методика проведення лабораторних досліджень по встановленню силових факторів діючих на насінини в пневмомеханічних висівних апаратах…… 82
3.3. Опис експериментальної установки для проведення лабораторних досліджень точності виконання процесу дозування насіння……..... 85
3.4. Методика лабораторних досліджень надійності виконання технологічного процесу висіву пневмомеханічним апаратом з дозатором направленої дії……..... 89
3.5. Доопрацювання пневмомеханічного висівного апарата сівалки СТВТ-12/8М з внесенням в конструкцію дозатора направленої дії……..... 93
3.6. Методика проведення польових досліджень точності висіву експериментальним пневмомеханічним апаратом……..... 97
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОЗУВАННЯ І ТОЧНОСТІ ВИСІВУ ПНЕВМОМЕХАНІЧНИМ АПАРАТОМ З НАПРАВЛЕНИМ ВЕКТОРОМ ПРИСМОКТУВАННЯ НАСІНИН…… 101
4.1. Опис форми і стану поверхонь насіння основних технічних культур……..……..…..... 101

4.2. Дослідження дії присмоктувальної сили на ефективність захвату окремих насінин…… 103
4.3. Вплив розрідження на пропуски при висіві насінин……... 107
4.4. Вплив розрідження на утворення двійників…..…….. 109
4.5. Вплив швидкості переміщення дозуючого елемента на пропуски……...…..…. 111
4.6. Вплив швидкості переміщення дозуючого елемента на утворення двійників…….. 112
4.7. Дослідження впливу розрідження на появу пропусків для насіння основних технічних культур.…….... 115
4.8. Дослідження впливу розрідження на виникнення двійників насіння основних технічних культур……... 116
4.9. Дослідження впливу швидкості на утворення пропусків насіння основних технічних культур……. 118
4.10. Дослідження впливу швидкості на виникнення двійників при висіві насіння основних технічних культур…… 119
4.11. Порівняльні експлуатаційні випробування точності висіву пневмомеханічним апаратом з направленим вектором присмоктування…… 121
Висновки ……..……..... 124
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..…….…….. 125
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..…….. 127
ДОДАТКИ……..... 139

ВСТУП

Європейський напрямок розвитку України передбачає впровадження в сільськогосподарське виробництво передових заощаджуючих і енергозберігаючих технологій. Їх реалізація можлива на основі вдосконалення існуючих і розробки нового покоління машин і їх комплексів.

Рослинництво є провідним сектором в сільському господарстві, а операції посіву закладають основу майбутньому врожаю культур.

Для технічних культур оптимальними умовами розвитку рослин є їх взаємне рівномірне розташування в рядку, яке досягається шляхом виконання вимог до необхідної точності посіву.

В напрямку підвищення точності посіву проведена велика кількість досліджень і розроблено ряд перспективних апаратів. Отримані результати в певній мірі задовольняють агровимоги на посів технічних культур, однак на сьогоднішній день не представляється можливим стверджувати, що проблема повністю вичерпана. Подальші дослідження в цьому напрямку залишаються актуальними, а їх позитивні результати відкривають перспективи економії не тільки посівного матеріалу, але також підвищення загальної врожайності культур.

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ НАПРАВЛЕНИХ НА ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИСІВУ ОСНОВНИХ ТЕХНІЧНИХ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР

1.1. Шляхи підвищення якості висіву при вирощуванні сільськогосподарських просапних технічних культур

Сільське господарство України є одною з основних галузей народного господарства, яка відіграє важливу роль у житті суспільства [1]. Розвиток економіки країни вимагає і буде продовжувати вимагати систематичного збільшення виробництва сільськогосподарських продуктів і сировини. Деяке збільшення сільськогосподарської продукції в минулому сторіччі досягнуто завдяки поліпшенню сортів культур, більш ефективному використанню добрив та розвитку агротехніки. Однак головним чинником стало зростання використання більш продуктивних машин та знарядь [49].

Аграрна промисловість України має дві тісно пов’язані між собою галузі виробництва – рослинництво та тваринництво. Ефективний розвиток цих галузей є гарантом продовольчої безпеки держави, оскільки задовольняє зростаючі потреби населення у продуктах харчування.

У зв’язку зі зниженням поголів’я худоби в останні роки, галузь рослинництва в нашій країні набула домінуючого значення [2].

В Україні вирощують три основні групи сільськогосподарських культур – зернові, технічні та кормові. За інформацією Департаменту землеробства Мінагропроду України в структурі посівних площ під урожай 2014 року зернові культури займають 58,2 %, технічні – 26,2 %, кормові – 8,5 %, та 7,0 % – овоче-баштанні культури. Деякі незначні площі займають ефіроолійні та лікарські культури. Серед зернових і зернобобових культур головними є пшениця, ячмінь, кукурудза, овес, жито, просо, гречка, горох. Менші невеликі площі займають сорго, соя, нут, квасоля, сочевиця та деякі ін. З

технічних культур вирощують цукрові буряки і соняшник, ріпак, картоплю, льон, хміль, тютюн і махорку. Найбільша за кількістю рослин є група кормових культур. Це багаторічні й однорічні трави, кукурудза, сорго, люцерна, конюшина, корені - та бульбоплоди, баштанні й деякі інші культури.

Ці основні групи польових культур вирощують в усіх зонах, проте співвідношення площ їх посіву неоднакове [3, 27].

Однією з найбільш важливих сільськогосподарських культур у фермерському господарстві є кукурудза, яка займає значні посівні площі.

Другою в Україні олійною культурою є ріпак, який за площею посіву та валовим виробництвом поступається лише соняшнику.

Для розкриття максимального потенціалу культури необхідно застосовувати сівалку, яка б виконувала рівномірний розподіл насіння по всій площі, з дотриманням норми висіву, загортаючи його на оптимальну глибину, забезпечувала б сприятливі умови для проростання та появи дружніх сходів, до того ж виконувала всі перераховані операції на високій швидкості з підвищеною продуктивністю без втрат точності та якості висіву [4].

Пневмомеханічні апарати, робота над якими була розпочата в 30-ті роки минулого століття, задовільно справляються з висівом некаліброваного насіння і насіння, яке має шорстку поверхню. До переваг пневмомеханічних апаратів слід віднести також їх високу універсальність, достатню простоту конструкції і надійність в роботі [13].

Ще однією з переваг пневматичних висівних апаратів є мала пошкоджуваність насіння при відборі його із загальної маси.

В останні роки для посіву все найбільше використовуються сівалки точного висіву, які відповідають вищесказаним вимогам та дозволяють впроваджувати інтенсивні та ресурсозберігаючі технології при вирощуванні сільськогосподарських культур. Перехід від швидкості посіву 5-9 км/год до 18 км/год із збереженням якості висіву є результатом плідної багаторічної роботи багатьох вчених.

Вагомий науковий вклад в розвиток посівної техніки внесений Желіговським В.О., Карпенком О.М., Василенком П.М., Лєтошневим М.М., Семеновим О.М. Ймовірності та закономірності посіву розкриті в роботах Басіна В.С. [106, 107, 111], Лурьє А.Б. [62], Кардашевського С.В. [55, 102].

В області вивчення процесу точного висіву просапних культур пневмомеханічними апаратами важливими є роботи Александрова В.І. [40], Босого Є.С. [63], Біньковського П.А. [38], Вальянова Д.Г. [42, 43, 94], Журавльова Б.І. [40, 71], Зеніна Л.С. [13, 72], Чічкіна В.П. [60], Будагова О.О. [53], Ма С.А. [57], Погорілого Л.В. [56, 105], Сисоліна П.В. [47], Шмата С.І. [31, 48], Бєлодєдова В.О. [67, 75, 99], Сахнова А.В. [14], Свіреня М.О. [18, 31], Амосова В.В. [76] та багатьох інших.

Результати проведених вченими досліджень лягли в основу розробки ряду сучасних висівних апаратів. Однак підвищення вимог до посіву і швидкостей виконання операцій ставлять нові вимоги і завдання по створенню апаратів для точного висіву насіння технічних культур.

1.2. Способи і технології сівби та агровимоги до посіву технічних культур

З року в рік в Україні зростає виробництво таких культур, як кукурудза, соняшник, соя, ріпак, і сорго, щорічні прирости посівних площ яких в останні сезони коливаються в межах 5-10 %.

Сівба з точки зору забезпечення її якості є надзвичайно важливою технологічною операцією, що значно впливає на врожайність [5].

Сівба сільськогосподарських культур – це єдиний виробничий процес, у якому поєднуються всі його елементи: спосіб сівби, глибина загортання насіння, строки сівби, норми висіву та ін.

Для отримання дружніх сходів використовують насіння, що відповідає вимогам стандарту на посівний матеріал. Насіння має бути відібране і сортове.

Перед посівом насіння додатково сортують і протруюють розчинами пестицидів, опушене насіння звільняють від волосків та інших домішок механічним або хімічним способом, щоб підвищити сипучість. Насіння також калібрують, розділяють на близькі за розмірами фракції, крім того можливе застосування дражування насіння, коли за допомогою клейкої речовини надають їм форму кулі, що сприяє кращому дозуванню і рівномірному розподілу насіння в ґрунті [8].

В нашій країні застосовують такі основні способи сівби та садіння сільськогосподарських культур: рядковий, вузькорядний, перехресний, розкидний, широкорядний, пунктирний, стрічковий, гніздовий і квадратно-гніздовий та ромбовий [30, 50].

Способи посіву сільськогосподарських культур залежать від біологічних особливостей, родючості і засміченості ґрунту, забезпечені вологою. При правильному способі посіву рослини рівномірно розміщуються на площі, що створює придатні умови для інтенсивного формування майбутнього врожаю. Спосіб посіву вибирають в залежності від ґрунто-кліматичних умов та особливостей сільськогосподарської культури.

Звичайний рядковий спосіб – це посів насіння з міжряддям від 10 до 25 см, вузькорядний має міжряддя менше 10 см, широкорядний – більше 30 см. При перехресному способі посіву насіння висівають рядковим способом в двох взаємно перпендикулярних напрямах з половинними нормами висіву.

Звичайним рядковим, вузькорядним і перехресним способами висівають рослини з невеликими площами живлення (зернові культури, окрім кукурудзи і сорго, зернобобові, багаторічні трави). Ці способи забезпечують рівномірний розподіл насіння на площі. Недоліком перехресного способу посіву є двократне засівання поля, що в свою чергу збільшує енергетичні затрати і приводить до руйнування структури ґрунту.

При розкидному способі сівби насіння в ґрунті розміщується без міжрядь. Виконують його вручну або розкидними сівалками. Цей спосіб

застосовують дуже рідко, здебільшого під час освоєння крутих схилів і засівання заболочених місць.

Широкорядний посів застосовують при вирощуванні культур, рослини яких вимагають великих площ живлення та інтенсивного освітлення сонячними променями (кукурудза, соняшник, картопля, цукровий буряк). Цукрові буряки висівається з міжряддями 45 см (при зрошенні і на торф'яних ґрунтах – 60 см), картопля, соняшник, кукурудзу – 70 см. На забур'янених ґрунтах широкорядним способом висівають просо і гречку. Культури, які вирощують широкорядним способом називають просапними. На посівах просапних культур періодично рихлять міжряддя для боротьби з бур'янами.

При стрічковому посіві насіння поміщають стрічками по 2-3 рядки з відстанню між ними 7,5-15 см, а між стрічками – 45-60 см. Стрічковим способом частіше висіваються культури, які вимагають гарного освітлення, повільно ростуть на початку вегетації і слабо конкурують з бур'янами. До таких культур відносяться просо, гречка та ін.

Пунктирний спосіб посіву – один з видів рядкового, з розміщенням насіння в рядках на певній відстані один від одного (пунктиром). При цьому способі створюються сприятливі умови ґрунтового і повітряного живлення рослин. Для посіву використовуються тільки калібрувальне насіння. В останні роки пунктирний посів отримав широке використання при вирощуванні кукурудзи, соняшнику та цукрових буряків.

Впровадження сівалок точного висіву та селекція однорості сортів цукрових буряків привели до економних витрат насіннєвого матеріалу.

Гніздова сівба застосовується, здебільшого, також при вирощуванні деяких просапних культур. Величина міжрядь така, як і при широкорядній сівбі. Відстань між гніздами залежить від культури і змінюється від 15 до 25 см, а інколи ще й більше. У кожне гніздо висівається по декілька штук насіння (дві-три насінини). При цьому способі економніше витрачається насіння, швидше з'являються сходи і полегшується догляд за рослинами механізованим способом.

При квадратно-гніздовому способі посіву насіння групами розміщується по кутах квадрата. Цим способом можна висівати всі культури широкорядного способу посіву – кукурудзу, сорго, соняшник, бавовник, баштанні культури та ін. При квадратно-гніздовому способі створюються найкращі умови для високого рівня механізованого догляду за посівами [6, 7, 30].

Ромбовий спосіб посіву отримав розповсюдження при вирощуванні кукурудзи і соняшника, при якому насіння розміщується по кутам ромба, що допускає міжрядний обробіток ґрунту проводити в трьох і навіть в чотирьох напрямках [8, 9].

Тому головна задача сівби полягає в оптимальному розміщенні насіння в ґрунті, яке забезпечує одержання найбільшого врожаю. При цьому до сівби як до технологічного процесу висуваються три основні вимоги: висів заданої кількості насіння на одиницю площі поля; рівномірне розміщення його на площі поля; загортання на відповідну (однакову) глибину в ґрунт.

Проаналізувавши існуючі способи посіву технічних культур стає очевидним, що найбільш перспективним є пунктирний (точний) посів, завдяки рівномірності розподілу насіння у рядку. Таким чином, створення нових та удосконалення існуючих конструкцій висівних апаратів сівалок точного висіву є ефективним способом збільшення урожайності технічних культур та суттєве зниження витрат об’ємів посівного матеріалу.

Якість сівби регламентується агротехнічними вимогами.

Основні показники агротехнічних вимог до посіву просапних культур представлені в таблицях 1.1 і 1.2 [107].

Таблиця 1.1

Агротехнічні вимоги до якості посіву буряковими сівалками

Параметр, що регламентується	Чисельне значення параметра
Інтервали між насінинами, см	5; 6; 8; 10; 12
Середньоквадратичне відхилення інтервалів σ, см ± (не більше) насінин:	

- дражованих - звичайних	2,5; 3,5 3,0; 4,0
Коефіцієнт варіації	не більше 0,35

Приведені дані агровимог стосуються точності висіву насінин. Причому, як видно з таблиць, застосовано різні системи оцінки точності. Так для посіву насіння буряків буряковими сівалками приведена традиційна статистична оцінка, через параметри відхилень від математичного очікування місця висіву насінини.

Таблиця 1.2

Агротехнічні вимоги до якості посіву кукурудзяними сівалками

Параметр, що регламентується	Чисельне значення параметра
Задана кількість насіння, тис.шт/га - кукурудзи - сої	 25-150 300-800
Відхилення від заданої кількості насінин, % (не більше)	2-3
Відхилення від розрахункового інтервалу, ± %	10
Кількість насінин, % в заданому інтервалі з допустимими відхиленнями (не менше)	90

У випадку посіву кукурудзи і сої пропонуються, крім загальної норми висіву, регламентовані відхилення від середнього значення інтервалів висіву. Комбінований підхід до оцінки відносної точності приведено в роботі [107], який може бути застосований для оцінки роботи нових посівних машин. Рівномірність розташування насінин вздовж рядка оцінюється спеціальним показником. При цьому вводяться дисперсії розсіювання, розташування

насінин при ударі і заробці насінин у ґрунт. Безумовно, такий показник більш об'єктивно оцінює якість посіву, однак ускладнює оцінку, необхідністю визначення величин дисперсій.

Слід зазначити, що загальноприйняте поняття точності, яке ґрунтується на статистичній обробці даних, потребує уточнень для характеристики якості посіву. Відомо, що при оцінці посіву, виникають великі значення коефіцієнта варіації, що скоріше характеризує неточність, в наслідок інверсії розподілу насінин відносно передбачених місць їх знаходження. З метою врахування цього факту, що вносить плутаницю в оцінку при звичайному статистичному підході, в дослідженні [107] справедливо вводиться обмеження у вигляді ймовірності попадання насінини в розраховане місце з обмеженим регламентованим відхиленням. Тоді точність висіву, може характеризуватися добутком трьох ймовірностей: $\xi_{пр}$ – ймовірність появи пропусків, $\xi_{дв}$ – ймовірність появи двійників, $\xi_{\{\eta \le \pm h\}}$ – ймовірність відхилення положення насінин.

При всіх способах посіву напрямок рядкам треба задавати з півдня на північ. При такому напрямку рядків рослини знаходяться в кращих умовах освітлення вранці і ввечері, коли найбільш інтенсивно проходить процес фотосинтезу, так як вони не затіняють одне одного. В полуденні години, навпаки, рослини затіняють один одного і менш страждають від перегріву. При такому напрямку рядків урожайність підвищується на 10-12 % [9].

Кожна система посіву характеризується особливостями сівозмін, а також видом та інтенсивністю обробітку ґрунту.

Основними вимогами до високоякісної сівби є: сівбу необхідно проводити в оптимальні для даної культури строки; ґрунт до сівби має бути по можливості підготовленим; сівбу необхідно проводити лише відрегульованими сівалками; при рядковій сівбі треба добиватися прямолінійного переміщення агрегату по полю, щоб не було огріхів, особливо під час сівби просапних культур, оскільки це сприятиме і

механізації процесів міжрядного обробітку; сіяти слід упоперек напрямку оранки, бо інакше глибина загортання насіння буде нерівномірною; посівні секції потрібно встановлювати на однакову норму висіву і глибину загортання насіння; дискові сошники мають бути гострими, щоб легко врізалися в ґрунт; під час сівби необхідно стежити за роботою всіх висівних апаратів і насіннєпроводів, своєчасно включати та виключати сівалку і засівати поворотні смуги.

1.3. Історія розвитку конструкцій висівних апаратів сівалок та їх патентний огляд

Сільське господарство є найдавнішим видом виробничої діяльності людини. Воно існує вже дванадцять тисячоліть. Саме на базі цього виду виробництва в первісному суспільстві був здійснений перехід від привласнюючої економіки до виробничої [28].

До винаходу сівалки, висівання сільгоспкультур виконувалося шляхом розкидання насіння вручну з подальшим боронуванням. При цій системі зерна витрачалося багато, воно розподілялося по землі нерівномірно, сходи були недружні, а сіяч сильно втомлювався. Але технології не стояли на місці.

Перші сівалки з'явилися в Китаї, Японії та Аравії у II ст. до нашої ери. В Китаї було запропоновано залізну сівалку, що складається з пари ящиків для насіння, примітивного насіннєпроводу, сошників, що утворюють у землі борозенки для насіння, і органів, які засипали отримані борозенки і вирівнювали ґрунт.

Більшість держав перейняли позитивний приклад Китаю. У Європі перша запатентована сівалка з'явилася в 1566 році завдяки італійському винахіднику Камілло Торелло. Поступово сівалки почали ускладнюватися, удосконалюватися і видозмінюватися.

У 1669 р. будову рядкової сівалки описав Ворлейд. У 30-х роках XVIII ст. в Англії з'явилися рядкові сівалки, які винайшов Джетро Тулль. У числі

багатьох, винайдених в Англії типів сівалок, найбільшу популярність мала ложкова сівалка
Джемса Кука, яка після вдосконалення її Болдвіном та Уельсом в 1790 р. залишалася без зміни до XX століття.

В цей же час, в Німеччині йшло удосконалення розкидних сівалок з різними розкидаючими механізмами.

Наприкінці XIX - початку XX ст. кінні сівалки дійшли і до Росії шляхом імпорту з Німеччини, США та інших країн, а також з заводу сільгосптехніки «Ельворті» (нині ПАТ «Червона зірка»), що в м. Кіровограді. Спочатку агрегати потрапляли лише у великі поміщицькі господарства, але незабаром, після революції, знайшли і більш широке застосування.

У 1929 році розгорнувся колгоспний рух, і вітчизняне сільське господарство вимагало нових машин. Почали перебудовуватися заводи, продуктова лінійка сільгосптехніки розширювалася, на зміну кінного інвентарю прийшов тракторний, і на ринок машин вийшов «Ростсельмаш», який нарівні з «Червоною зіркою» постачав господарства сівалками [28, 29].

Вітчизняні та закордонні вчені і винахідники розробили велику кількість апаратів для точного висіву насіння, але тільки деякі з них були доведені до конструктивного втілення та були поставлені на серійне виробництво [47].

Патентний огляд апаратів точного висіву показує, що існує велика кількість різноманітних схем та їх конструкцій, які повинні виконувати найголовнішу їх функцію – створення регулярного однозернового потоку насіння.

Робота над розробкою універсальних однозернових висівних апаратів ведеться вже не одне десятиліття.

Першими з’явилися механічні апарати однозернового висіву, які замінили ручне розкиданні насіння по полю та підвищили продуктивність при посіві різних культур.

Механічні барабанно-пальцеві апарати (рис. 1.1) мають досить складну будову, але вони є першими зразками створення апарата точного висіву. Така конструкція апарата запропонована В.К. Ушаковим.

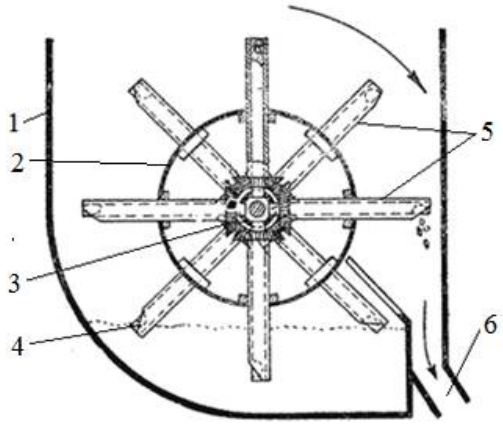


Рис. 1.1. Висівний апарат заявлений у СРСР в 1935 році [37]: 1 – насіннєвий бункер; 2 – висівний барабан; 3 – зубчата передача; 4 – комірка; 5 – поворотні трубки; 6 – насіннєпровід.

Недоліком таких апаратів є складність конструкції та низька надійність їх роботи.

Представлений механічний комірково-дисковий апарат забезпечував однозерновий висів тільки певного виду каліброваного насіння. Конструкція однозернового висівного апарата запропонована І.І. Латишевим (рис. 1.2).

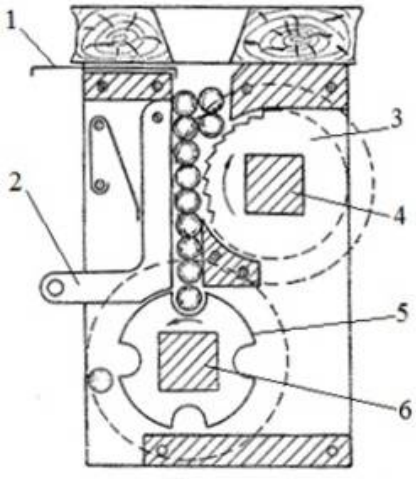


Рис. 1.2. Висівний апарат заявлений у СРСР в 1946 році [39]: 1 – регулювальна заслінка; 2 – клапан; 3 – зазубрений диск (формувач однозернового потоку); 4, 6 – вісі; 5 – висівний диск.

Недоліком такого апарата є значне подрібнення насіння та невисока його продуктивність.

Пневматичні висівні апарати більш універсальні і менше пошкоджують насіння в порівнянні з механічними, але по конструкції більш складні [48].

Пневматичні барабанно-пальцеві висівні апарати значно підвищили точність процесу висіву, але теж мають ряд недоліків. Конструкція такого висівного апарата розроблена в Канаді і поставлена на виробництво компанією International Harvester Company (США). Схема апарата представлена на (рис. 1.3).

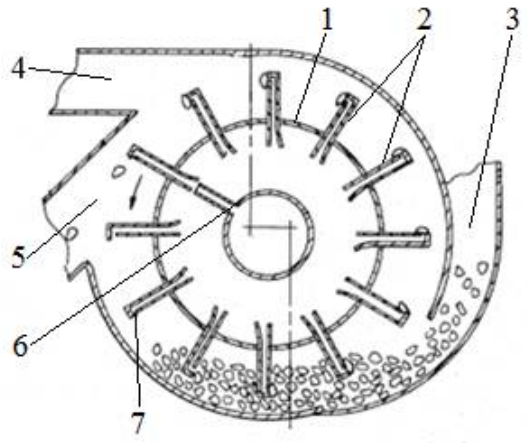


Рис. 1.3. Висівний апарат заявлений у Канаді в 1972 році [33]: 1 – барабан;
2 – пальці; 3 – насіннєва камера; 4 – нагнітальний повітряний канал; 5 – насіннєпровід; 6 – сопло; 7 – присмоктуюча комірка.

Основним недоліком апаратів такого типу є ненадійне захоплення насінин через втрати повітря в повітропроводі та недосконаліть їх конструкції.

Запатентована конструкція барабанно-пальцевого висівного апарата фірми Massey-Ferguson, lnc. (США) представлена на (рис.1.4).

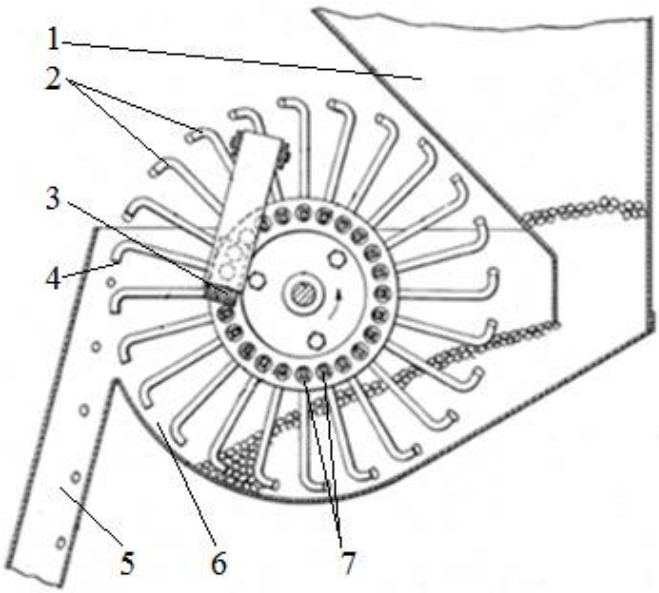


Рис. 1.4. Висівний апарат заявлений у США в 1974 році [34]: 1 – насіннєвий бункер; 2 – пальці; 3 – ролик; 4 – присмоктуюча комірка; 5 – насіннєпровід;
6 – насіннєва камера; 7 – повітряний нагнітальний канал.

Найбільш суттєвим недоліком апарата є мала експлуатаційна надійність, пов’язана з засмічуванням присмоктуючих отворів пошкодженим насіннєвим матеріалом.

Гідравлічний висівний апарат запропонований В.С. Сухіним і Д.Г. Вальяновим представлено на (рис. 1.5). Особливістю апарата є формування їм регулярного однозернового потоку насіння з одночасним внесенням рідких добрив.

Насінина в цьому апараті утримується на поверхні комірки за рахунок меніска, що створюється спеціальним формувачем. Даний апарат забезпечує рівномірне, чітке скидання насінин та виключає кочення їх по дну борозни, що підвищує рівномірність висіву.

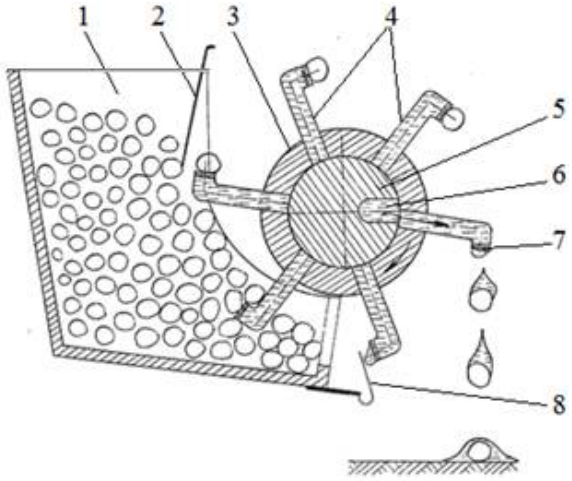


Рис. 1.5. Гідравлічний висівний апарат заявлений у СРСР в 1978 році [43]:
1 – насіннєвий бункер; 2 – регулювальна заслінка; 3 – висівний барабан; 4 – пальці; 5 – нерухомий конічний диск; 6 – канал для рідини; 7 – присмоктуюча комірка; 8 – формувач меніска.

Пневмомеханічні барабанні апарати за способом використання повітря поділяють на вакуумні та надлишкового тиску. Широке розповсюдження у закордонних та у вітчизняних сівалках отримали барабанні та вертикально дискові висівні апарати.

Запатентований барабанний пневмомеханічний апарат фірми Massey-Ferguson, Inc. (США) зображений на (рис.1.6).

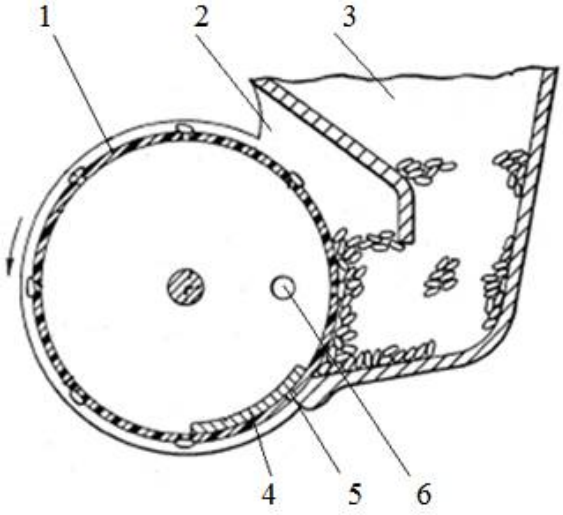


Рис. 1.6. Вакуумний висівний апарат заявлений у США в 1964 році [32]:
1 – висівний барабан; 2 – корпус; 3 – насіннєвий бункер; 4 – відсікач

вакууму;

5 – комірка; 6 – вакуумопровід.

Перевагою апарата є його універсальність та пристосованість для висіву насіння різних культур.

Недоліком є високе розташування апарата відносно дна борозни, що створює незадовільну рівномірність висіву та невизначеність точки скидання насінин.

Конструкція висівного апарата запропонована Д.Г. Вальяновим представлена на (рис. 1.7). Особливістю даного апарата є те, що висівний барабан складається з двох аналогічних частин на торцях яких симетрично на однаковій відстані розташовані присмоктуючі комірки, створюючи колову щілину. Така будова висівного барабана дає можливість висівати насіння різної фракції, особливо дрібних, без забивання присмоктуючих комірок.

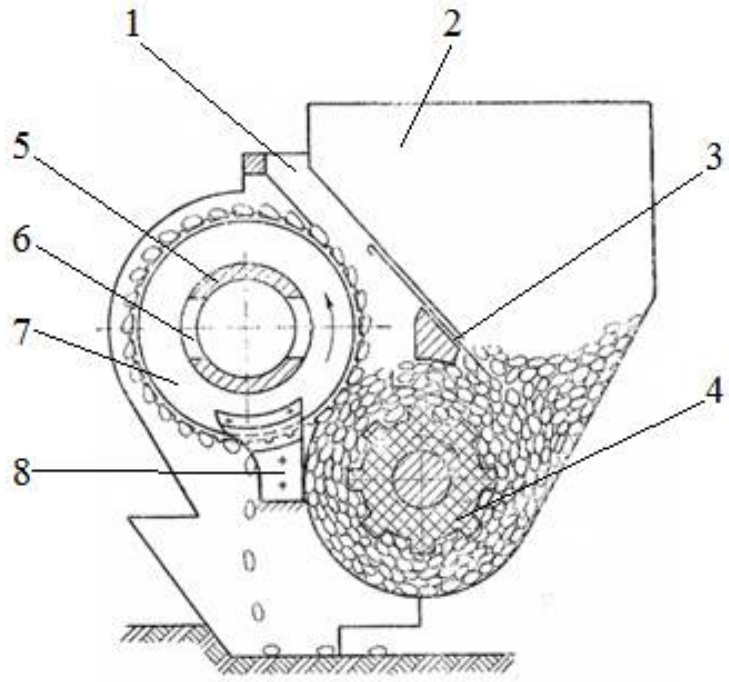


Рис. 1.7. Вакуумний висівний апарат заявлений у СРСР в 1974 році [42]:

1 – відбивач «зайвих» насінин; 2 – насіннєвий бункер; 3 – регулювальна заслінка; 4 – активна ворушилка; 5 – порожниста вісь; 6 – вакуумний канал; 7 – висівний барабан; 8 – скидач насінин в сошник.

Недоліком апарату є пошкодження насіння при висіві та робота на невеликих швидкостях висівного барабана.

Пневматичний висівний апарат запропонований В.А. Любчічем і Г.П. Юдіним представлено на (рис. 1.8). Особливістю апарата є краще скидання «зайвих» насінин потоком стиснутого повітря через спеціальні тангенціально розміщені сопла скидача.

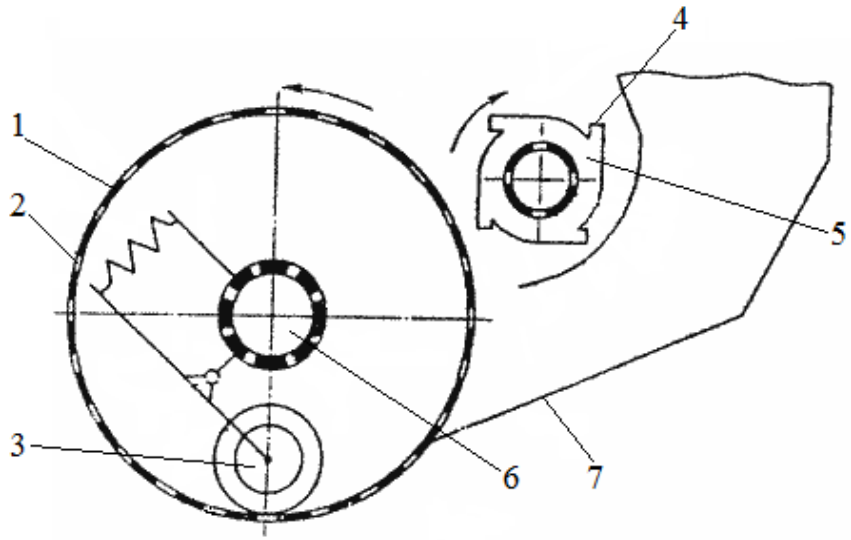


Рис. 1.8. Вакуумний висівний апарат заявлений у СРСР в 1993 році [45]:

1 – висівний барабан; 2 – присмоктуюча комірка; 3 – ролик; 4 – сопло скидача;

5 – пневматичний скидач; 6 – порожниста вісь; 7 – насіннєвий бункер.

Недоліком апарату є наявність так званих «пропусків», що призводить до зниження якості висіву.

В останні роки в найбільшого розповсюдження отримали пневмомеханічні висівні апарати з вертикальним диском.

За способом використання повітря поділяють на вакуумні та надлишкового тиску. Дискові апарати вакуумного типу мають ряд переваг. Основними є універсальність, незначне пошкодження насіннєвого матеріалу, відносно невеликі габарити, можливість висіву насіння різних культур.

Конструкція одного з перших, вертикально дискового висівного апарата запропонована П.А. Біньковським та представлена на (рис. 1.9).

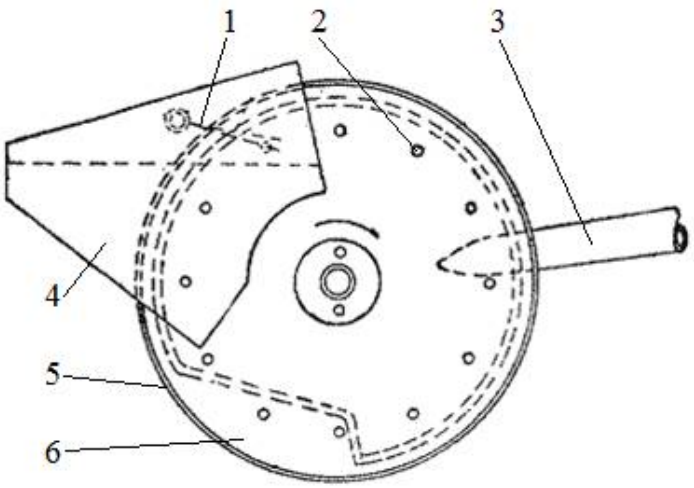


Рис. 1.9. Вакуумний висівний апарат заявлений у СРСР в 1941 році [38]: 1 – скидач «зайвих» насінин; 2 – комірка;
3 – вакуумопровід; 4 – насіннєва камера; 5 – корпус; 6 – висівний диск.

Недоліком апарата є підвищення нерівномірності висіву насіння при збільшені частоти обертання диска та неефективне видалення зайвого.

Пневматичний висівний апарат вакуумного типу запропонований Б.Н. Фришевим (рис. 1.10) має спрощену конструкцію на відміну аналогам та має підвищену експлуатаційну надійність.

Особливістю апарата є його висівний диск, який працює заодно з криволінійною дужкою, в якому виконані косі прорізі.

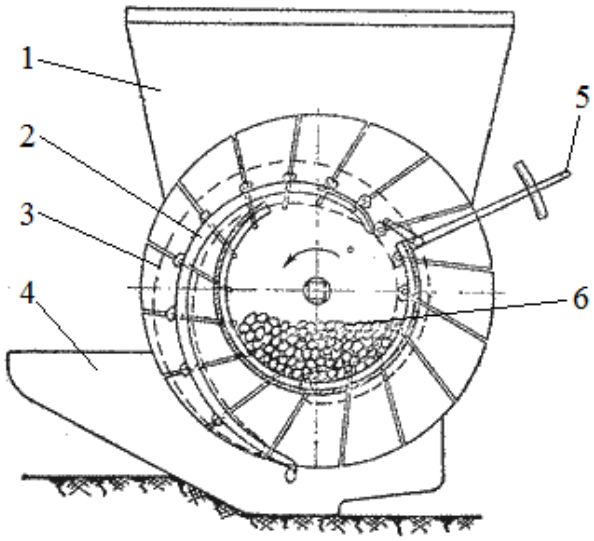


Рис. 1.10. Висівний апарат заявлений у СРСР в 1962 році [41]: 1 – насіннєвий бункер; 2 – направляюча дужка; 3 – висівний диск; 4 – сошник;
5 – скидач зайвих насінин; 6 – насіннєва камера.

Така конструкція висівного диска разом з дужкою забезпечує ефективне скидання насінин в борозну. Недоліки в роботі апарата спостерігаються при збільшені частоти обертання диска, що значно підвищує нерівномірність висіву насіння.
Пневмомеханічний висівний апарат запропонований Б.І. Журавльовим, В.І. Александровим та ін. (рис. 1.11) більш рівномірно розміщує насінини в рядку за рахунок змін в конструкції висівного диска.

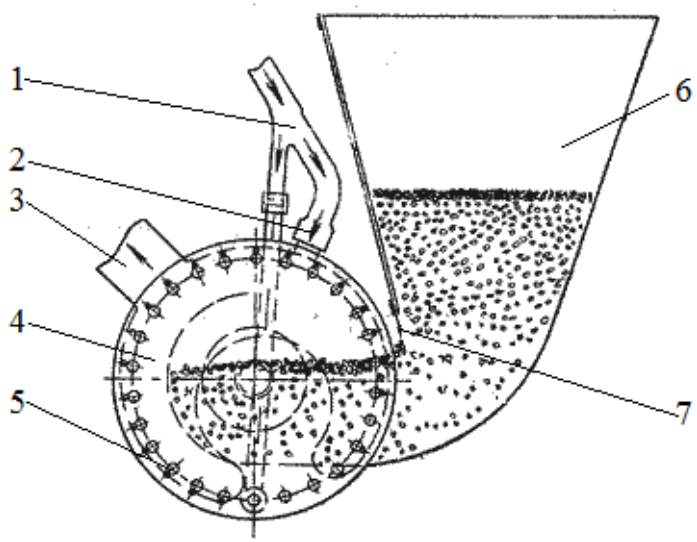


Рис. 1.11. Висівний апарат заявлений у СРСР в 1962 році [40]: 1 – канал надлишкового тиску; 2 – обдувочне сопло; 3 – вакуумопровід; 4 – висівний диск;
5 – ніпель; 6 – насіннєвий бункер; 7 – регулювальна заслінка.

На боковій поверхні диска рівномірно по периферії розміщені ніпелі, на боковій поверхні яких розташовані присмоктуючі комірки. Така конструкція висівного диска ефективна для надійного захвату та виносу з маси насіння

однієї насінини. Скидання «зайвих» насінин та основних у сошник здійснюється за допомогою стиснутого повітря.

Перевагою апарата є висока його продуктивність при збережені якості висіву. Незважаючи на суттєві переваги залишаються і недоліки пов'язані зі складністю такої конструкції.

Пневмомеханічний висівний апарат надлишкового типу запропонований В.М. Бумаковим, В.Н. Лєвєнцем та ін. (рис. 1.12) має некласичну схему побудови. Запатентована конструкція висівного апарата не допускає пошкодження насіннєвого матеріалу, забезпечує високу рівномірність і точність подачі насіння різних фракцій.

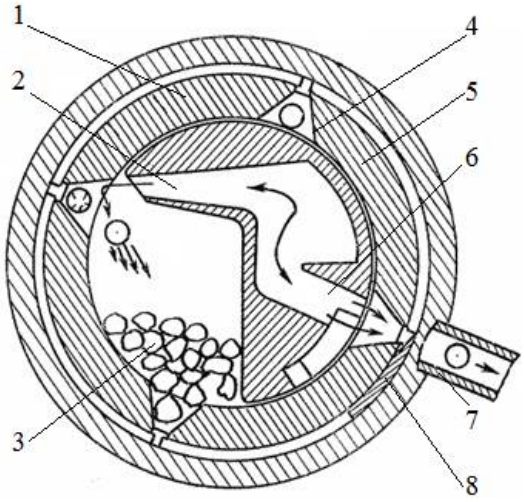


Рис. 1.12. Висівний апарат заявлений у СРСР в 1990 році [44]: 1 – корпус;
2, 6 – сопла; 3 – насіннєва камера; 4 – комірка; 5 – висівний диск; 7 – насіннєпровід; 8 – виштовхувач.

Недоліком апарата є складність його конструкції пов'язана з необхідністю герметизації насіннєвої камери, що важливо для подачі насіннєвого матеріалу до комірок.

1.3.1. Особливості конструкцій висівних апаратів, які застосовують для посіву технічних просапних культур

Оскільки існує тісний зв'язок між строками сівби, урожайністю і, відповідно собівартістю продукту, то постає питання вибору ефективних сівалок, здатних задовольнити дані вимоги [5].

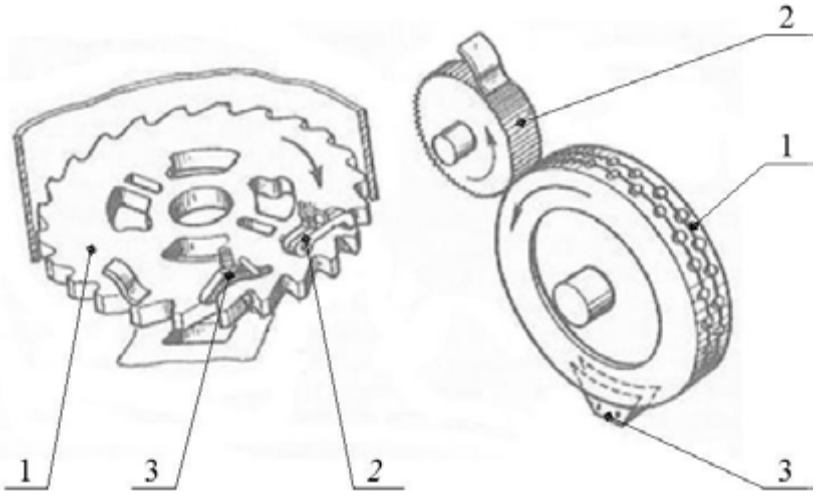
Основою сівалки точного висіву є її висівний апарат, який повинен забезпечити безперебійний, однозерновий потік насіння в борозну при різних умовах її використання.

На вітчизняних та закордонних сівалках використовують наступні висівні апарати: котушкові, котушково-штифтові, котушково-дискові, комірково-дискові, комірково-барабанні з горизонтальною віссю обертання, відцентрові, дисково-пальчикові, дисково-ложкові, пневмомеханічні, пневмомеханічні з централізованим дозуванням [8, 30, 50].

За типом висівного апарата сівалки точного висіву бувають пневмомеханічними (насіння відбирається завдяки створенню вакууму або надлишкового тиску) і механічними (висівна насінина орієнтується в комірку за розмірами).

Механічні висівні апарати в свою чергу поділяють на котушкові та дискові. В котушкових апаратах дозування посівного матеріалу виконують безперервним потоком, а в дискових – одиничним відбором насінин [14, 69].

Для посіву технічних культур у вітчизняних та закордонних сівалках в основному використовують дискові висівні апарати, котрі виготовляють з вертикальною, горизонтальною або з нахиленою віссю обертання (рис.1.13).



а) б)

Рис. 1.13. Дискові висівні апарати з вертикальною (а) та горизонтальною (б) віссю обертання: 1 – комірковий диск; 2 – відбивач; 3 – виштовхувач.

Існує велика кількість модифікацій комірково-дискових апаратів з комірками у вигляді пазу, зручним для розміщення і утримання в ньому насіння, наприклад, KINZE (США), HORSCH (Німеччина), MASSEY FERGUSON MF 555 (США), John Deere (США).

Залежно від конструкції висівні апарати сівалок точного висіву бувають дисковими, барабанними і стрічковими [15, 58].

В свою чергу пневмомеханічні висівні апарати поділяють на вакуумні та надлишкового тиску (рис. 1.14).

Рис. 1.14. Універсальна вакуумна сівалка пунктирного (точного) висіву СТВ-12 (Білорусь)

Принципово важливим конструктивним елементом сівалки точного висіву є висівний апарат (рис. 1.15), що складається з корпусу 4, в який входить вакуумна камера 2 та насіннєва камера 3, в якій обертається висівний диск 5. Висівний диск розділяє ці камери. Вентилятором створюється розрідження, яке по вакуумопроводах 1 подається до апарата і забезпечує присмоктування насіння до висівного диска. Скидачі можуть використовуватись різної конструкції, і саме вони коригують можливі подвійні прилипання насінин. Відібране з маси насіння скидається з диска у сошник. Правильне місце відсікання вакууму є передумовою необхідної точності укладання насіння і при підвищеній швидкості сівби [14, 31, 46].

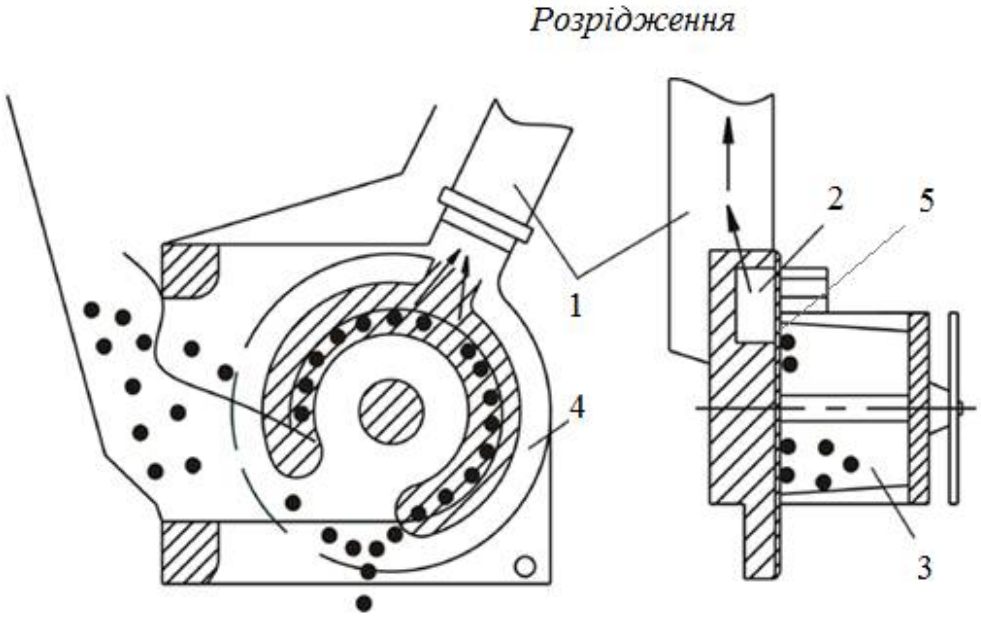


Рис. 1.15. Принципова схема роботи пневмомеханічного висівного апарата вакуумного типу: 1 – вакуумопровід; 2 – вакуумна камера; 3 – насіннєва камера;
4 – корпус; 5 – висівний диск.

Посів пневмомеханічними сівалками швидко стає одним із самих ефективних за рахунок високої продуктивності і універсальності використання, як при традиційному, так і при нульовому обробітку ґрунту (no-till).

Цей метод забезпечує високу продуктивність і точність технологічного процесу висіву технічних культур (кукурудза, соняшник, соя, сорго тощо) [16, 61].

Точність висіву має велике значення для отримання максимальної врожайності.

Точний розподіл рослин в рядках є основною вимогою для всіх культур (рис. 1.16).

Ідеальною є ситуація, коли всі рослини розташовані на однаковій відстані одна від одної, тим самим створюються однотипні умови для реалізації поживного потенціалу кожної рослини.

Інколи дві рослини розташовані дуже близько одна від одної. Утворюється так званий «двійник»: відстань між двома рослинами становить менше 50 % від середнього інтервалу. Дві рослини в двійнику будуть конкурувати одна з одною, що призведе до зниження врожаю.

В іншому випадку, можливий великий розрив між двома рослинами. Спостерігається пропуск: відстань між двома рослинами становить більше 150 % від середнього інтервалу. Отже, залишається незайнятий ґрунт.

Відмови в роботі пневмомеханічних висівних апаратів представлено на рис. 1.16.

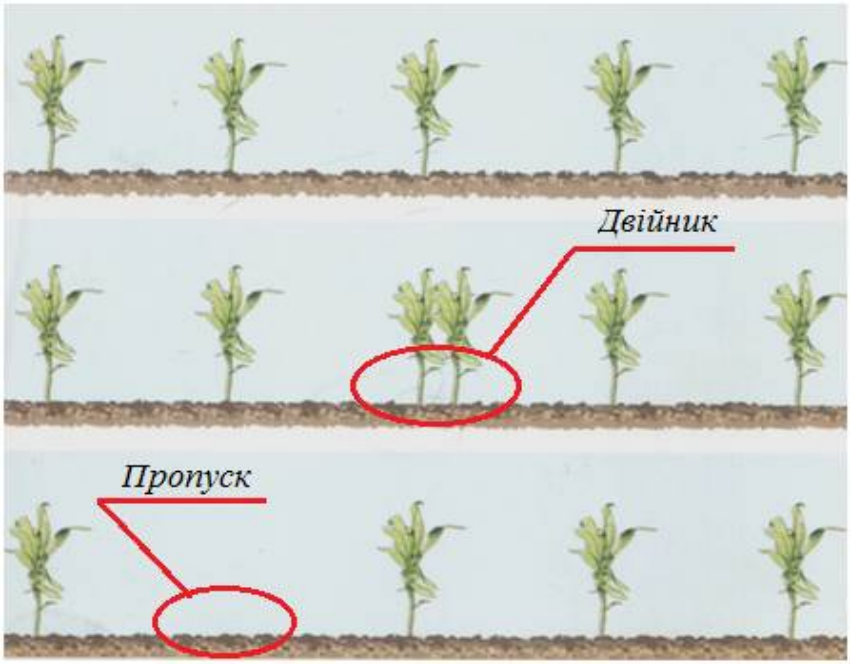


Рис. 1.16. Характерні відмови в роботі пневмомеханічного висівного апарата

Такі не оптимізовані посіви призводять до суттєвого зниження врожайності [17, 74].

Загальна тенденція розробок сівалок точного висіву вказує на поступовий перехід від механічних апаратів до пневмомеханічних, хоча останні мають певні недоліки [18, 52].

Основним недоліком апаратів є забивання присмоктуючих отворів (комірок) пилом та залишками зруйнованих насінин, а також різними механічними домішками.

Крім того, принциповим конструктивним недоліком пневмомеханічних висівних апаратів є необхідність ущільнення без якого можливе засмоктування пилу з абразивними частинками. При поступовому накопиченні абразиву в апараті, інтенсивно зношуються елементи конструкції, що призводить до втрат точності висіву і в кінцевому результаті відмови апарата.

Широке розповсюдження на Україні та за кордоном отримали пневмомеханічні (вакуумні та надлишкового тиску) апарати з вертикальними плоскими висівними дисками. Із закордонних фірм, що випускають сівалки

точного висіву широке використання знайшли: Great Plains (США), Kverneland (Норвегія), AMAZONE (Німеччина), RABE (Франція), Monosem (Франція), Quivogne (Франція), Gaspardo (Італія), UNIA (Польща), KINZE (США), John Deere (США), BOURGAULT (Канада) та інші.
Аналіз конструкцій різних апаратів і показників їх роботи дав можливість відібрати найбільш раціональну схему апарата, що підлягає експериментально-теоретичному дослідженню, намітити задачі дослідницьких робіт [13, 71].

1.4. Короткий опис пневмомеханічних сівалок для точного висіву технічних культур

Сівалка точного висіву – аграрна машина, призначена для посіву насіння сільськогосподарських культур з дотриманням заданого інтервалу в рядку між ними (при пунктирному методі посіву) або з дотриманням визначеної кількості насіння в гнізді (при гніздовому способі посіву). Конструктивно сівалка точного висіву складається з ряду секцій, що представляють собою однорядні сівалки, в кожну з яких входять висівний апарат, сошник, підвіска і загортаючий пристрій. Завдяки такій конструкції можлива швидка і легка зміна міжряддя посіву, компоновка сівалки різної рядності, та установка на сівалку точного висіву проріджувальних або культиваторних секцій [51, 70].
Основним робочим органом сівалки точного висіву є висівний апарат (рис. 1.17), який забезпечує відбір точної кількості насіння та їх почергову подачу в посівну борозенку, сошники з загортачами і валиками, які забезпечують положення насіння на дні борозенки, присипають їх землею та ущільнюють ґрунт над насінням.

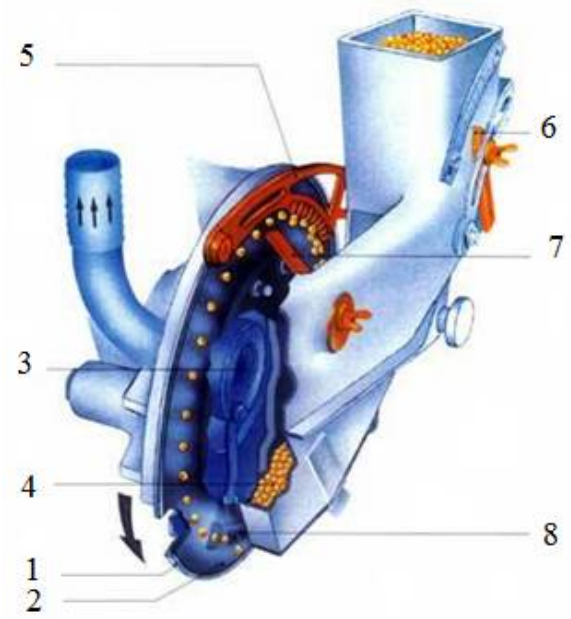


Рис. 1.17. Висівний апарат сівалки точного висіву СТВ-12 (Білорусь):
1 – корпус; 2 – висівний диск; 3 – вакуумна камера; 4 – насіннєва камера; 5, 7 – скидачі зайвих насінин; 6 – шкала положень скидачів; 8 – відсікач вакууму.

На сівалках точного висіву застосовують кілеві, дискові або полозкові з клиноподібною п'ятою сошники для ущільнення дна посівної борозенки. Глибина ходу сошників повинна бути рівномірною. Досягається це застосуванням на сівалці точного висіву обмежувальних котків, ребер або лиж з підвісками [15, 54, 59].

Все більшого розповсюдження в сівалках точного висіву знаходять електронні системи виконання і контролю технологічного процесу висіву. Особливий інтерес з позиції високої точності посіву представляє сівалка пневмомеханічна надлишкового тиску компанії Väderstad Tempo 8F (Швеція), що має високий агротехнологічний потенціал і призначена для однозернового, точного висіву насіння кукурудзи, соняшника, бавовника, сої, та сорго з середньою швидкістю 15-17,5 км/год (рис. 1.18).

Особливістю даної сівалки є те, що дозування насіння відбувається в камері, в якій встановлений висівний диск з отворами і зворушувачами, сингулятор

Рис. 1.18. Сівалка компанії Väderstad Tempo 8F (Швеція)

(пристрій для відсікання двійників, що забезпечує прикріплення до одного отвору диска однієї насінини), очисна зірочка і ущільнюючий ролик, повітряна решітка, насіннєпровід, засув, кришка. Сівалка Väderstad Tempo випускається в трьох моделях: Tempo F, Tempo R, Tempo T, які мають однаковий висівний апарат та носить ім'я його конструктора – Г. Гілстрінга. Висівний апарат цієї сівалки представлено на рис. 1.19.

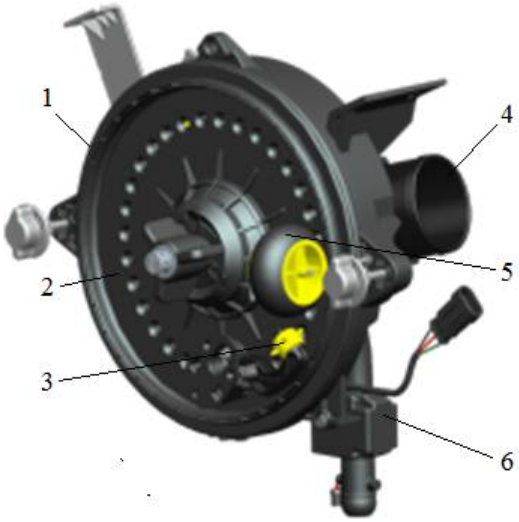


Рис. 1.19. Висівний апарат Г.Гілстрінга: 1 – корпус; 2 – висівний диск; 3 – очисна зірочка; 4 – повітропровід; 5 – ущільнюючий ролик; 6 – датчик насіння.

Вентилятор в пневмосистемі створює надлишковий тиск (близько 3,5 кПа). У висівній камері, завдяки тиску насінина прикріплюється до комірки

висівного диска і транспортується до моменту її скидання. В момент перекриття отвору комірки ущільнюючим роликом блокується потік повітря, завдяки чому створюється ефект пострілу – насіння виноситься потоком повітря у насіннєпровід. Таке рішення забезпечує високу точність, навіть, за великої швидкості висівного агрегату і робить висів нечутливим до вібрацій та схилів.

Висівний апарат Väderstad Tempo 8F комплектується висівними дисками з різною кількістю отворів та діаметром, що дає можливість проводити посів різних культур. При зміні культури, що висівається і за зміною дисків необхідно змінювати і очисну зірочку, яка попереджує блокування отворів диска половинками насіння і сміттєвою домішкою. Такі диски і зірочки представлені на рис.1.20.

Рис. 1.20. Висівні диски та очисні зірочки сівалки Väderstad Tempo (Швеція) для висіву різних культур

Кожен висівний диск має привід від електродвигуна, а насіннєпровід обладнаний датчиком насіння.

Всі висівні секції в сівалці обладнані окремими електродвигунами на 12V і потужністю 50 Вт, які мають вмонтовану в них систему планетарних передач. Для генерування струму в конструкції сівалки передбачено генератор і акумулятор. Застосування електродвигунів сприяє високій точності і стабільності висіву на різних швидкісних режимах роботи. Це особливо актуально при роботі на високій швидкості, оскільки при копіюванні сошником мікрорельєфу поверхні частота обертів висівного

диска є сталою, в той час як при механічній передачі вертикальні коливання сошника є причиною прискорень або уповільнень частоти обертів диска. Така ситуація в 1,5-2 рази може змінювати встановлений інтервал розміщення насіння в рядку і в майбутньому впливати на зменшення врожайності. Перевагою електроприводу, у порівнянні з сівалками точного висіву з механічним привидом, є стабільна і чітка робота висівного апарата, що виключає можливі ривки і проковзування приводного колеса по землі. Оскільки висівні апарати приводяться в дію за допомогою електродвигунів, є можливість відключення їх в індивідуальному порядку.

Система автоматизації і контролю за виконанням технологічного процесу складається з системного блока, оснащеного відповідним програмним забезпеченням, монітора, пульта керування, датчиків (швидкості руху сівалки, рівня насіння і добрив в бункерах, лічильників насіння, добрив тощо) [17,19].

Начіпна пневматична вакуумна 6-ти, та 8-ми секційна сівалка серії 1700 та причіпні 24-, 36-ти секційні пневматичні вакуумні сівалки серії DB точного висіву John Deere (США) призначені для однозернового, точного висіву з одночасним внесенням добрив насіння кукурудзи, соняшника та сої при традиційній та нульовій (no-till) технології обробітку ґрунту. Сівалки обладнані висівними секціями MaxEmerge XP та Pro-Series XP (рис. 1.21) які використовують вакуум для розміщення і утримання насіння в отворах плоских чи в коміркових висівних дисках.

Рис. 1.21. Висівна секція Pro-Series XP сівалки John Deere (США)

У всіх висівних секціях просапних сівалках John Deere використовується система дозування насіння VacuMeter та роздільники (скидачі) здвоєних насінин (рис. 1.22).

Рис. 1.22. Система дозування насіння VacuMeter фірми John Deere (США)

Простота конструкції системи VacuMeter дозволяє забезпечити строгий контроль кількості насіння і точну відстань між ними в борозні, а роздільник здвоєних насінин в висівних секціях Pro-Series розміщений таким чином, що відбувається відсікання до 90 % насіння різних розмірів і різних форм. Дозатором насіння є плоский висівний диск ProMAX 40 представлений на рис.1.23.

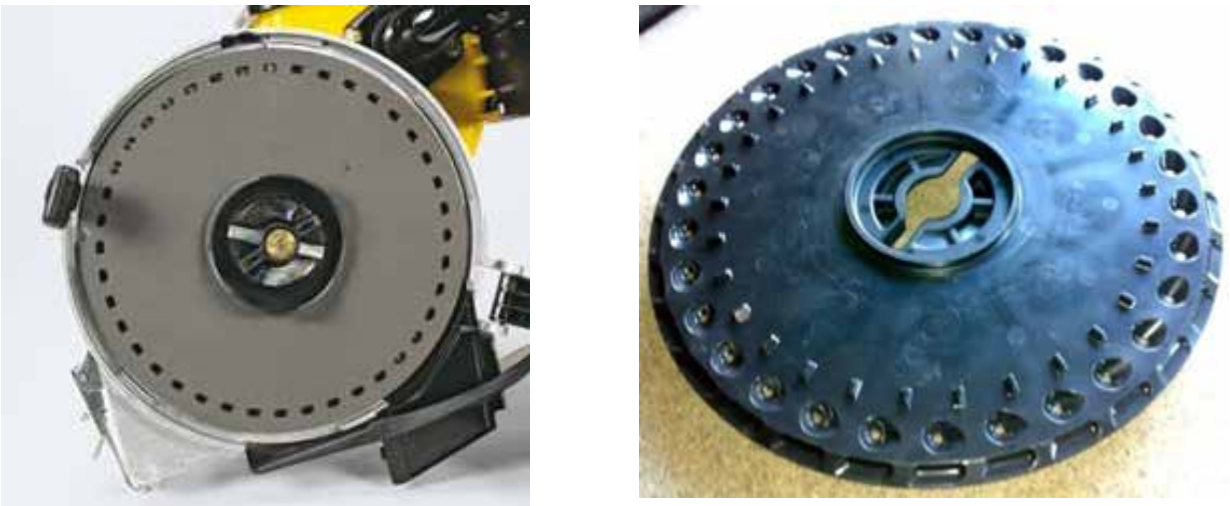


Рис. 1.23. Дозуючий диск ProMAX 40 фірми John Deere (США)

Класичні плоскі висівні диски з периферійними отворами дають можливість внести необхідну кількість насіння з точним дотриманням ширини міжряддя. В залежності від форми насіння, що висівається, висівні секції серії John Deere 7200 обладнуються висівними апаратами пальцевого типу, що представлений на рис. 1.24.

Рис. 1.24. Висівний апарат пальцевого типу сівалки М-7200 фірми John Deere (США)

Змінний висівний диск (рис. 1.25) є єдиним рухомим елементом висівного апарата і приводиться до обертання за допомогою привода Pro-Shaft. Привод Pro-Shaft не має приводних ланцюгів (як в більшості висівних секцій), а завдяки гнучкому валу на кінцях якого знаходяться черв'ячні редуктори, крутний момент передається від центрального вала сівалки до висівного диска. На одному з редукторів вмонтована муфта з електронним керуванням.

Рис. 1.25. Змінні дозуючі диски фірми John Deere для висіву різних культур (кукурудза, соняшник)

Система моніторингу SeedStar 2 (рис. 1.26) забезпечує відключення, включення одної чи декількох висівних секцій сівалки. Це дає можливість забезпечити відключення, включення секцій сівалки на основі даних супутникових сигналів глобального позиціювання (GPS). Економія посівного матеріалу при цьому становить 2-3 %.

.

Рис. 1.26. Система моніторингу SeedStar 2 фірми John Deere (США)

Як слідує з конструктивного рішення висівних апаратів сівалок серій 1700 та DB, дозуючим елементом насіння є «класичний» плоский диск з периферійним розташуванням присмоктуючих отворів (комірок), в яких вектор дії присмоктуючої сили направлений перпендикулярно вектору швидкості руху комірки. На наш погляд це принципова недосконаліть

апаратів такого типу, що і породжує їх недоліки в роботі у вигляді пропусків і двійників [20].

Універсальна 2-, 4-, 6-, 8-, 12-, 16-, 18-, 24-х секційна пневмомеханічна вакуумного типу сівалка точного висіву відомої компанії SFOGGIA SIGMA5 (Італія) (рис. 1.27) призначена для однозернового, висіву насіння технічних культур з одночасним внесенням мінеральних добрив на оброблених так і мінімально оброблених ґрунтах, що містять рослинні рештки.

Рис. 1.27. Універсальна сівалка точного висіву SIGMA5 фірми SFOGGIA (Італія)

Вакуумною сівалкою SIGMA5 можливо висівати кукурудзу, соняшник, насіння цукрового буряка, соняшник, сою, сорго, квасолю, капусту, бавовник, горох і помідори зі швидкістю 10-12 км/год.

Висівний апарат разом з його скидачем зайвих насінин, дозволяє висівати різні по формі типи насіння, як від самих великих так і до самих дрібних, і навіть овочі. Дозатором насіння, як у більшості пневмомеханічних висівних апаратів, є диск з периферійним розташуванням отворів різної форми та кількості. Скидач зайвих насінин 4-х зубчатий округленого профілю, дозволяє відбирати зайві насінини (двійники), а також сприяє зменшенню пропусків при висіві насіння. На поверхні диска розміщена лопать, яка

перемішує насінини, що прилипли до центрів отворів диска, виключаючи таким чином, руйнування насінин та забезпечуючи рівномірність висіву. На сівалці SIGMA5 встановлено пристрій автоматичного відключення висіву та пристрій за його контролем (лічильники гектарів, кількості насіння, густини висівання, кількість висіяного насіння на кожну секцію та вимірювач робочої швидкості руху) [21].

Пневмомеханічні 6-, 8-, 12-ти, рядні сівалки надлишкового тиску, однозернового, точного висіву марок MASSEY FERGUSON моделей MF 555 (США) (рис. 1.28) та сівалки марки Challenger моделей 8000 (США) мають ідентичні за конструкцією висівні апарати.

Завдяки змінним висівним дискам апарати можуть використовуватись для висіву широкого спектру культур (соняшник, кукурудза, соя, горох, цукровий буряк, квасоля, арахіс) по традиційній, мінімальній та нульовій (no-till) технологіях обробітку ґрунту. Сівалки обладнані системою повітряного дозування PAM, яка дозволяє обережно провести захват насінини, транспортувати її до насіннєпроводу при невеликому робочому тиску в системі. Низький тиск повітря у висівному апараті мінімізує пошкодження насіннєвого матеріалу, що важливо для рівномірного сходу рослин.

Рис. 1.28. Сівалка точного висіву MASSEY FERGUSON моделі MF 555 (США)

Особливістю даного висівного апарата (рис. 1.29), є конструктивне рішення висівного диска з виходом насіння з торця EDGE DROP (падіння з торця) (рис. 1.30), що сприяє точності інтервалів висіву. При такій конструкції висівного диска, напрям дії сили утримання насінини та напрям вектора лінійної швидкості лежать в одній площині, що важливо для утворення безперебійного однозернового потоку висівного матеріалу. Зайві насінини з висівного диска, обережно скидаються спеціальними щітковими скидачами.

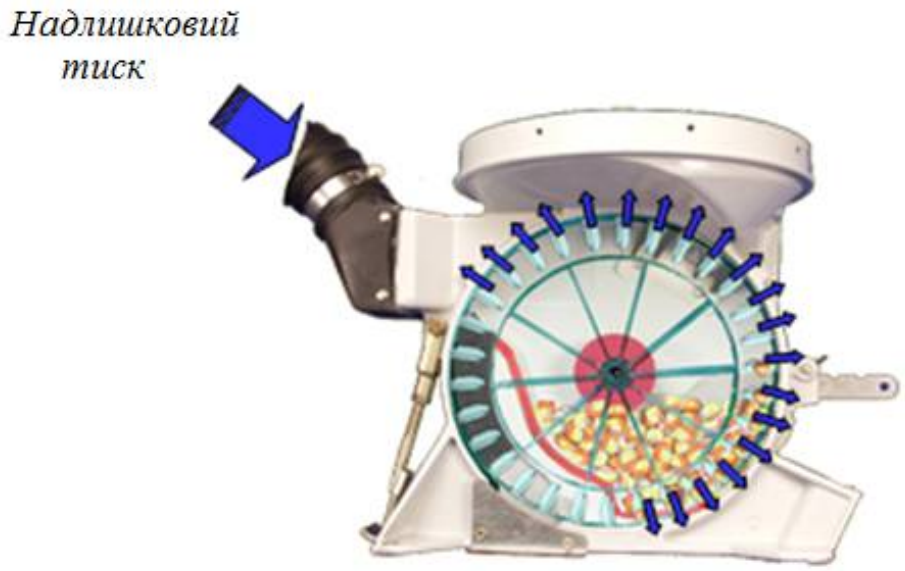


Рис. 1.29. Висівний апарат MASSEY FERGUSON моделі MF 555 (США)

Рис. 1.30. Висівний диск сівалки MASSEY FERGUSON моделі MF 555 (США)

Висівний диск приводиться в дію ланцюговим незалежним приводом, який виключає ефект прискорень чи гальмувань привода на протилежних сторонах сівалки при посіві на похилих ґрунтах. Для контролю проходження насіння по насіннєпроводах в сошник під час посіву, використовуються сенсори і датчики SeedSmart (розумний посів), які відстежують потоки насіння у всіх насіннєпроводах сівалки при різних нормах висіву. Додаткове обладнання включає системи для внесення сухих і рідких добрив, інсектицидів та гербіцидів [22].

Сівалка пневматична вакуумного типу для точного висіву марки SPP-4/6/8/12 (FS) (Молдова) являється удосконаленим аналогом румунської сівалки марки SPC (рис.1.31). Призначена для висіву різних просапних культур: кукурудзи, соняшнику, сої, нуту, квасолі, насіння цукрового буряка та огірків з шириною міжрядь 45-70 см при робочій швидкості 5-8 км/год. Приставка FS означає, що сівалка комплектується системою внесення гранульованих мінеральних добрив.

Рис. 1.31. Сівалка для точного висіву SPP-4/6/8/12 (FS) (Молдова)

Висів проводиться на традиційно оброблених ґрунтах пунктирним способом, при цьому висівається по одній або по дві насінини в кожне гніздо при обраній відстані між лунками, з одночасним внесенням мінеральних добрив. Висів проводиться з міжряддями 45-70 см. Ексгаустер (вакуумний насос) створює вакуум у висівному апараті кожної секції, завдяки чому насіння, яке знаходиться в камері живлення, притягується до отворів висівного диска. Плоскі змінні висівні диски мають різну кількість отворів, які периферійно розташовані, як у більшості сучасних висівних апаратів. Сівалка обладнана вакуумметром та регулятором розрідження, який дає можливість сівалці, в залежності від культури і розміру насіння регулювати розрідження у висівних апаратах.

Висівні диски кожної секції, приводяться в дію ланцюговою передачею від прикочувального колеса кожної секції незалежно один від одного. Сівалки SPP обладнані системою електронного контролю висіву насіння ФАКТ-1 (рис.1.32), яка контролює швидкість руху, густину висіву насіння, фактичний розподіл насіння в кожному рядку (по сівалці, по всьому полю), кількість двійників і пропусків в процентах від загальної кількості насіння.

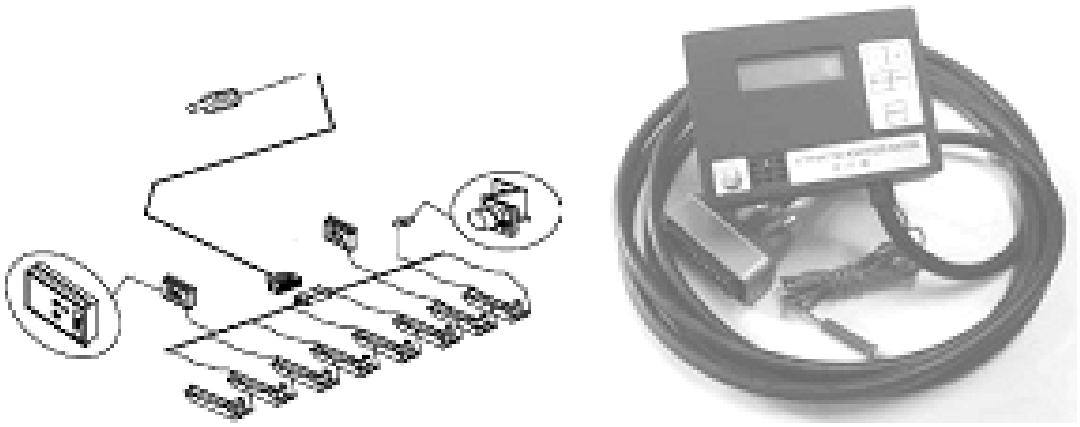


Рис. 1.32. Система контролю висіву ФАКТ-1 сівалки SPP-4/6/8/12 (FS) (Молдова)

Система збирає, обробляє, і виводить на монітор дані про текучі показники витрат насіннєвого матеріалу за одиницю пройденого шляху, а також накопичує інформацію про характер висіву [23].

Добре зарекомендувала себе швидкісна сівалка точного висіву HORSCH (Німеччина) яка пропонується в двох конструктивних серіях: Maestro CC – 8-ми та 12-и рядкові з шириною міжряддя 45, 50, 70, 75 та 80 см, і Maestro SW – на 12 та 24 рядка з міжряддям 70 та 75 см. Це пневмомеханічна вакуумна сівалка для посіву просапних культур при нульовому обробітку ґрунту (no-till).

Можливий пунктирний висів кукурудзи, насіння цукрового буряка, соняшника та сорго при робочій швидкості сівалки 2-12 км/год.

Перспективними та новаторськими рішеннями в даній сівалці є гідропривід вентилятора (для створення розрідження в системі), відсутність ущільнень (що зношуються і створюють додатковий опір на привод) та висівні апарати комірко-дискового типу з індивідуальним електроприводом.

Модуль висівного апарату складається з самого дозатора насіння та інтегрованого електродвигуна. Відсутність ущільнення висівного диска, а використання щілинного ущільнення (мікрозазор), яке не зношується, дає можливість знизити силу струму до 1А. Електропривод об’єднує сам двигун, підшипниковий вузол, редуктор, лічильник та процесор, і розташований у захисному корпусі. Доля рухомих вузлів зведена до мінімуму. Універсальний дозатор можливо використовувати для висіву кукурудзи, насіння цукрового буряка, соняшника, сої, сорго та рапсу. Ключовим елементом висівного апарата Maestro є його дозуючий диск відкритими зовні пазами (рис. 1.33).

Рис. 1.33. Дозуючий диск сівалки точного висіву HORSCH (Німеччина)

У комбінації зі спеціально розробленими скидачами зайвих насінин (рис. 1.34), навіть при високій робочій швидкості досягається відмінна точність подачі насіння. Вирішальним фактором, при транспортуванні насінин висівним диском, виступає плавний перехід від колового руху до руху по прямій. Так, насінини подаються у вертикальну трубку насіннєпроводу, уникаючи дії відцентрових сил, що скорочує їх коливальні рухи. Насінини падають в борозну по дотичній, що дозволяє значно знизити їх втрати, у вигляді пропусків.

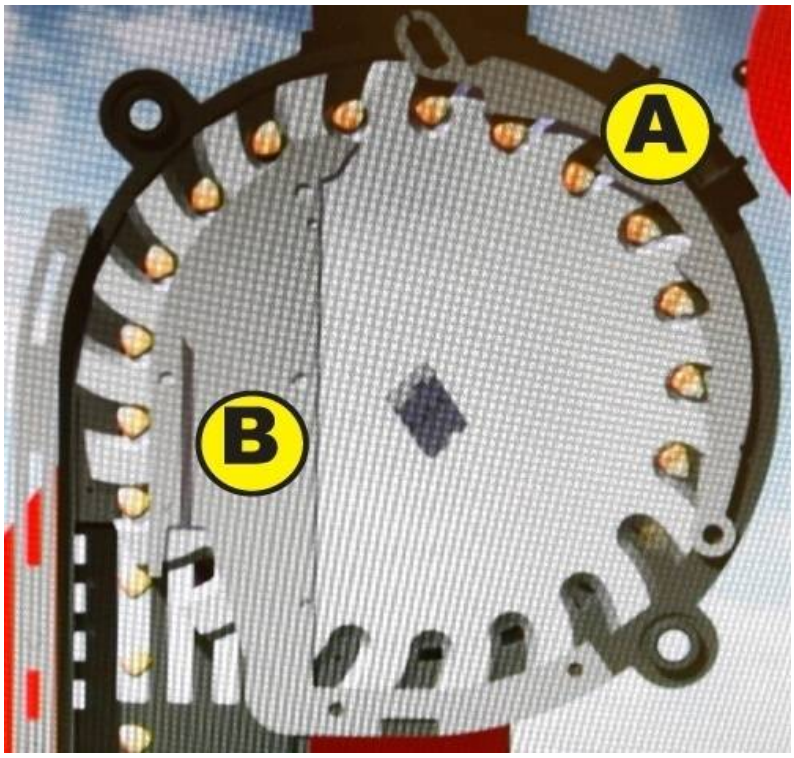


Рис. 1.34. Скидачі зайвих насінин висівного апарата Maestro SW HORSCH (Німеччина)

Перший скидач (А) запобігає присмоктуванню до комірки насіння-двійників у вакуумній зоні. Так, якщо в комірці знаходяться дві насінини, одна з них буде відділена.

Можливе 9-ступінчасте регулювання положення скидача залежно від розміру (калібру) насіння.

Другий скидач (В) призначений для перетворення руху насіння по колу (разом з диском) в рух по прямій, в зоні припинення дії вакууму.

В висівному апараті (рис. 1.35) довгасті та відкриті по периферії комірки, вертикально розташованого диска разом з скидачем в зоні вирівнювання тисків, сприяють плавному переходу насінин з руху по колу в рух по прямій. Завдяки цьому, вдається знизити значну кінетичну енергію, одержувану насініною внаслідок дії на неї відцентрової сили. В результаті насінина потрапляє до сошника лише під дією сили тяжіння, незалежно від швидкості обертання висівного диска.

Рис. 1.35. Висівний апарат фірми HORSCH (Німеччина)

Сівалка Maestro обладнана датчиками контролю розміщення насіння у борозні, які фіксують точну кількість насінин та інтервали між ними. Електронна система контролю збирає, обробляє та передає на монітор інформацію, що відображає якість посіву в кожному рядку:

– кількість пропусків;

– кількість двійників;

– коефіцієнт варіації;

– необхідну і фактичну норму висіву.

Внаслідок цього забезпечується постійний і об'єктивний контроль якості пунктирного висіву насіння просапних культур.

Оператор має можливість вчасно відреагувати на зміну різних параметрів (наприклад, якості насіння або обробітку ґрунту), і залежно від цього, оптимально підібрати робочу швидкість, щоб зберегти високу точність сівби [24].

Відомим вітчизняним виробником посівної техніки є підприємство ПАТ «Червона зірка» (м. Кіровоград). **Широке розповсюдження в Україні та за кордоном знайшли** універсальні 6, 8, 16 рядні пневмомеханічні сівалки VESTA та **VEGA (Україна). Сівалка VEGA 8 PROFI** (рис. 1.36) призначена для точного висіву каліброваного насіння кукурудзи, соняшнику, рицини, сорго, сої, а також насіння кормових бобів, квасолі, люпину за традиційною і мінімальною технологією обробітку ґрунту, з одночасним, роздільним від насіння, внесенням гранульованих мінеральних добрив. При робочій швидкості сівалки в 9 км/год можливо за одиницю часу засіяти більше 5-ти га просапних культур.

Рис. 1.36. Вакуумна сівалка точного висіву VEGA 8 PROFI (Україна)

Також можливий висів некаліброваного насіння, але в такому випадку точність буде прямо залежати від різниці в розмірах і ступеню пошкодження посівного матеріалу. Сівалка **VEGA 8 PROFI є удосконаленою моделлю сівалок точного висіву, на основі добре зарекомендованої на пострадянському просторі сівалки СУПН-8. Особлива увага в удосконаленні сівалки СУПН-8 приділялась її висівному апарату. На сівалці VEGA 8 PROFI встановлено висівний апарат нової конструкції (рис. 1.37), в якому обґрунтовані основні параметри та враховані і до**

мінімуму зведені недоліки попередніх конструкцій висівних апаратів СУПН та УПС. Дозатором насіння, як у більшості виробників-брендів, є плоский вертикальний висівний диск з периферійними комірками. На одній стороні диска прикріплена ворушилка, яка запобігає утворенню та зависанню насіння. За рахунок збільшення діаметра висівного диска, виникла можливість збільшення робочої швидкості без втрат якості висіву, що є важливим критерієм для точного посіву. Особливістю висівного апарата є наявність верхнього та нижнього скидача зайвих насінин, що дозволяє виключити двійники і здійснити однозернове дозування насіння.

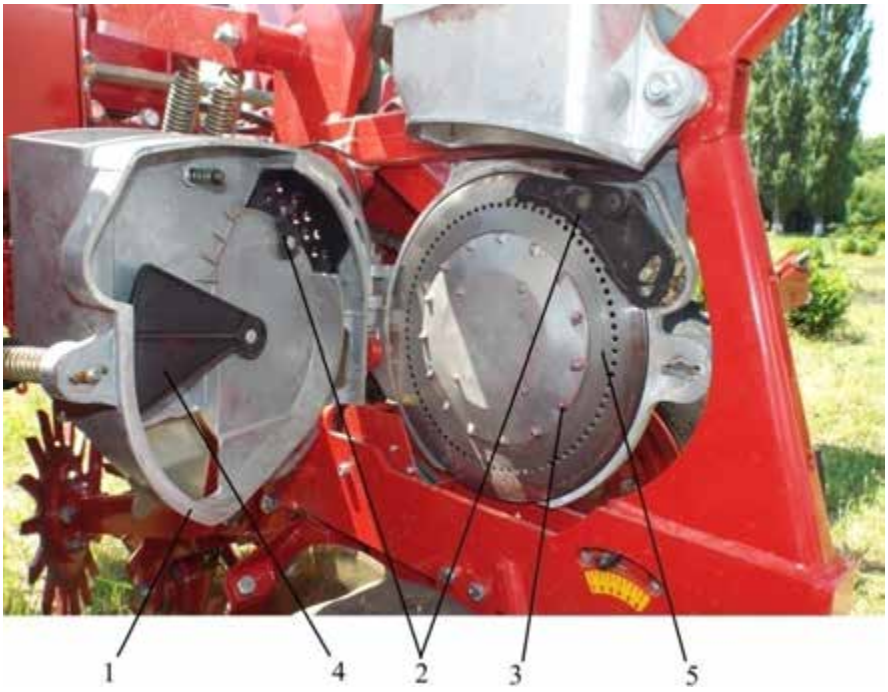


Рис.1.37. Висівний апарат **сівалки VEGA 8 PROFI (Україна):**
1 – відкриваюча кришка висівного апарата; 2 – верхній та нижній скидач зайвих насінин; 3 – **ворушила; 4 – регулююча заслінка; 5 – висівний диск.**

Сівалка **VEGA 8 PROFI є втіленням передових конструкторських розробок та рішень, що дають можливість достойно конкурувати з виробниками-брендами на ринку посівної техніки. За рахунок простоти конструктивних рішень, якості виготовлення та цінової політики**

сівалка є одною з кращих в Україні та на пострадянському просторі для невеликих фермерських господарств спеціалізованих на вирощуванні технічних культур.

Основні переваги висівного апарата **сівалки VEGA 8 PROFI**:

– можливість якісно висіяти насіння найрізноманітніших фракцій (різної ваги і форми). Навіть якщо змішати декілька різних фракцій, якість посіву знижується незначно;

– можливість проводити посів при більш високих швидкостях, підвищуючи продуктивність посівного агрегату. Швидкість залежить тільки від якості обробітку поля, а не від конструкції висівного апарата;

– простота конструктивного рішення з доступністю технічного обслуговування, регулювання і налаштування на посів різних культур [25].

Добре зарекомендувала себе розповсюджена в нашій країні сівалка фірми KINZE (США) серії 3000, яка обладнана висівними секціями з вакуумним висівним апаратом EDGEVAC (рис. 1.38).

Рис. 1.38. Пневмомеханічний висівний апарат EDGEVAC фірми KINZE (США) [35, 36]

Призначена сівалка для точного висіву кукурудзи, сої, соняшника, сорго, харчових бобів, насіння цукрового буряка з можливістю одночасного внесення добрив при швидкості руху до 12 км/год. В основному висівний апарат забезпечує точний розподіл насіння, рівномірну відстань між насінинами, мінімально пошкоджує насіннєвий матеріал. Для скидання зайвих насінин висівний апарат EDGEVAC обладнаний щітковими скидачами, що запобігають утворенню двійників. Особливістю апарата є

конструкція його висівного диска, що утримує і скидає насіння з торця в центр насіннєпроводу (рис. 1.39).

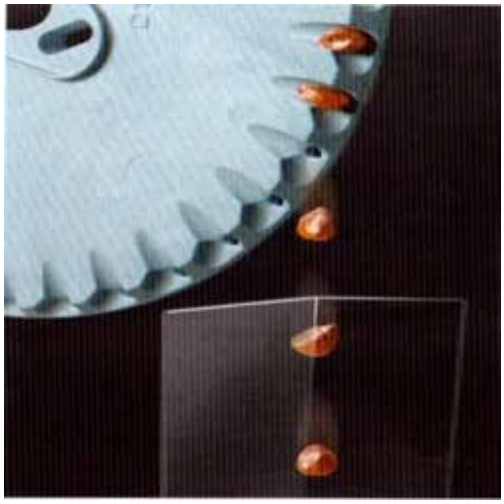


Рис. 1.39. Торцевий дисковий дозуючий елемент сівалки KINZE (США)

Ця особливість дає можливість проводити посів на схилах, без втрат якості висіву. Для точного висіву насіння різних культур передбачені диски з різними по формі і кількістю комірками в торцю диска. Як і більшість сучасних сівалок, сівалка KINZE серії 3000 обладнана системою електронного контролю висіву, яка за допомогою оптичних датчиків підраховує кількість пропусків, двійників, контролює норму висіву на великих швидкостях, та з різними типами і розмірами насіння. Вся інформація надходить на монітор, що розміщується в кабіні трактора [26]. Проведений аналіз шляхів підвищення якості висіву насіння просапних технічних культур та особливостей конструкцій апаратів для виконання операції посіву показав, що незважаючи на суттєві досягнення в напрямку підвищення точності виконання операцій і різноманітності запропонованих конструктивних рішень апаратів, необхідність в підвищенні точності посіву залишається актуальною проблемою. Перспективним в цьому напрямку слід вважати продовження досліджень по удосконаленню операцій захвату насінин коміркою при відокремленні їх від загальної маси і формуванні

однозернового потоку. Виходячи з цього в даній роботі поставлені наступні основні задачі досліджень.

Задачі досліджень:

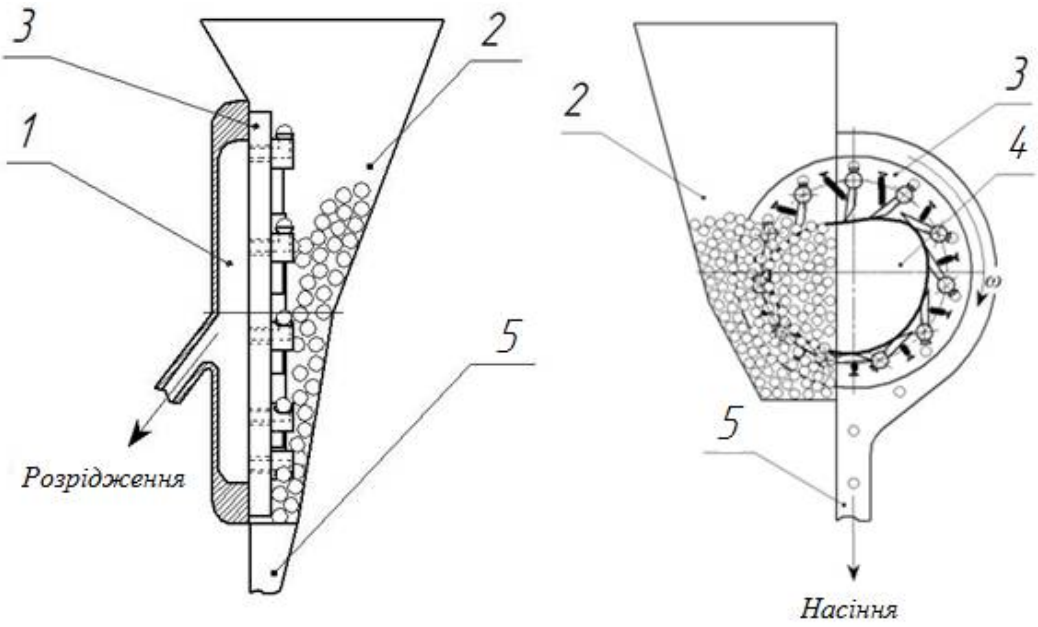
1. Виявити особливості конструктивних рішень висівних апаратів для подальшого їх удосконалення і підвищення точності висіву.
2. Встановити закономірності зміни зусиль при захваті насіння присмоктуючою коміркою.
3. Вивчити фази руху дозуючого елемента і розподіл зусиль діючих на відокремлену насінину для обґрунтування секторів захвату, транспортування, скидання зайвих насінин і скидання основної насінини при формуванні однозернового потоку.
4. Вишукати конструктивні рішення висівного апарата з направленим вектором присмоктування.
5. Визначити основні стохастичні характеристики роботи дослідного апарата: ймовірність утворення двійників; ймовірність виникнення пропусків; ймовірність точності висіву.
6. Дати технічну оцінку ефективності впровадження результатів досліджень у сільськогосподарське виробництво.

2. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ НАСІНИН ПНЕВМОМЕХАНІЧНИМ АПАРАТОМ З КОМІРКОЮ НАПРАВЛЕНОЇ ДІЇ

Пневмомеханічні апарати знайшли широке розповсюдження для висіву насіння різних культур. Основною операцією, від якої залежить ефективність роботи апарату, є дозування насінин, тобто відокремлення від загальної маси окремих насінин і направлення їх у борозну регулярним потоком. Внаслідок розбіжностей у формах насінин, їх фізико-механічних властивостей і стану зовнішніх поверхонь в роботі пневмомеханічних апаратів навіть при досконалому їх регулюванні спостерігаються порушення у вигляді пропусків або одночасного захвату і висіву декількох насінин (двійникування). Робота висівного апарата вважається тим досконалішою, чим менше недоліків він допускає. На покращення конструктивних рішень пневмомеханічних висівних апаратів і їх функціонування направлено багато робіт. Одним з них є пропозиція стосовно розробки апарату з торцевим розташуванням комірок направленої дії [64, 65, 66].

2.1. Опис пневмомеханічного апарата з торцевим розташуванням комірок направленої дії

Гіпотеза розробки висівного апарата з коміркою направленої дії полягає в створенні пневмомеханічного апарата з коміркою, що змінює своє положення для кращої своєї орієнтації відносно дозуючих насінин. Ідея розробки такого апарата полягає в підвищенні точності висіву [91].
Висівний апарат складається з вакуумної камери 1 (рис. 2.1), до якої приєднано насіннєву камеру 2. Між камерами встановлено висівний диск.



а) б)

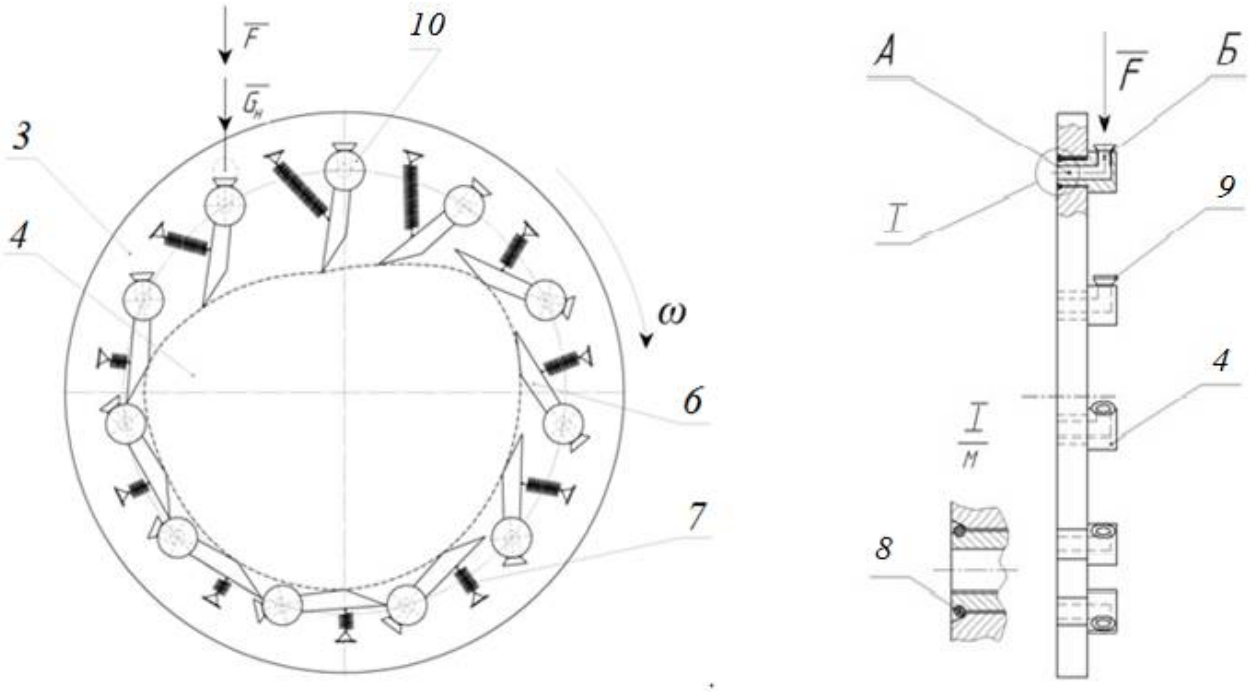
Рис. 2.1. Схема висівного пневмомеханічного апарата з поворотною коміркою: 1 – вакуумна камера; 2 – насіннєва камера; 3 – висівний диск; 4 – нерухомий копір; 5 – насіннєпровід.

Висівний диск 3 (рис. 2.2) представляє собою пластину, в якій по колу діаметром *D* виконано наскрізні свердлення, в які вмонтовані поворотні комірки 10 з важелями 6, кінці яких за допомогою пружин 7 притиснені до робочої поверхні копіра 4. Кінці осьового свердлення *А* і радіального свердлення *Б* поворотної комірки 10 співпадають. Свердлення *Б* мають конічні сопла 9. Поворотна комірка 10 вмонтована в висівний диск 3 і фіксується стопорним кільцем 8.

Пневмомеханічний висівний апарат працює наступним чином. При роботі висівного апарата під дію зовнішнього джерела у вакуумній камері утворюється розрідження в межах *4,0…5,0 кПа*. Розрідження передається по свердленнях *А* поворотної комірки 10 до свердлень *Б*.

За рахунок розрідження з насіннєвої камери 2 до сопла 9 свердлень *Б* поворотної комірки 10 висівного диска 3 присмоктується насінина і обертається разом з висівним диском 3. При цьому поворотна комірка 10 з

насініною копіює за рахунок важелів 6 робочу поверхню нерухомого копіра 4. Радіальне свердлення *Б* поворотної комірки 10 буде перебувати у вертикальному положенні до тих пір, поки осьове свердлення *А* поворотної комірки 10 не вийде з площини вакуумної камери 1. На насінину припиняється дія розрідження і вона за рахунок власної ваги потрапляє в насіннєпровід 5, а далі у сошник.



а) б)

Рис. 2.2. Дозуючий диск з поворотною коміркою: 3 – висівний диск; 4 – нерухомий копір; 6 – важіль; 7 – пружина; 8 – стопорне кільце; 9 – сопло комірки; 10 – поворотна комірка.

Завдяки наявності нерухомого копіра 4 та важелів 6 поворотної комірки 10, радіальне свердлення *Б* займає вертикальне положення від моменту захвату насінини з насіннєвої камери 2 до моменту припинення дії на неї розрідження.

Передбачається, що внесені зміни в конструкцію апарата забезпечать найкращі умови захвату, утримання та виносу з маси насіння окремої

насінини з транспортуванням її до насіннєпроводу навіть при незначному розрідженні у вакуумній камері.

2.2. Дослідження закономірності зміни присмоктуючої сили від відстані до комірки

Основним недоліком розповсюджених пневмомеханічних висівних апаратів з плоским дисковим дозуючим елементом є те, що напрямок дії присмоктуючої сили направлений перпендикулярно напрямку вектора лінійної швидкості комірки висівного диска [64]. Тобто, комірка проходить як би мимо насінини і за короткий термін їх взаємної експозиції повинен відбутися акт присмоктування і захвату насінини. Для підвищення надійності виконання цього процесу виникає необхідність збільшення ступеня розрідження в пневматичній системі. Однак з підвищенням розрідження, в наслідок нещільності прилягання насінин до отвору комірки, неминуче збільшується ймовірність одночасного захвату декількох насінин (двійників). Удосконаленням конструкцій апаратів у напрямку підвищення ефективності дозування, можна вважати розробку принципово нового апарата з направленим вектором присмоктування насінин [65]. Першими спробами конструктивних рішень, слід вважати розробку апаратів з торцевим розташуванням комірок. Уже в цих апаратах постає нове наукове завдання вивчення процесу захвату насінин в полі вакуумного розрідження, тобто визначення зміни зусилля в залежності від відстані між насіниною і присмоктуючою коміркою. Причому, в даному випадку, визначення закону зміни зусилля має важливе значення, оскільки вектори сили присмоктування і взаємного переміщення насінини і комірки знаходяться в одному напрямку. Схема взаємодії присмоктуючої комірки з насіниною представлено на рис. 2.3.

Для спрощення викладок насінина представлена у вигляді сфери радіуса ρ, що відповідає формі насінин гороху, сої та гранульованого висівного матеріалу. Так як, метою даного дослідження є виявлення впливу відстані

між насіниною і коміркою на присмоктуючу силу, то дія інших сил (реакція сусідніх насінин, вага, відцентрова і Коріоліса сили) у випадках наявності кутового і радіального переміщень, у даному дослідженні не враховуються. Правомірно також прийняти, що присмоктуюча сила, переважно, діє на крайню ближчу в шарі насінину.

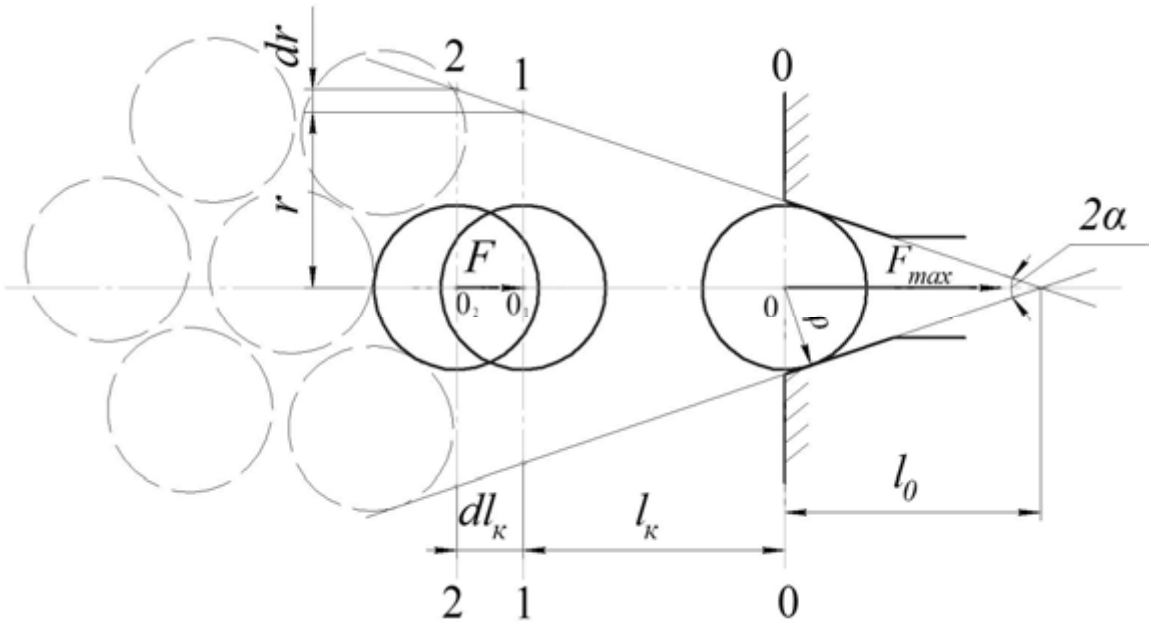


Рис. 2.3. Схема взаємодії комірки з насіниною

Якщо насінина (частинка) захоплена коміркою, то відстань $l_к = 0$, і сила присмоктування набуває свого максимального значення $F = F_{\max}$. При більших величинах відстані $l_к > 0$, сила присмоктування зменшується $F < F_{\max}$. В дослідженні необхідно знайти закон по якому змінюється ця сила, тобто встановити функціональну залежність $F = f\left(l_к\right)$.

При конічній формі присмоктуючої комірки, на відносно невеликих відстанях між насіниною і коміркою, що і відбувається в завантажувальних камерах, присмоктуючий потік повітря також формується близьким до конічного, і розширюється по мірі віддалення від вершини. Таким чином, площа основи конуса збільшується зі збільшенням відстані $l_к$, а розрідження

в ній при незмінній $F_{\max}$ поступово зменшується. Тоді в загальному вигляді можна записати наступне відношення:

$$P = \frac{F_{\max}}{S_к}, \tag{2.1}$$

де $S_к$ – площа основи конуса (переріз $0-0$).

Для положення $2-2$ (рис. 2.3), що відображує збільшення площі конуса при елементарному приросту відстані $dl_к$, площа представляється сумою

$$S_{2-2} = S_{1-1} + dS.$$

Так як, $S_{1-1} = \iint\limits_S rd \cdot rd\varphi = \int\limits_0^{2\pi} d\varphi \int\limits_0^r rdr = 2\pi \int\limits_0^r rdr = \pi r^2$, то для положення $2-2$ справедливо $S_{2-2} = \pi\left(r + dr\right)^2$.

Розкриваючи дужки маємо:

$$S_{2-2} = \pi\left(r^2 + 2r \cdot dr + dr^2\right).$$

Враховуючи, що dr^2 нескінченно мала величина, і нею можна знехтувати, для практичних цілей достатньо мати дві складові

$$S_{2-2} = \pi r^2 + 2\pi r \cdot dr$$

Тоді зміна розрідження в перетині конуса $2-2$ як зв'язок між нескінченними малими величинами згідно (2.1) запишеться

$$dP = \frac{F_{\max}}{2\pi \int\limits_0^r rdr + 2\pi r \cdot dr}$$

В цьому ж січені диференціал зміни сили, що діє на насінину складає:

$$dF = dP \cdot S_н,$$

де $S_н = \pi\rho^2$ – площа діаметрального перетину насінини (частинки).

Враховуючи, що $2rdr = \left(r^2\right)'$ запишемо рівняння для сили в інтегральному вигляді

$$F = \frac{F_{\max}}{2\pi \int_0^r r dr + \pi \int_0^r d(r^2)} \pi \rho^2$$

Після інтегрування і алгебраїчних спрощень маємо:

$$F = \frac{F_{\max}}{2r^2} \rho^2 + C,$$

де C – постійна інтегрування.

З геометричних побудов (рис. 2.3) видно, що $r = \left(l_к + l_0\right) tg\alpha$,

де α – кут конусності присмоктуючого отвору.

Підставляючи значення r і переходячи до параметру відстані між частинкою і коміркою маємо:

$$F = \frac{F_{\max}}{2\left(l_к + l_0\right)^2 tg^2\alpha} \rho^2 + C \qquad (2.2)$$

Постійна інтегрування визначається з початкових умов, коли при $l_к = 0$ сила $F = F_{\max}$. Тоді рівняння (2.2) можна переписати наступним чином

$$F_{\max} = \frac{F_{\max}}{2{l_0}^2 tg^2\alpha} \rho^2 + C$$

Звідкіля

$$F_{\max}\left(1 - \frac{\rho^2}{2{l_0}^2 tg^2\alpha}\right) = C \qquad (2.3)$$

Відстань l_0 доцільно виразити через радіус частинки ρ.

$$l_0 = \frac{\rho}{\sin\alpha}.$$

Підставивши в (2.3) після скорочень маємо:

$$C = F_{\max}(1 - \frac{1}{2}\cos^2\alpha)$$

Повертаючись до рівняння (2.2) і підставляючи значення постійної інтегрування в кінцевому вигляді запишемо:

$$F = \frac{F_{\max}}{2\left(l_к + \frac{\rho}{\sin\alpha}\right)^2 tg^2\alpha}\rho^2 + F_{\max}\left(1 - \frac{1}{2}\cos^2\alpha\right) \qquad (2.4)$$

Зв'язок між відстанню до частинки і силою її присмоктування коміркою встановлює перша складова отриманого рівняння. З рівняння видно, що сила присмоктування зменшується обернено квадрату відстані до частинки. Крім того, вона росте пропорційно величині розрідження у вакуумній камері висівного апарата і квадрату радіуса (площі) робочого отвору комірки. При зменшені відстані до мінімального свого значення $l_к \to 0$ присмоктуюча сила прямує до максимального значення $F \to F_{\max}$ (рис. 2.4).

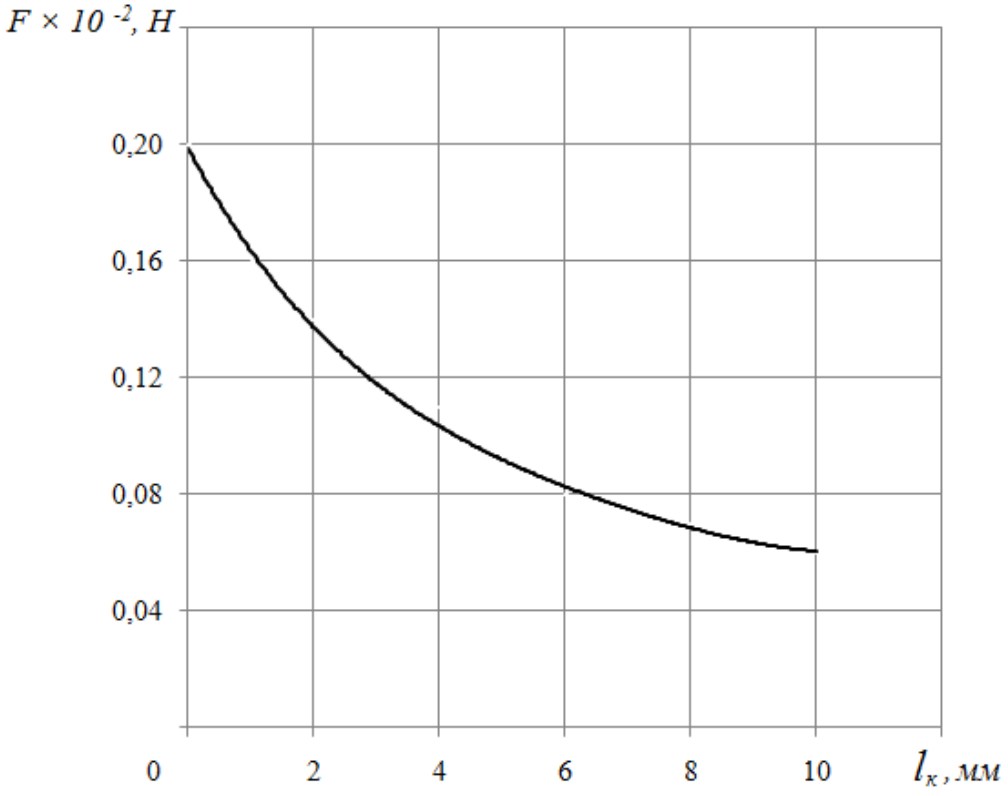


Рис. 2.4. Закономірність зміни присмоктуючої сили F від відстані між коміркою та насіниною $l_к$

При збільшені відстані до нескінченності $l_к \to \infty$ сила присмоктування зменшується і прямує до асимптотичного свого значення,

$$F = F_{\max}(1 - \frac{1}{2}\cos^2 \alpha)$$

відображаючи загальний рівень розрідження у вакуумній камері висівного апарата [80, 88].

2.3. Теорія захвату насінин присмоктуючою коміркою дозатора

Виділення (захват) окремої насінини із загальної маси відбувається в камері завантажування. Камеру доцільно розташовувати в нижній частині висівного апарата. Тобто, це може бути третя або четверта чверть при переміщенні дозуючого диска (рис. 2.5). Враховуючи необхідність передбачити інші фази роботи апарата: транспортування, скидання зайвих насінин, скидання основної насінини, операцію завантажування раціонально організовувати в четвертому квадранті, де реалізується можливість нижнього розташування завантажувальної камери, тоді всі інші фази роботи апарата для формування однозернового потоку можуть бути розташовані в логічній їх послідовності [89]. На підставі вищевикладеного, загальна схема взаємодії окремої насінини з присмоктуючою коміркою представлена на рис.2.5.

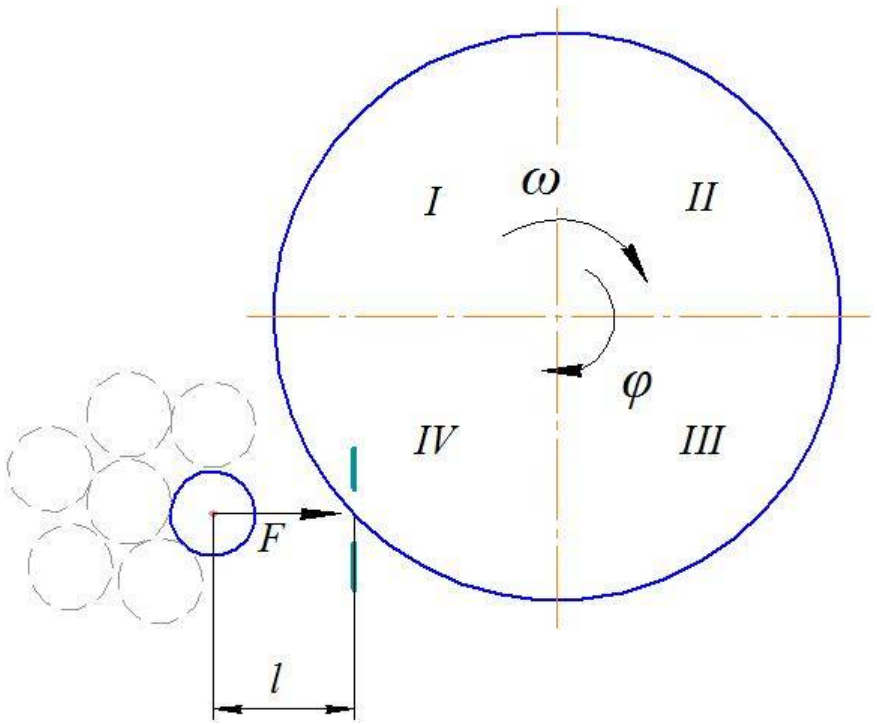


Рис. 2.5. Схема взаємодії насінини з коміркою при її захваті

Слід відмітити, що зернова маса під дією спеціальної ворушилки і повітряних потоків в завантажувальній камері може бути представлена псевдо-розрідженою субстанцією, в якій дія сили тяжіння на окрему частинку зрівноважується іншими силами взаємодії з сусідніми частинками, опором повітря і лопатками елементів ворушилки.

Тому, з достатньою для практичних цілей точністю, враховуючи, що присмоктуюча сила суттєво перебільшує силу тяжіння, дією останньої з урахуванням того, що вона направлена під значним кутом до переміщення, можна знехтувати.

На підставі попередніх досліджень (розділ 2.2) встановлено, що найбільша сила присмоктування, діє в напрямку перпендикулярному площині орієнтації площадки комірки. Звідкіля витікає доцільність орієнтації площадки в період захвату частинки в горизонтальному напрямку під прямим кутом до присмоктуючої сили F .

Ще однією особливістю взаємодії комірки з насіниною, є їх взаємне зустрічне переміщення в період захвату. Однак слід відмітити, що захват і рух частинки на зустріч з коміркою стає можливим тільки при наявності

певної величини сили присмоктування F , яка визначається критичної відстанню між ними. При досягненні цієї відстані, процес захвату відбувається по наростаючій залежності, так як, присмоктуюча сила збільшується обернено квадрату відстані. Тобто при захваті частинки коміркою, її переміщення до неї протікає швидше, в порівнянні з переміщенням дозуючого елемента (диска). Це дає підстави, в дослідженні відносного руху, не враховувати переміщення диска (присмоктуючої комірки), що суттєво спрощує завдання по математичному моделюванню процесу захвата насінин коміркою.

Приведені спрощення і допущення дають можливість розглянути процес захвату насінини коміркою пневмомеханічного висівного апарата з направленим вектором присмоктування наступним чином. Орієнтована на зернову частинку комірка при деякій критичній відстані між ними, починає присмоктувати частинку з силою, що визначається згідно формули (2.4). Така спрощена схема взаємодії представлена на рис.2.6.

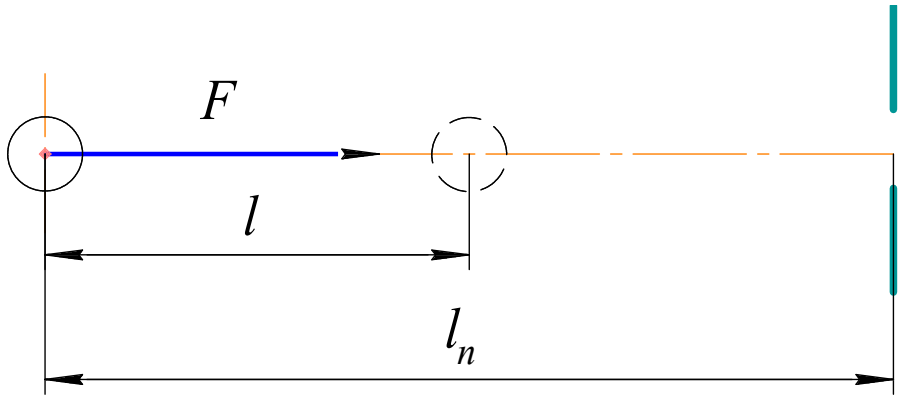


Рис. 2.6. Схема присмоктування насінини орієнтованою коміркою

Так як, присмоктуюча сила залежить від відстані, то диференційне рівняння динаміки руху для насінини може бути записано наступним чином

$$m\frac{d^2l}{dt^2}=\frac{F_{\max}}{2\left(l+\frac{\rho}{\sin\alpha}\right)^2 tg^2\alpha}+F_{\max}\left(1-\frac{1}{2}\cos^2\alpha\right) \qquad (2.5)$$

Звідкіля

$$\frac{d^2l}{dt^2} = \frac{F_{\max}}{2\left(l + \frac{\rho}{\sin\alpha}\right)^2 tg^2\alpha \cdot m} + \frac{F_{\max}(1 - \frac{1}{2}\cos^2\alpha)}{m} \qquad (2.6)$$

Позначивши

$$\frac{\rho}{\sin\alpha} = n\ ;$$

$$\frac{F_{\max}}{2tg^2\alpha \cdot m} = k^2\ ;$$

$$\frac{F_{\max}(1 - \frac{1}{2}\cos^2\alpha)}{m} = C_0\ ,$$

Рівняння (2.6) запишемо скорочено

$$l'' = \frac{k^2}{(l+n)^2} + C_0 \qquad (2.7)$$

Для подальшого рішення виконаємо необхідні математичні перетворення [82]. Помножимо обидві частини рівняннями (2.7) на $2l'dt$. Тоді маємо:

$$l''\cdot 2l'dt = \frac{k^2}{(l+n)^2}\cdot 2l'dt + C_0 \cdot 2l'dt$$

Співмножник лівої частини є диференціал від $(l')^2$. Тому можна записати

$$d\left[(l')^2\right] = \frac{k^2 2dl}{(l+n)^2} + C_0 2dl$$

Інтегруючи ліву і праву частину рівності маємо:

$$(l')^2 = 2k^2\int_0^l \frac{dl}{(l+n)^2} + 2C_0\int_0^l dl$$

або

$$(l')^2 = \frac{2k^2}{(l+n)} + C_1 + 2C_0 l + C_2$$

Представимо суму $C_1 + C_2 = C_3$

$$l' = \sqrt{\frac{2k^2}{(l+n)} + 2C_0 l + C_3}$$

або $$\frac{dl}{dt} = \sqrt{\frac{2k^2}{(l+n)} + 2C_0 l + C_3}$$

Звідки $$dl = \sqrt{\frac{2k^2}{(l+n)} + 2C_0 l + C_3} \cdot dt$$

Виконаємо алгебраїчні перетворення

$$dl = \sqrt{\frac{2k^2 + 2C_0 l(l+n) + C_3(l+n)}{l+n}} \cdot dt \tag{2.8}$$

$$dl = \frac{1}{\sqrt{l+n}} \sqrt{2k^2 + 2C_0 l^2 + 2C_0 ln + C_3 l + C_3 n} \cdot dt$$

Згрупуємо члени по степеням невідомої

$$dl = \frac{1}{\sqrt{l+n}} \sqrt{2C_0 l^2 + l(2C_0 n + C_3) + (2k^2 + C_3 n)} \cdot dt$$

позначивши

$$a = 2C_0;$$

$$b = 2C_0 a + C_3;$$

$$d = 2b^2 + C_3 a,$$

скорочено запишемо

$$dl = \frac{1}{\sqrt{l+n}} \sqrt{(al^2 + bl + d)} \cdot dt$$

Отримано диференційне рівняння зі змінними, що допускають розділення.

Розділивши їх, маємо наступну рівність

$$\int_0^l \frac{\sqrt{l+n}\cdot dl}{\sqrt{al^2+bl+d}} = \int_0^t dt \tag{2.9}$$

Точне вирішення лівого інтегралу представляє математичні труднощі, які не оправдані практичним застосуванням його для поставленого завдання. Тому для отримання приблизних рішень, функцію в чисельнику лівого інтегралу доцільно розкласти в степеневий ряд Тейлора. Обмежившись першими трьома членами ряду маємо:

$$\sqrt{l+n} = \sqrt{n} + \frac{l}{2\sqrt{n}} - \frac{l^2}{8n}\cdots \tag{2.10}$$

Повертаючись до рівняння (2.9) і підставляючи члени ряду (2.10) запишемо:

$$\sqrt{n}\int_0^l \frac{dl}{\sqrt{al^2+bl+d}} + \frac{1}{2\sqrt{n}}\int_0^l \frac{ldl}{\sqrt{al^2+bl+d}} + \frac{1}{8n}\int_0^l \frac{l^2dl}{\sqrt{al^2+bl+d}} = \int_0^t dt$$

Представлені інтеграли лівої частини рівності є такими, що вирішуються і згідно довідкових даних [83-86] дорівнюють:

$$I_1 = \int_0^l \frac{dl}{\sqrt{al^2+bl+d}} = \frac{1}{\sqrt{a}} ln\left[2\sqrt{a(al^2+bl+d)} + 2al + b\right] + C_4$$

$$I_2 = \int_0^l \frac{ldl}{\sqrt{al^2+bl+d}} = \frac{\sqrt{al^2+bl+d}}{a} - \frac{b}{2a} I_1 + C_5$$

$$I_3 = \int_0^l \frac{l^2dl}{\sqrt{al^2+bl+d}} = \left(\frac{l}{2a} - \frac{3b}{4a^2}\right)\sqrt{al^2+bl+d} + \frac{3b^2-4ad}{8a^2} I_1 + C_6$$

Таким чином, всі складові визначені і саме рішення в компактному вигляді може бути представлено наступним чином

$$\sqrt{n}\cdot I_1 + \frac{1}{2\sqrt{n}} I_2 + \frac{1}{8n} I_3 = t \tag{2.11}$$

Кожна з отриманих складових рішення має логарифмічний зв’язок з часом захвату коміркою насінини. Це означає, що і в цілому для всієї залежності такий зв’язок теж зберігається.

Рівняння (2.11) можна переписати наступним чином

$$\sqrt{n}\cdot I_1+\frac{1}{2\sqrt{n}}\cdot\frac{\sqrt{al^2+bl+d}}{a}-\frac{b}{2a}\cdot\frac{1}{2\sqrt{n}}I_1+C_5\frac{1}{2\sqrt{n}}+$$

$$+\left(\frac{l}{2a}-\frac{3b}{4a^2}\right)\cdot\sqrt{al^2+bl+d}+\frac{3b^2+4ad}{8a^2}\cdot I_1+C_6=t$$

Згрупувавши складові маємо:

$$\begin{aligned}&I_1\left(\sqrt{n}-\frac{b}{4a\sqrt{n}}+\frac{3b^2+4ad}{8a^2}\right)+\\&+\left(\frac{1}{2\sqrt{n}\cdot a}+\frac{l}{2a}-\frac{3b}{4a^2}\right)\sqrt{al^2+bl+d}+\frac{1}{2\sqrt{n}}C_5+C_6=t\end{aligned}\qquad(2.12)$$

Або позначивши

$$\sqrt{n}-\frac{b}{4a\sqrt{n}}+\frac{3b^2+4ad}{8a^2}=A$$

$$\left(\frac{1}{2\sqrt{n}\cdot a}+\frac{l}{2a}-\frac{3b}{4a^2}\right)\sqrt{al^2+bl+d}=B(l)$$

рівняння (2.12) можна представити у вигляді

$$I_1\cdot A+B(l)+\frac{1}{2\sqrt{n}}C_5+C_6=t\qquad(2.13)$$

Щоб виділити постійну складову, що входить в рівняння (2.13) розкриємо перший добуток, в якому при рішенні інтегралу вже появляється постійна інтегрування. Тоді

$$\left\{\frac{1}{\sqrt{a}}\ln\left[2\sqrt{a(al^2+bl+d)}+2al+b\right]+C_4\right\}A=$$

$$=\frac{1}{\sqrt{a}}\ln\left[2\sqrt{a(al^2+bl+d)}+2al+b\right]\cdot A+C_4A$$

Внесемо результат в (2.13)

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\ln\left[2\sqrt{a(al^2+bl+d)}+2al+b\right]\cdot A+$$
$$+C_4A+B(l)+C_5+C_6=t \qquad (2.14)$$

Враховуючи, що величина A не містить змінної l, а є сталою і об'єднуючи всі сталі величини в єдину

$$C_\Sigma = C_4A+C_5+C_6$$

рівняння (2.14) представляється наступним чином:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}A\ln\left[2\sqrt{a(al^2+bl+d)}+2al+b\right]+B(l)+C_\Sigma=t \qquad (2.15)$$

Постійну інтегрування C_Σ, що включає інші постійні інтегрування, а також постійні величини можна знайти з початкових умов.

Поклавши, що при $t=0$, шлях $l=0$. Підставляючи початкові умови в (2.14) і вирішуючи рівняння відносно постійної C_Σ маємо:

$$C_\Sigma=\frac{3b}{4a^2}\sqrt{d}-\frac{\sqrt{d}}{2\sqrt{n}\cdot a}-\frac{1}{\sqrt{2}}A\ln\left(2\sqrt{ad}+b\right)$$

Отримана постійна величина залежить від багатьох конкретних параметрів дозуючого пристрою, умов протікання процесу присмоктування насінини і особливостей її форми і стану поверхні. Значення її може бути встановлено в конкретному експериментальному досліджені. Таким чином, встановлено зв'язок між шляхом і часом переміщення частинки при її захваті коміркою.

Із загального рівняння (2.15) видно, що відстань l визначається першими двома складовими. Причому внесок кожної з них в загальний результат різний. Якщо перша складова приводить до показової функції, то друга встановлює менш вагомий зв'язок між параметрами.

Найбільш впливовою слід вважати логарифмічну частину залежності. Якщо зосередити основну увагу на ній, то зв'язок між пошуковими параметрами на підставі визначення понять логарифму представляється експоненціальним. Це говорить про те, що шлях який проходить частка за одиницю часу швидко

зростає зі збільшенням самого часу. Отриманий результат підтверджує характер руху окремої насінини під дією присмоктуючої сили, яка залежить від відстані обернено пропорційно квадрату самої відстані. Тобто, сила суттєво збільшується при скорочені відстані, що в свою чергу, як показало дане дослідження, веде до прискореного руху при захваті частинки. Але в любому випадку на захват частинки (присмоктування) необхідний деякий час. Він тим більше, чим більша початкова відстань l_n між частинкою і присмоктуючою коміркою. Якщо початкова відстань маленька між коміркою і насініною, то діє відносно велика сила, близька до максимальної і захват відбувається швидко і ефективно. В іншому випадку при початковій відстані близькій до критичної, в наслідок взаємного руху частки і комірки, є деякий час на здійснення процесу захвату. Знаючи критичну початкову відстань можна визначити час, який витрачається на процес захвату частинки коміркою. Враховуючи складність і багатофакторність процесу, для встановлення початкових умов його протікання дане теоретичне дослідження, доцільно доповнити експериментальними даними.

2.4. Аналіз зусиль, що діють на насінини при переміщенні їх дозуючим елементом з орієнтованою коміркою

Об’єднуючим окремі конкретні позиції дозування насінин є їх послідовне переміщення по цим позиціям. В цілому, таке поетапне переміщення складає повний технологічний процес формування зернового потоку.
Насінини, що приймають участь в переміщенні можна розділити на дві групи: основна насінина, яка захоплена коміркою і призначається для висіву, а також можливі супутні зайві, які по тим чи іншим причинам переміщуються дозатором разом з основною і повинні в подальшому бути своєчасно відокремлені.

На захоплену присмоктуючим отвором насінину під час руху з дозуючим диском діють наступні сили: сила присмоктування *F*, сила тяжіння *G* та відцентрова сила *R* (рис. 2.7).

Для аналізу умов утримання необхідної для висіву однієї насінини і скидування можливих зайвих, що ведуть до утворювання двійників, проаналізовано вплив всіх сил, що діють на основну насінину. При цьому діючі сили розкладені на нормальні і тангенціальні складові.

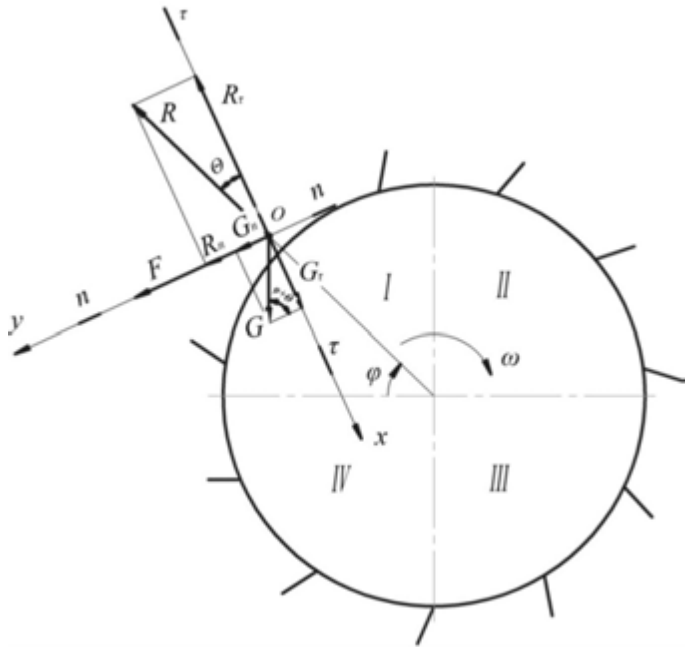


Рис. 2.7. Схема сил та їх проекції, які діють на насінину при транспортуванні

Умовою утримання насінин в площині комірки є рівність або перевага сили тертя *T* над сумою інших складових сил, що діють по дотичній площадки комірки *τ*-*τ*.

$$T \geq \sum_{(\tau-\tau)} \tag{2.16}$$

Правомірно припустити, що для насінини близької по формі до тіла обертання більш ймовірним при переміщенні по поверхні площини комірки буде перекочування. Тоді, враховуючи, що поверхні площини і насінини в контакті своєї взаємодії під дією прикладених сил мало деформовані, можна застосувати закон Кулона. Виходячи з цього для сили тертя кочення запишемо:

$$T \geq \sum_{(n-n)} \cdot \lambda \frac{1}{\rho} \tag{2.17}$$

де $\sum_{(n-n)}$ – сума проекцій векторів сил на нормаль *n-n*;

λ – коефіцієнт тертя другого роду для кочення насінини;

ρ – приведений (усереднений) радіус насінини.

До суми проекцій сил, на нормаль *n-n* входять наступні:

$$\sum_{(n-n)} = F + R_n + G_n \tag{2.18}$$

де R_n , G_n – проекції відцентрової сили і сили ваги;

F – сила присмоктування насінини до поверхні комірки.

Виходячи з геометричних побудов представлених на рис. 2.7 маємо:

$$R_n = R \cdot \sin\Theta; \tag{2.19}$$

$$G_n = G \cdot \cos\left(\varphi + \Theta\right); \tag{2.20}$$

де Θ – кут орієнтації комірки;

φ – кут повороту висівного диска.

Підставивши значення з (2.18 - 2.20) в (2.17) запишемо:

$$T = \left[F + R \cdot \sin\Theta + G \cdot \cos(\varphi + \Theta)\right] \cdot \frac{\lambda}{\rho} \tag{2.21}$$

Права сторона умови (2.17) є сумою складових сил, що діють по дотичній до поверхні комірки, тобто по самій поверхні

$$\sum_{(\tau-\tau)} = R_\tau + G_\tau$$

де R_τ , G_τ - проекції відповідних сил на дотичну $\tau - \tau$

З розкладання сил, що діють на частинку в напрямку осі *OX* маємо:

$$R_\tau = -R \cdot \cos\Theta; \tag{2.22}$$

$$G_\tau = G \cdot \sin(\varphi + \Theta) \tag{2.23}$$

Таким чином сума проекцій сил в площині комірки запишеться:

$$\sum_{(\tau-\tau)} = -R \cdot \cos\Theta + G \cdot \sin\left(\varphi + \Theta\right) \qquad (2.24)$$

Повертаючись до умови утримання насінини (2.16) і підставляючи складові з (2.21) і (2.24) маємо:

$$\left[F + R \cdot \sin\Theta + G \cdot \cos\left(\varphi + \Theta\right)\right] \cdot \frac{\lambda}{\rho} \geq -R \cdot \cos\Theta + G \cdot \sin\left(\varphi + \Theta\right) \qquad (2.25)$$

Змінним параметром в отриманій умові (2.25) є кут обертання φ, який періодично змінює своє значення за повний поворот диска. Управляючим параметром, що може впливати на утримання насінини є присмоктуюча сила *F*, яка діє тільки на єдину основну насінину, що захоплена коміркою. Всі інші повинні бути скинуті, як зайві при формуванні регулярного однозернового потоку.

Після відповідних алгебраїчних перетворень присмоктуюча сила з (2.25) визначається наступним чином:

$$F \geq \frac{\rho}{\lambda}\left[-R \cdot \cos\Theta + G \cdot \sin\left(\varphi + \Theta\right)\right] - R \cdot \sin\Theta - G \cdot \cos\left(\varphi + \Theta\right) \qquad (2.26)$$

Величина цієї сили гарантує утримання насінини у всіх фазах переміщення її дозуючим диском. Те як змінюється присмоктуюча сила в залежності від положення насінини при коловому русі показано на рис. 2.8.

З графіків видно, що присмоктуюча сила залежить від кута повороту згідно синусоїдального закону з періодом в один оберт висівного диска.

Математичний опис і графічне представлення показує, що присмоктуюча сила змінює свою величину в широкому діапазоні значень. Її від'ємні значення говорять про те, що в квадрантах *IV* і *I* руху дозуючого диска в її наявності з точки зору фізичної інтерпретації результату немає необхідності. Для захвату насінин коміркою достатньо дії відцентрової і сили ваги. Така ситуація зберігається до повороту диска близького в середньому до $\varphi \approx 60^0$, після чого для утримання насінини стає необхідним вплив присмоктуючої сили. Представляють практичний інтерес при побудові пневмомеханічних апаратів максимальні значення цієї сили і особливо фази руху дозуючого

диска при яких вони досягаються. Так в пневмомеханічному висівному апараті, що аналізується присмоктуюча сила досягає максимуму в інтервалі кутів повороту диска $\varphi = 140^0 \ldots 200^0$. При чому, максимум сили як і весь її розподіл може зміщуватися в більшу або меншу сторону за рахунок кута орієнтації площини комірки Θ.

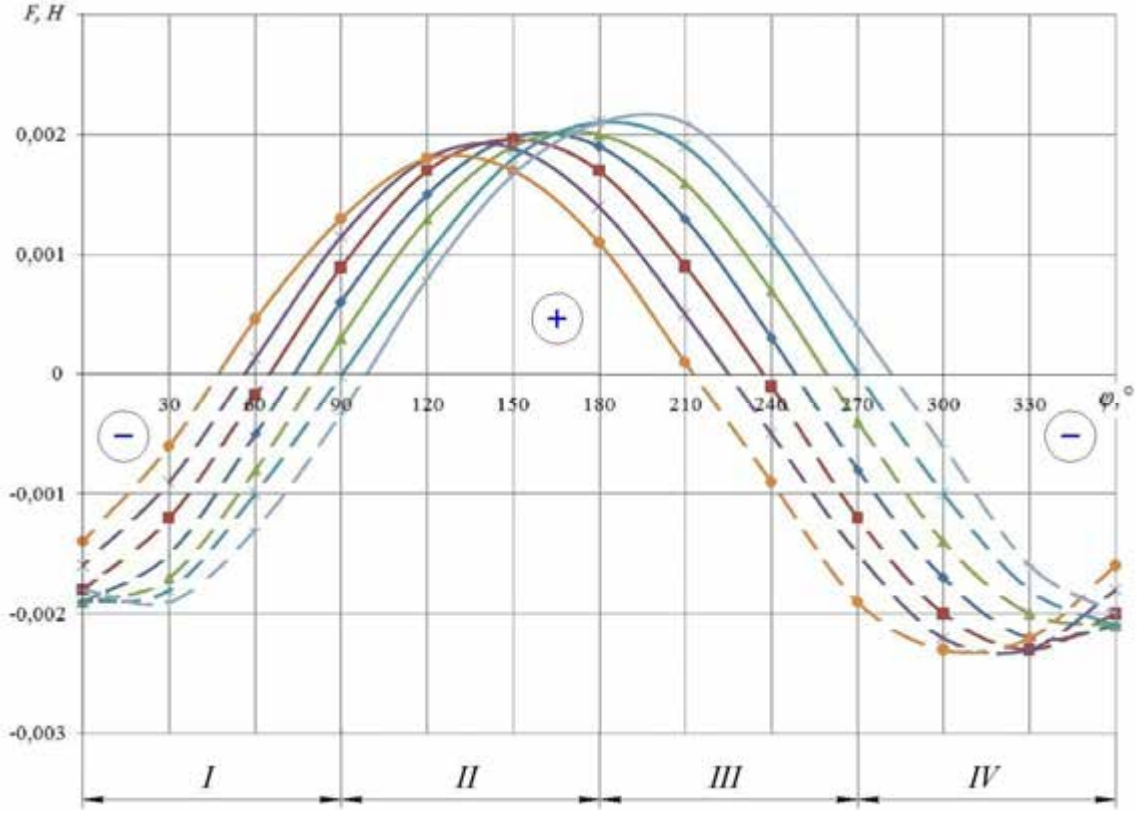


Рис. 2.8. Залежність присмоктуючої сили *F* від кута повороту диска φ при різних положеннях площадки комірки Θ:

$\left(\lambda = 8,5мм,\ \rho = 2мм,\ r = 110мм,\ g = 9,81 м/с^2,\ m = 0,2г,\ \omega = 3,63с^{-1}\right)$;

Θ = 0°; Θ = 10°; Θ = -10°; Θ = 20°; Θ = -20°; Θ = 30°; Θ = -30°.

Таким чином, кут орієнтації Θ може бути використаний як регулюючий параметр при виборі раціонального положення зони скидання зайвих насінин. Однак, остаточне положення зони скидання зайвих насінин необхідно узгодити з дією активних сил і сили тертя, що впливають на напрямок і динаміку їх руху [81].

2.5. Визначення умов скидання зайвих насінин пневмомеханічним висівним апаратом з периферійним торцевим розташуванням присмоктуючих комірок

Важливим елементом функціонування висівного апарату, що суттєво впливає на якість посіву, є своєчасне позбавлення від зайвих насінин, які обумовлюють непотрібний висів двійників.

Фази роботи пневмомеханічного апарату з визначенням зусиль, що діють на насінину розглянуто в попередньому розділі 2.4. Умови скидання зайвих насінин відцентровою силою при переміщенні їх ковзанням представлено в дослідженнях [68] і [73]. Однак, очевидні конструктивні пропозиції, що витікають з цих робіт не в достатній мірі обґрунтовані аналітично, особливо з урахуванням розробки апарату торцевого захвату і переміщення насінин. В цьому випадку, суттєву роль відіграє положення площадки, в якому лежить присмоктувальний отвір (комірка) захвату насінини (рис.2.7). Її орієнтація визначається кутом установки Θ.

Якщо, для насінини захопленої коміркою, важливим є утримання її до моменту скидання в насіннєпровід, то для зайвих насінин навпаки, повинна виконуватися умова їх скидання з площини комірки. Таким чином, зайві насінини під дією прикладених до них сил, повинні бути скинуті з площадки. Доцільно замітити, що в цій фазі руху дозуючого елементу (диска) присмоктуюча сила на зайві насінини не повинна здійснювати суттєвого впливу. Вона діє тільки на ту основну насінину, яка знаходиться в комірці і призначена для висіву.

Враховуючи викладене, умову скидання зайвих насінин, виходячи з рівняння (2.16) можна представити наступним чином

$$T < \sum_{(\tau-\tau)} \quad , \tag{2.27}$$

Після підстановки складових в (2.25) маємо:

$$\left[R \cdot \sin\Theta + G \cdot \cos(\varphi + \Theta)\right]\frac{\lambda}{\rho} < -R \cdot \cos\Theta + G \cdot \sin(\varphi + \Theta), \quad (2.28)$$

Перебільшення суми тангенціальних сил над силами тертя на поверхні присмоктуючої комірки, означає можливість реалізації переміщення насінини по поверхні. Важливим є те, щоб для скидання зайвих насінин це переміщення відбувалося в напрямку від центру обертання диска. В цьому випадку, проекція відцентрової сили повинна бути більшою за проекцію сили ваги. Виходячи з приведеного і того, що $G = mg$, а $R = m\omega^2 r$ і підставляючи їх значення в (2.28) після перетворень і спрощень визначимо граничну кутову швидкість:

$$\omega_{гр} = \sqrt{\frac{g\left[\frac{\lambda}{\rho} \cdot \cos(\varphi + \Theta) + \sin(\varphi + \Theta)\right]}{r(\cos\Theta - \frac{\lambda}{\rho} \cdot \sin\Theta)}} \quad (2.29)$$

Умовою скидання зайвих насінин відцентровою силою зовні є необхідність перебільшення кутової швидкості обертання диска над граничною

$$\omega > \omega_{гр}$$

Кутова швидкість є основним фактором, що утворює відцентрову силу R під дією якої і повинно відбутись скидання зайвих насінин. Таким чином, граничне значення кутової швидкості $\omega_{гр}$ вказує на необхідність створення такої відцентрової сили, яка б була здатна скинути з дозуючого диска зайві насінини. Чим більше $\omega_{гр}$, тим більша необхідна сила R, щоб скинути зайву насінину.

Вираз (2.29) представляє собою достатньо складну функцію, що зв'язує кутову швидкість з кутом повороту φ і кутом орієнтації площадки розташування присмоктуючої комірки Θ. Знаменник цієї функції приводить до утворення розривної точки, коли

$$\cos\Theta - \frac{\lambda}{\rho}\sin\Theta = 0$$

Звідкіля маємо:

$$\Theta = arctg\frac{\rho}{\lambda}$$

Дана особливість функції змушує обходити точку розриву [83] при проведені аналізу і розрахунків граничної швидкості обертання дозуючого диска. Наявність радикалу в (2.29) також накладає обмеження на використання отриманої формули. Важливо, щоб результат розрахунків по визначенню граничної кутової швидкості знаходився в області дійсних чисел. Від'ємний результат під коренем може вказувати на фізичну неможливість виконання скидання зайвих насінин при вибраних інших параметрах цього процесу.

Числові розрахунки зміни кутової швидкості $\omega_{гр}$ від величин кутів φ і Θ виконані за допомогою комп'ютерної програми Mathcad 14.0 при наступних значеннях інших параметрів, що входять у формулу (2.29): $\lambda = 8,5мм$; $\rho = 2мм$; $r = 110мм$; $g = 9,81м/с^2$.

Результати обчислень у вигляді графіків представлені на рис.2.9. При вибраних напрямках координатних осей і четвертях колового руху комірки дозуючого елементу графіки, представляються двома умовними дільницями відповідних залежностей. Перша з них знаходиться в інтервалі змін кута обертання $0^0 < \varphi < 120^0$, а друга $275^0 < \varphi < 360^0$. Тобто, дійсні значення граничної кутової швидкості знаходяться в кінці третьої, першій і частково в другій четвертях руху. При інших положеннях присмоктуючої комірки скидання зайвих насінин, тільки під дією відцентрової сили і сили тяжіння, стає проблематичним.

З графіків видно, поступове нарощування $\omega_{гр}$ при переході з кінця третьої в четверту чверть, а також спад, при переході від першої до другої четверті. З позиції енергетичних витрат, на скидання зайвих насінин, доцільним є здійснення його при менших граничних значеннях кутової швидкості обертання дозуючого диска, але в межах тої його швидкості, що забезпечує виконання і інших етапів процесу дозування насіння.

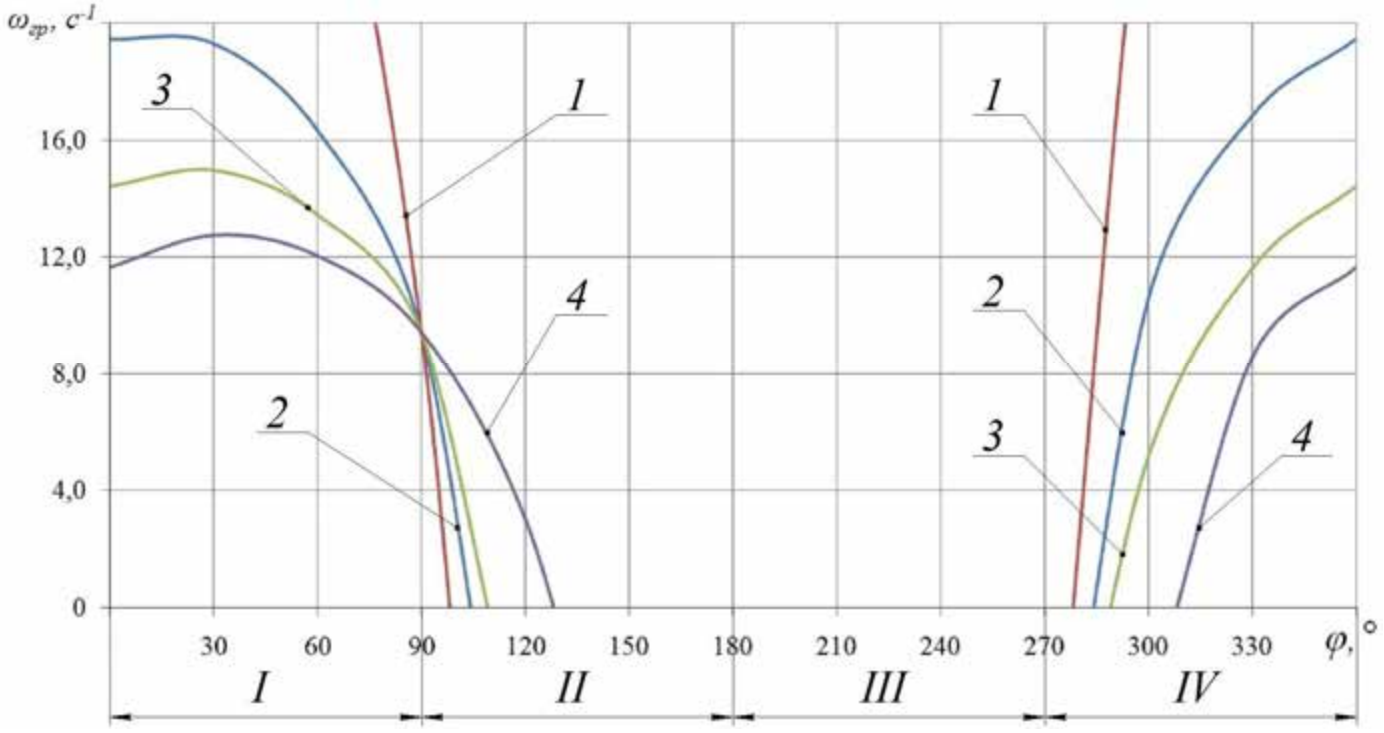


Рис. 2.9. Вплив кута повороту φ на граничну швидкість скидання зайвих насінин $\omega_{гр}$ при різних кутах орієнтації присмоктуючої комірки Θ : 1. $\Theta = 10^0$;

2. $\Theta = 0^0$; 3. $\Theta = -10^0$; 4. $\Theta = -20^0$.

Так, для серійного висівного пневмомеханічного апарата СТВТ 12/8М швидкість обертового руху дорівнює $\omega \approx 5c^{-1}$. З урахуванням розвитку посівної техніки і підвищенням можливої продуктивності агрегатів доцільно прийняти цю швидкість на рівні $10c^{-1}$.

Зважаючи на приведені вище дані, особливий науково-практичний інтерес представляють ті дільниці графіків, які лежать в межах кутових швидкостей менших за максимально прийняту.

З першого сімейства графіків, що граничать з кутом повороту диска $\varphi = 90^0$ і далі (рис. 2.9), видно, що існує загальна точка їх пересічення.

В залежності від орієнтації площадки присмоктуючої комірки міняється діапазон зміни кута повороту, в якому можливе і ефективне скидання зайвих насінин (рис. 2.10). При цьому змінюється і сама величина $\omega_{гр}$ при якому скидання стає можливим.

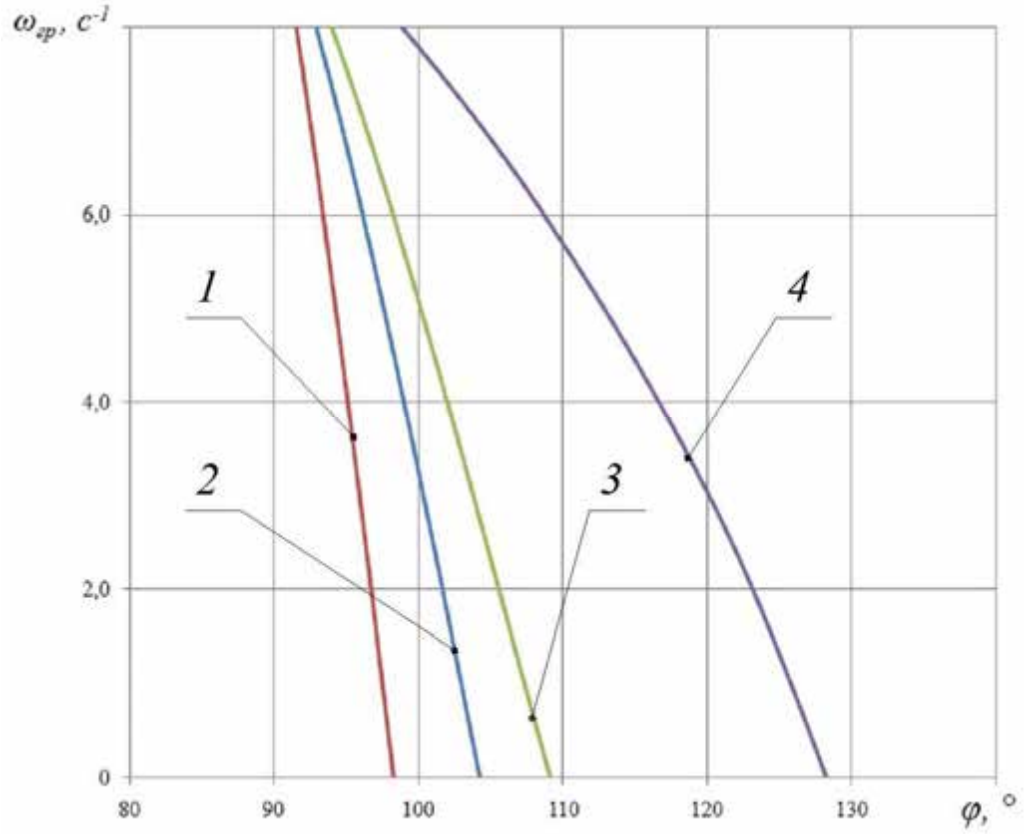


Рис. 2.10. Залежність зміни граничної кутової швидкості скидання $\omega_{гр}$ від кута повороту φ в другій чверті обертання дозуючого диска: 1. $\Theta = 10^0$; 2. $\Theta = 0^0$; 3. $\Theta = -10^0$; 4. $\Theta = -20^0$.

Як видно з отриманих даних, для кута орієнтації площадки $\Theta = 10^0$ величина граничної кутової швидкості змінюється від $8c^{-1}$ до нульового значення, у відносно вузькому секторі повороту диска від 92^0 до 98^0. Тобто, для експлуатаційних режимів існуючих пневмомеханічних апаратів, при $\omega \approx 5c^{-1}$ доцільно скидати зайві насінини у другій чверті обертання диска. Поворот площадки орієнтації комірки в меншу сторону $(\Theta = 0)$ вносить зміни у параметри скидання. Так, сектор скидання зростає до 104^0, зміщуючись у бік

більших значень кута повороту диска. Для реалізації процесу позбавлення від зайвих насінин це є кращий результат ніж попередній. Фізично, отримані дані можна пояснити тим, що при такій орієнтації площадки навіть при куті повороту в $\varphi = 101^0$ у частинки ще є можливість покинути поверхню під дією відцентрової сили. Ще краща ситуація для видалення зайвих насінин складається при подальшому зменшені кута орієнтації площадки. Так, для кута $\Theta = -10^0$ сектор скидання вже займає інтервал до 110^0, що в реальних апаратах при $\omega = 5c^{-1}$, відповідає $\varphi \approx 100^0$. Тобто зменшення кута орієнтації площадки сприяє кращому скиданню зайвих насінин. З позицій механіки процесу, це пояснюється тим, що при такій орієнтації площадки частинка в секторі скидання знаходиться на її зовнішній, по відношенню до центра обертання поверхні, і їй з цієї позиції представляється можливість без перешкод покинути поверхню площадки.

Подальший поворот площадки орієнтації комірки фактично не змінює величину граничної кутової швидкості при досягненні якої стає можливим скидання зайвих насінин, але ще додатково розширює сектор скидання до $\varphi = 128^0$.

Таким чином, проведений аналіз показав доцільність організації скидання зайвих насінин на початку другої четверті руху дозуючого елементу. Причому, в розглянутому випадку скидання відбувається тільки під дією сил на орієнтованій площадці комірки без необхідності застосування яких-небудь додаткових елементів конструкції.

Друга умовна дільниця сімейства графіків, яка представляє науковий інтерес, знаходиться в зоні кутів повороту дозуючого диска $277^0 < \varphi < 330^0$.

Збільшене зображення для аналізу цієї дільниці представлено на (рис. 2.11). Особливість руху комірки в цій фазі полягає в тому, що він здійснюється в нижній частині траєкторії. При цьому сила тяжіння і відцентрова сила близькі у векторному напрямку їх дії. Тому, для скидання зайвої частинки з поверхні комірки достатньо відносно невеликих зусиль.

В результаті, як видно з проведених розрахунків, гранична кутова швидкість, що достатня для скидання частинки приймає невеликі значення $\left(1\ldots2,5c^{-1}\right)$. Більшому числу відповідає і найбільший із досліджених кут орієнтації площини комірки $\left(\Theta=10^0\right)$. Особливим для такої орієнтації є те, що скидання стає можливим в ранній стадії руху при куті повороту $\varphi\approx277^0$, а величина граничної кутової швидкості різко наростає зі збільшенням кута повороту. В результаті, для реальних конструкцій апаратів, спостерігається вузький сектор можливого скидання насінин, величина якого складає всього $3...5^0$.

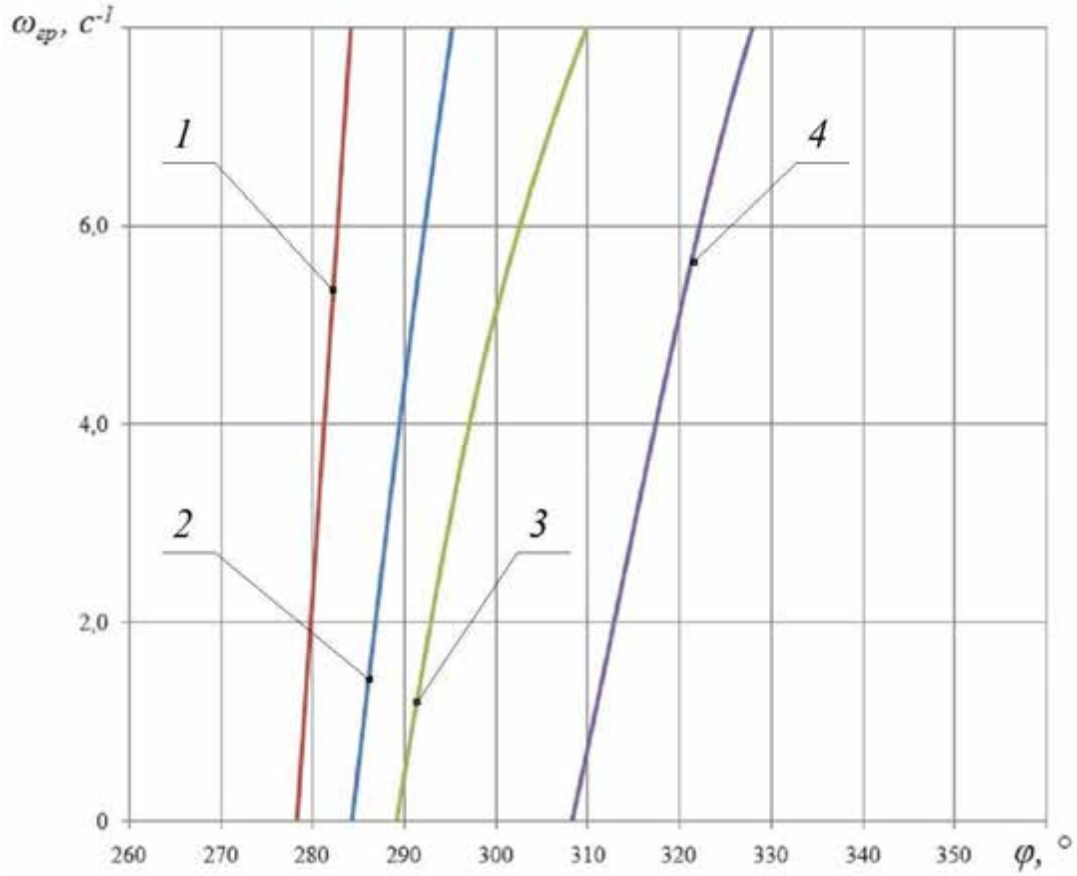


Рис. 2.11. Залежність зміни граничної кутової швидкості скидання $\omega_{гр}$ від кута повороту φ в третій і четвертій чверті обертання дозуючого диска: 1. $\Theta=10^0$; 2. $\Theta=0^0$; 3. $\Theta=-10^0$; 4. $\Theta=-20^0$.

Розширення сектора відбувається при зменшені кута орієнтації площадки присмоктуючої комірки. Так, при куті орієнтації $\Theta=0^0$, сектор ефективного

скидання займає вже інтервал від $\varphi = 285^0$ до $\varphi = 295^0$. При цьому, гранична кутова швидкість зменшується до рівня $\omega_{гр} \approx 1,2c^{-1}$. Тенденція приведених змін параметрів виконання процесу скидання зберігається і при подальшому зменшені кута орієнтації, що вказує на загальний характер встановленої закономірності. Пояснити такий рух частинки, по поверхні площадки комірки дозуючого елементу, можна враховуючи її нахил у бік зворотній кутовому руху дозуючого елемента. В цьому випадку, на скидання зайвої насінини і покидання нею поверхні є більше часу, а значить і більший сектор кута повороту може займати цей процес. Відповідно до встановленої закономірності, самий широкий сектор скидання досягається для кута орієнтації площадки в $\Theta = -20^0$. Тоді сектор скидання займає інтервал від $\varphi \approx 307^0$ до $\varphi \approx 328^0$ при мінімальній граничній кутовій швидкості $\omega \approx 1c^{-1}$. Всі графіки носять наростаючий характер. На початку секторів скидання, спостерігається достатньо швидкий приріст граничної кутової швидкості, при якій стає можливим скидання. В подальшому, цей процес зі збільшенням кута повороту поступово зменшується [87].

Аналізуючи загальний коловий рух дозуючого елемента (диска) при виконанні всіх фаз відокремлення насінин від загальної маси, де є крім захвату, транспортування, скидання зайвих насінин, ще і скидання основної насінини, звертає на себе увагу те, що незважаючи на досягненні позитивні параметри скидання зайвих насінин, у нижній частині переміщення дозуючого диска саме виконання цієї операції, є вже запізненою дією. На черзі подальшого руху розташований завантажуючий сектор, який природно знаходиться в нижній частині висівного апарата.

Таким чином, із двох сприятливих секторів для скидання зайвих насінин, залишається розглянутий раніше перший, що розташований на початку другої четверті руху дозуючого елементу. Для нього енергетичні показники скидання дещо вищі і сам сектор скидання звужений, але скидання в цій фазі відкриває можливість раціонального конструктивного вирішення інших

питань, пов’язаних з організацією всього комплексу дій дозування насінин для формування регулярного однозернового потоку.

2.6. Скидання основної насінини при формуванні регулярного потоку

Формування однозернового регулярного потоку для здійснення якісного посіву можливо при своєчасному скиданні основної насінини з дозуючого диска.

Умова утримання основної насінини присмоктуючою коміркою при транспортуванні її дозуючим елементом представлена формулою (2.16), а графік зміни необхідної для утримання присмоктуючої сили приведено на рис. 2.8. З рисунка видно, що сприятливими умовами для скидання основної насінини є кут повороту диска в межах $\varphi = 210^0 \ldots 270^0$. Тоді присмоктуюча сила в залежності від положення присмоктуючої комірки не впливає або мало впливає на утримання насінини. В любому випадку для більш ефективного виконання операції відокремлення насінини, доцільно присмоктуючу силу відключити. Тоді умова (2.26) представляється наступним чином

$$\frac{\rho}{\lambda}\left[-R\cos\Theta + G\sin(\varphi+\Theta) - R\sin\Theta - G\cos(\varphi+\Theta)\right] \le 0$$

або

$$R\sin\Theta + G\cos(\varphi+\Theta) \ge \frac{\rho}{\lambda}\left[-R\cos\Theta + G\sin(\varphi+\Theta)\right] \qquad (2.30)$$

Вирішення представленого рівняння відносно кута орієнтації Θ представляє певні математичні труднощі. Тому для отримання залежності зміни кута орієнтації комірки Θ від кута повороту дозуючого елементу φ використана програма розрахунку на персональному комп’ютері Mathcad 14.0.

Графік залежності $\Theta = f(\varphi)$ при вказаних чисельних значеннях параметрів, що входять в умову (2.30) представлено на рис. 2.12.

Як видно з представленої залежності, зв'язок між кутами має практично лінійний характер і охоплює достатньо широку область змін кута орієнтації Θ.

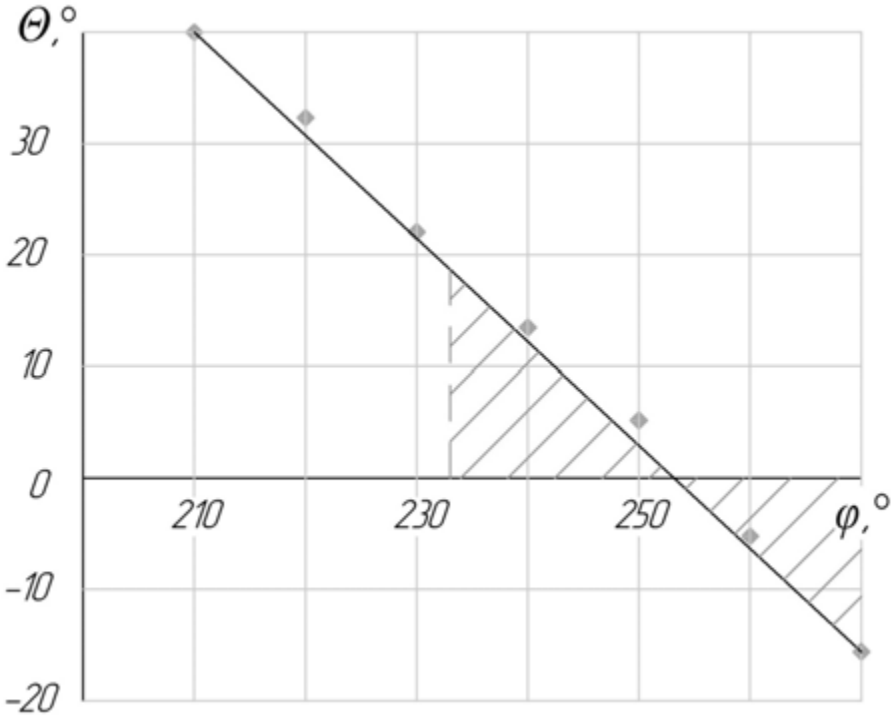


Рис. 2.12. Залежність кута орієнтації положення комірки Θ від кута повороту дозуючого диска φ: $\lambda = 8,5мм$; $\rho = 2мм$; $r = 110мм$; $g = 9,81 м/c^2$; $m = 0,2г$; $\omega = 3,63c^{-1}$.

Згідно фізичної моделі руху дозуючого диска, скидання основної насінини доцільно організовувати при незначних відхиленнях кута орієнтації від його середнього (нульового) положення. Такий підхід оправданий і тим, що при невеликих відхиленнях орієнтації комірки простіше розробити механізм, який забезпечує її поворот по заданому закону. При цьому і динамічні навантаження в самому механізмі також знижуються до невеликих величин. Орієнтуючись на те, що комірка буде змінювати свій кут орієнтації в межах $\pm 20^0$ можна за сектор скидання взяти кут повороту дозуючого диска від $\varphi = 230^0$ до $\varphi = 270^0$. Таке розташування камери скидання добре узгоджується з конструктивною компоновкою висівного апарата. При

вказаних кутах повороту, скидання здійснюється в третій четверті руху в нижній позиції, що створює відповідні умови для якісного виконання процесу формування однозернового потоку, що висівається.

Скидання основної насінини є завершальною фазою роботи пневмомеханічного вакуумного апарата з активною орієнтованою коміркою дискового дозатора. Наступним етапом є повторення операції завантаження комірок новою порцією насінин. В цілому, циклічний послідовний характер роботи апарата з регульованим напрямком дії присмоктуючої комірки можна описати наступною схемою (рис. 2.13).

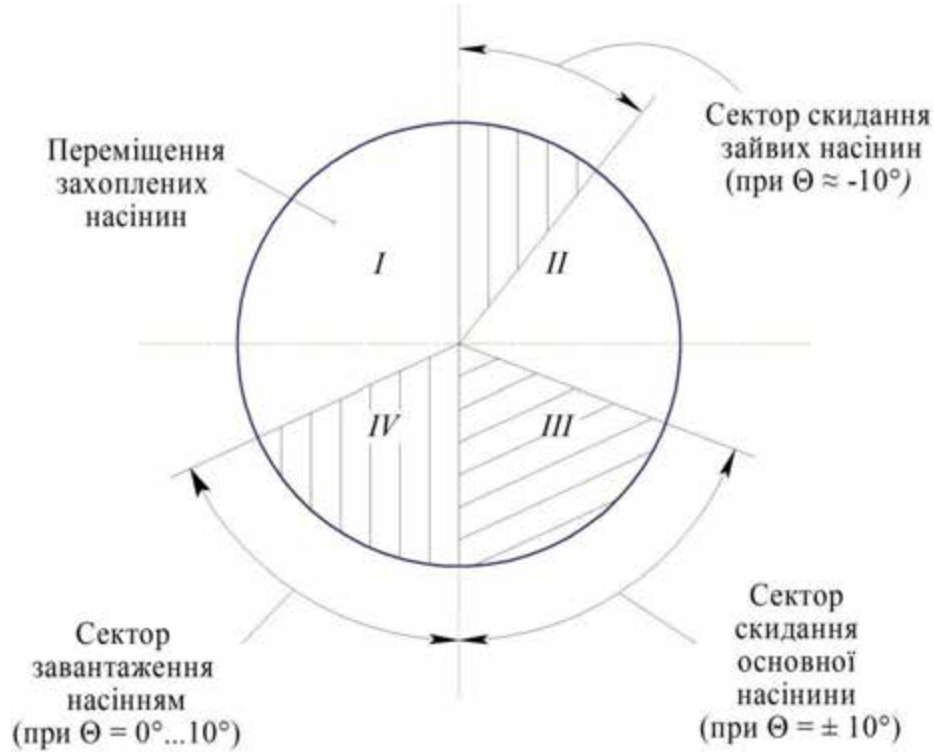


Рис. 2.13. Схема організації технологічного процесу дозування пневмомеханічним апаратом з регулюючою присмоктуючою коміркою

Згідно проведених вище досліджень (розділи 2.3-2.6) кожному з етапів виконання відокремлення насінин і формування регулярного потоку відповідають найкращі, найбільш ефективні для виконання цих операцій положення присмоктуючої комірки, які визначаються кутом її орієнтації Θ.

Зміна орієнтації комірки, тобто зміна кута Θ, залежить від положення дозуючого елемента (кута φ) і повинна здійснюватися спеціальним механізмом, згідно встановленого закону руху.

Висновки

1. Встановлено, що присмоктуюча сила змінюється обернено пропорційно квадрату відстані між насіниною і присмоктуючою коміркою висівного диска (рівняння 2.4).
2. Перспективним для подальшого підвищення точності висіву є розробка пневмомеханічного апарату з направленим вектором присмоктування насінин, тобто з орієнтованою поворотною коміркою.
3. Шлях пройдений насіниною за одиницю часу при захваті присмоктуючою коміркою, експоненціально зростає зі збільшенням загальної тривалості процесу, розширюючи зону взаємодії комірки з насіниною.
4. Скидання зайвих насінин доцільно виконувати в другій чверті руху дозатора (рис. 2.10) при кутах його повороту від 92^0 до 110^0, і куті орієнтації комірки $\Theta = -10^0$. При цих умовах для скидання зайвих насінин достатня гранична кутова швидкість $\omega_{гр} = 1,3c^{-1}$.
5. Ефективним для скидання основної насінини є кут повороту дозуючого диска в межах $\varphi = 230^0...270^0$ і положенні комірки орієнтованої під кутом $\Theta = \pm 10^0$.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою проведення експериментальних досліджень є підтвердження основних теоретичних положень ефективності виконання технологічного процесу дозування насіння просапних технічних культур апаратом з направленим вектором присмоктування, а також доповнення теоретичних передумов для визначення точності висіву як серійним, так і експериментальними висівними апаратами.

3.1. Програма експериментальних досліджень

Програмою експериментальних досліджень передбачається:

1. Встановлення закономірностей дозування насінин основних просапних технічних культур пневмомеханічним висівним апаратом з направленим вектором дії дозуючого елементу при лабораторних дослідженнях.
2. Виявлення впливу напрямку вектора дії дозуючого елементу на якість виконання технологічного процесу висіву.
3. Дослідження роботоздатності експериментального висівного апарата з дозатором направленої дії в польових умовах.
4. Оцінка точності висіву шляхом визначення основних ймовірнісних показників виконання технологічного процесу.

3.2. Опис експериментальної установки та методика проведення лабораторних досліджень по встановленню силових факторів діючих на насінини в пневмомеханічних висівних апаратах

Дослідження закономірності зміни присмоктуючої сили від відстані до комірки виконувались на спеціально розробленій установці НТС-3. Вона дозволяє визначати критичну відстань з якої відбувається початок відриву насінини, змінювати ступінь розрідження в вакуумній камері, оцінювати ефективність дії присмоктуючої сили на насіння різних культур. Оцінка та порівняння дії присмоктуючої сили проводиться для насінин, що суттєво відрізняються по своїм фізико-механічним властивостям, геометричним параметрам, стану зовнішніх поверхонь.

Всі основні робочі параметри, що впливають на ефективність присмоктування контролюються за допомогою відповідних вимірювальних приладів та інструментів. Ступінь розрідження у вакуумній камері вимірюється рідинним вакуумметром, відстань від присмоктуючої комірки до насінини – штангенрейсмасом з точністю до 0,05мм.

Лабораторна установка розроблена на кафедрі надійності техніки НУБіП України. Загальний вигляд установки представлено на рис. 3.1.

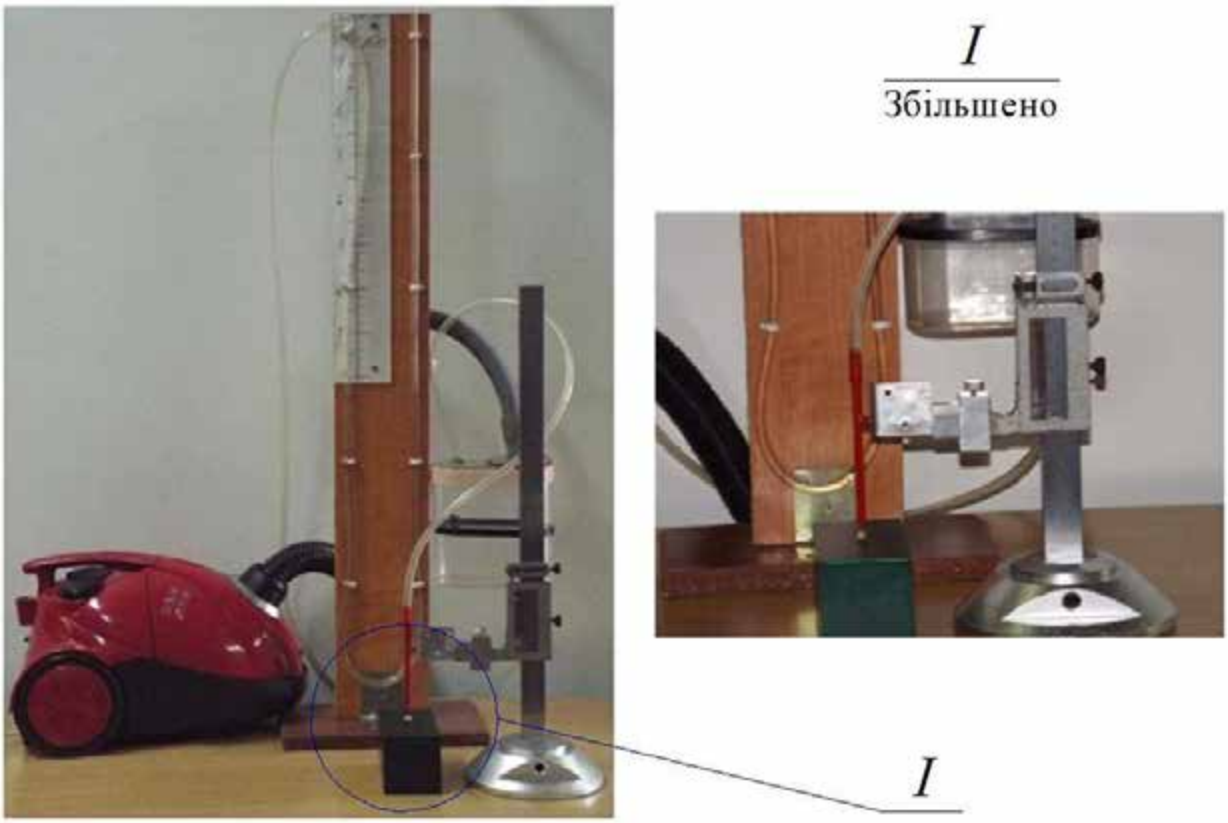


Рис. 3.1. Експериментальна установка НТС-3 для дослідження ефективності захвату насінин

Схема експериментальної установки представлена на рис. 3.2.

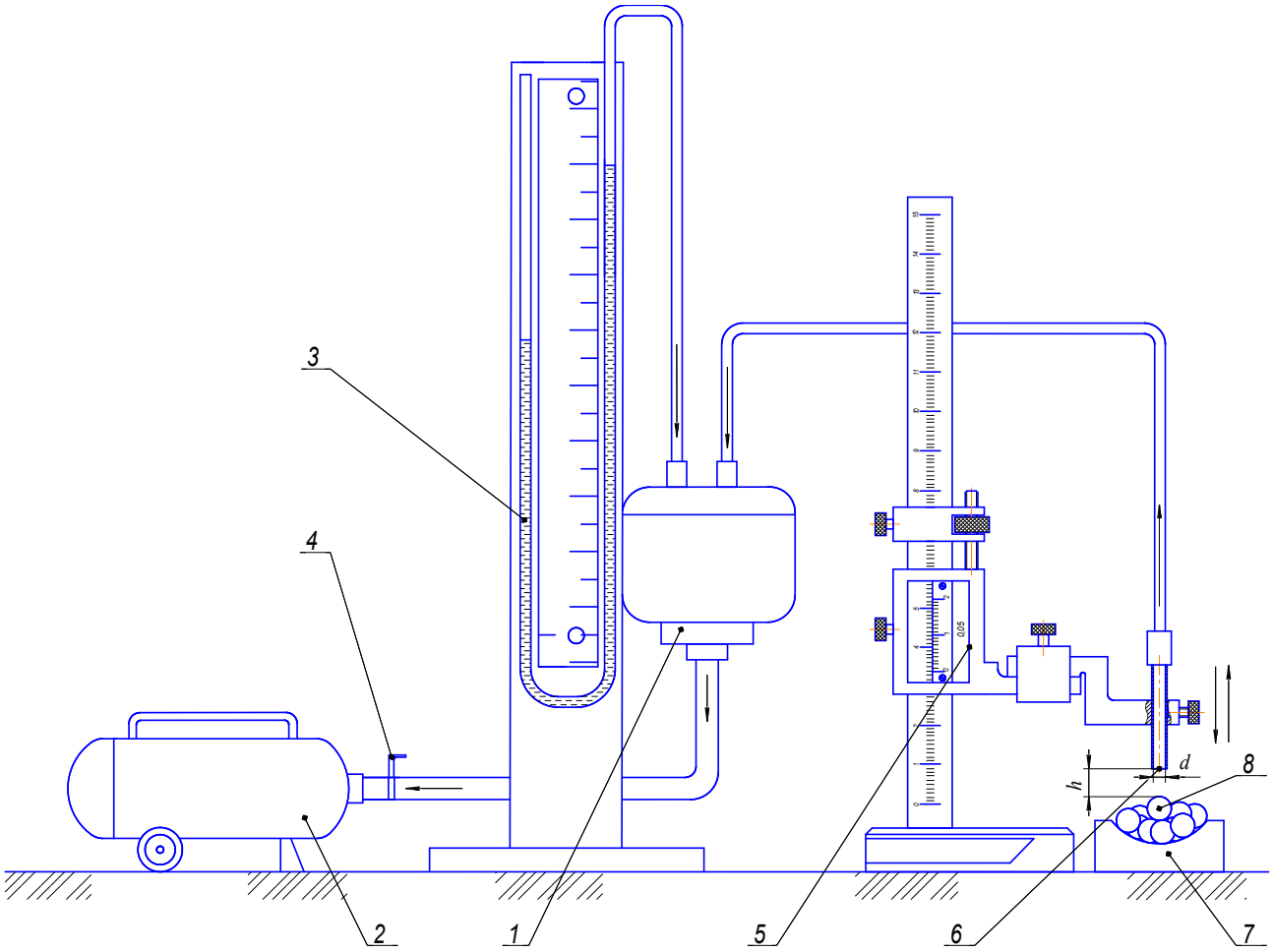


Рис. 3.2. Схема експериментальної установки НТС-3 для дослідження силових факторів присмоктування: 1 – вакуумна камера; 2 – вакуумна установка; 3 – рідинний вакуумметр; 4 – заслінка; 5 – штангенрейсмас ШР-400-0,05;
6 – присмоктуюча комірка; 7 – предметний столик; 8 – насінина.

Працює установка наступним чином. Розрідження створюється в вакуумній камері 1 за допомогою вакуумної установки 2. Ступінь розрідження в камері встановлюється та фіксується за допомогою

спеціальної заслінки 4, величина якого вимірюється рідинним вакуумметром 3. На предметному столику 7 розміщується дослідна насінина 8 до якої назустріч зверху по вертикалі підводиться присмоктуюча комірка 6. Присмоктуюча комірка має вигляд трубки внутрішній діаметр якої $\varnothing 4\,мм$ та жорстко кріпиться до рухомої частини штангенрейсмаса 5. Значення величини вимірювань знаходять по відповідним шкалам штангенрейсмаса.

Експерименти проводяться для насінин основних технічних культур: сої, кукурудзи, соняшника та цукрового буряка. Змінними параметрами у дослідженні виступають ступінь розрідження у вакуумній камері $P=1…5\ кПа$ і самі насінини технічних культур.

Дослідна насінина встановлюється на предметний столик навпроти присмоктуючої комірки. Рухома частина штангенрейсмаса підводиться у максимальне верхнє своє положення. Встановлюється фіксований ступінь розрідження у вакуумній камері і поступово опускаючи рухому частину штангенрейсмаса наближають комірку назустріч до насінини. Момент захвата, тобто відрив наснини від столика, фіксується на шкалі інструмента.

В дослідженнях штангенрейсмасом вимірюється та фіксується відстань h при якій відбувається захват насінини коміркою. Відстань h вимірюється від поверхні насінини до поверхні комірки. Для насінин різних культур відстань h буде різною в залежності від їх абсолютної маси, форми поверхні та ступеня розрідження у вакуумній камері при однаковій площі поверхні комірки. Досліди проводяться аналогічно для насінин всіх вищеназваних культур. Отримані дані заносяться у відповідні таблиці, обробляються та графічно представляються для подальшого їх аналізу. Різниця в значеннях h намічає задачі подальших екпериментальних досліджень по встановленю зміни присмоктуючої сили від відстані.

3.3. Опис експериментальної установки для проведення лабораторних досліджень точності виконання процесу дозування насіння

В основу розробки експериментальної установки покладено принцип дозування насінин з організацією регулярного однозернового потоку при забезпеченні виконання всіх фаз робочого циклу [79]. Дозуючий елемент дослідного апарата представляє собою рухомий вертикальний диск з периферійно розташованими поворотними комірками. Схема експериментальної установки НТС-4 для дослідження точності висіву дозатором направленої дії представлена на рис. 3.3.

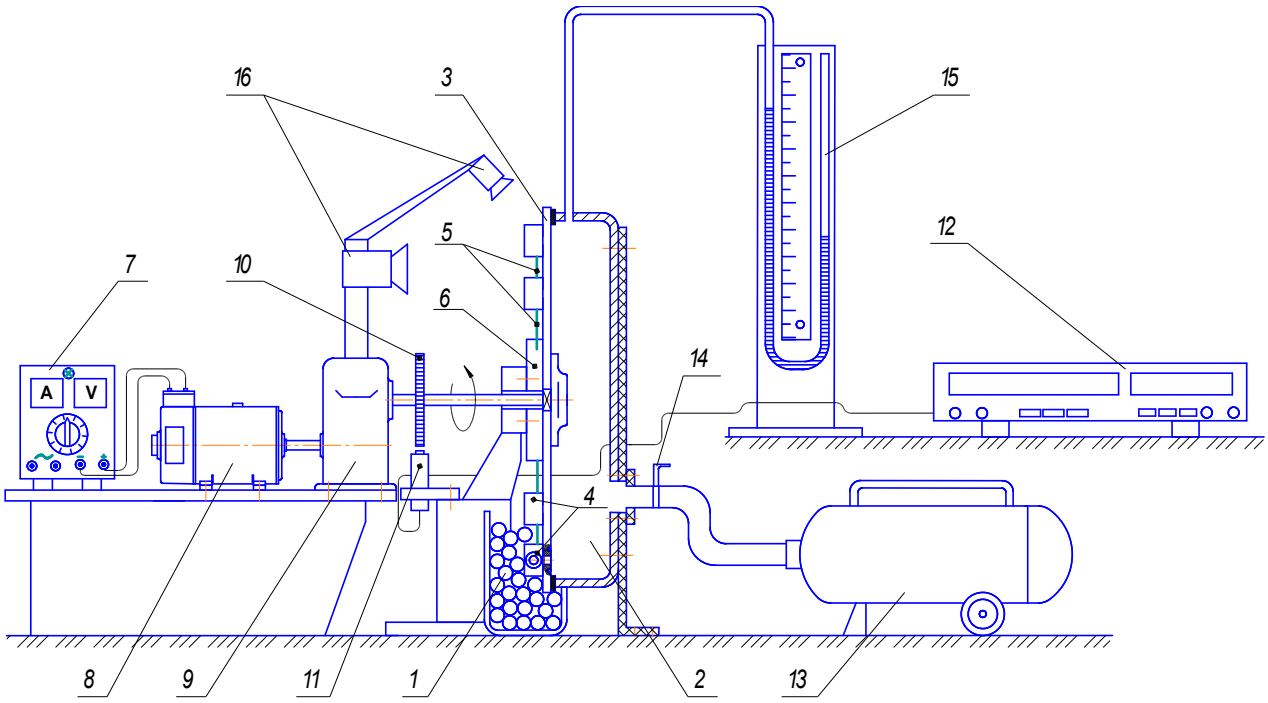


Рис. 3.3. Схема експериментальної установки НТС-4 для дослідження точності висіву: 1 – насіннєва камера; 2 – вакуумна камера; 3 – дозуючий диск;

4 – поворотна присмоктуюча комірка; 5 – важіль; 6 – нерухомий копір; 7 – блок управління приводом ВСА-5А-К; 8 – електродвигун МВ - 42; 9 – редуктор приводу; 10 – диск синхронізації; 11 – індуктивний датчик обертів; 12 – частотомір Ф5035; 13 – вакуумна установка; 14 – регулятор

розрідження;
15 – рідинний вакуумметр; 16 – відеокамери.

Працює установка наступним чином. Крутний момент від електродвигуна *8* передається до понижуючого редуктора *9* і далі до висівного диска *3*, який обертається з необхідною для кожного експерименту частотою. Ступінь розрідження у вакуумній камері *2* створюється вакуумною установкою *13* і установлюється регулятором розрідження *14*. Контролюється розрідження за допомогою рідинного вакуумметра *15*.

Загальний вигляд експериментальної установки представлено на рис. 3.4.

Рис. 3.4. Загальний вигляд установки НТС-4 в робочому стані при проведенні експериментальних досліджень

Заповнення дозуючих поворотних комірок *4* насінинами виконується в насіннєвій камері *1* (рис. 3.3) за рахунок присмоктуючої сили, що діє в отворі

комірки. Сила виникає в наслідок розрідження повітря з другого боку диска, тобто у вакуумній камері *2*. За рахунок розрідження з насіннєвої камери *1* до поворотних комірок *4* висівного диску *3* присмоктуються насінини і обертаються разом з висівним диском *3*. При цьому кожна поворотна комірка *4* з насіниною копіює за рахунок важелів *5* робочу поверхню нерухомого копіра *6*. В своєму кутовому переміщенні висівний диск *3* з присмоктуючими дозуючими поворотними комірками *4* проходить за один оберт всі фази роботи пневмомеханічного висівного апарата від захвату насінин до їх скидання у сошник.

Важливим параметром роботи установки є швидкість переміщення дозуючої поворотної комірки *4* відносно маси насіннєвого матеріалу у насіннєвій камері. При постійному радіусі розміщення дозуючих поворотних комірок *4* відносно центра диска, лінійна швидкість визначається з його кутової швидкості (частоти обертання). Вона змінюється за допомогою електродвигуна постійного струму *8*, живлення якого здійснюється від блоку регулювання *7*.

Схема підключення електродвигуна для регулювання обертів показана на рис. 3.5.

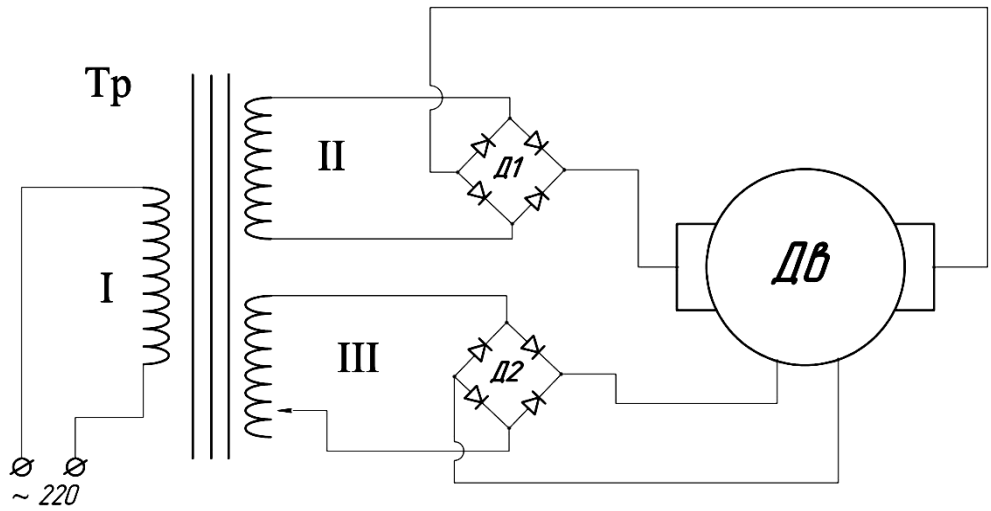


Рис. 3.5. Схема підключення електродвигуна приводу висівного диска для регулювання обертів: I – первинна обмотка; II, III – вторинні обмотки; Дв – електродвигун постійного струму; Д1 – діодний міст обмотки

збудження;

Д2 – діодний міст якоря; Тр – трансформатор живлення.

Частота обертання висівного диска контролюється за допомогою індуктивного датчика *11* (рис. 3.3), що при кожному оберті надає імпульсний сигнал на вхід частотоміра *12*. Конструктивно індуктивний датчик представляє собою електромагнітну головку (рис. 3.6), що закріплюється нерухомо навпроти торця диска синхронізації *10* з певним зазором.

Імпульсні сигнали від індуктивного датчика обертів *11* обробляються частотоміром *12*, а інформація про швидкість обертання, або загальну кількість обертів виводиться на передню панель приладу.

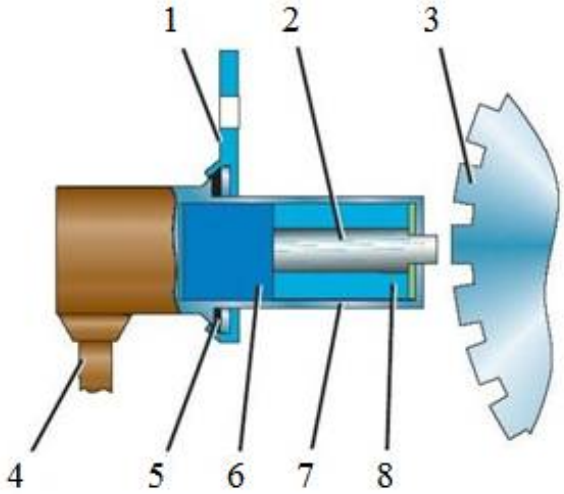


Рис. 3.6. Елементи індуктивного датчика швидкості обертання і рахування кількості обертів висівного диска: 1 – кронштейн кріплення; 2 – осердя; 3 – диск синхронізації; 4 – роз’єм; 5 – ущільнення; 6 – магніт; 7 – корпус; 8 – обмотка датчика.

Пропуски (не заповнення комірок) та одночасний захват коміркою декількох насінин (двійники) при роботі висівного диска з направленим вектором дії фіксуються двома відеокамерами *16*, які розміщенні в різних зонах фаз роботи апарата.

3.4. Методика лабораторних досліджень надійності виконання технологічного процесу висіву пневмомеханічним апаратом з дозатором направленої дії

Експериментальні дослідження по виявленню основних закономірностей і встановлення параметрів надійності виконання технологічного процесу дозування насінин проводяться в лабораторії на лабораторній установці НТС-4, опис якої представлено в розділі 3.3. Підготовка установки до проведення досліджень полягає насамперед у виборі змінних параметрів і інтервалів їх відхилень для визначення впливу на точність і надійність виконання процесу дозування насінин. Такими змінними параметрами у дослідженні виступають колова швидкість переміщення присмоктуючої поворотної комірки відносно маси насіння у насіннєвій камері $V=0,2...0,6$ *м/с*, ступінь розрідження у вакуумній камері $P=2...5$ *кПа* і самі насінини технічних культур з притаманними для них, особливостями геометричних форм і параметрів: соя, кукурудза, соняшник та цукровий буряк.

В дозуючому диску використовуються поворотні присмоктуючі комірки розповсюдженої конічної форми з кутом $\angle = 90^0 \pm 20^0$, глибиною конуса 2,5 *мм* і прохідним отвором $\varnothing 4$ *мм.*

Для проведення дослідження насіннєва камера заповнюється насінням тієї культури, з якою проводиться дослід. Після цього вмикається привід дозуючого диска, вибираються та встановлюються ті його оберти, які відповідають необхідній лінійній швидкості переміщення присмоктуючої комірки *4*. Частота обертання (*об/хв*) дозуючого елемента визначається згідно відомої формули

$$n = \frac{30 \cdot V}{\pi \cdot R} \qquad (3.1)$$

де: V – задана лінійна швидкість комірки, *м/с*;

R – радіус розташування присмоктуючих комірок, *м*.

Частота обертання n контролюється за допомогою індуктивного датчика *11* і частотоміра *12* прямим виміром кількості обертів за одиницю часу. Після приведення в обертовий рух висівного диска *3* створюється розрідження у вакуумній камері *2*. Для цього вмикається вакуумна установка *13*, і рівень необхідного розрідження регулюється регулятором *14*. Контроль за розрідженням у вакуумній камері *2* здійснюється рідинним вакуумметром *15*. Установка виводиться на установлений режим роботи.

Особлива увага приділяється підтриманню та контролю частоти обертання висівного диска *3*, яка під час проведення досліду при необхідності додатково уточнюється за допомогою портативного безконтактного лазерного тахометра марки WALCOM DT-2234C+ представленого на рис.3.7.

Кожен з даних режимів роботи лабораторної установки, відповідає по своїй сутності роботі серійного пневмомеханічного висівного апарата.

Рис. 3.7. Безконтактний тахометр WALCOM DT-2234C+

Тривалість досліду краще визначати по кількості обертів висівного диска $N_д$. Достатня кількість обертів диска для отримання стійкого результату оцінки надійності виконання технологічного процесу апаратом визначається попередньою серією дослідів. При цьому, основним показником роботи апарата є ймовірність його відмов у вигляді пропусків (не

заповнень присмоктуючих комірок). Для оцінки як серійного так і експериментального апарата достатньо підрахувати ймовірність пропусків згідно формули

$$\xi_{пр} = \frac{n_{пр}}{N_д \cdot z} \tag{3.2}$$

де $n_{пр}$ – кількість пропусків;

z – кількість комірок на диску.

Результати роботи пневмомеханічного апарата відображуються у вигляді реально висіяних насінин. По пропускам вони дублюють результати автоматичних вимірювань і підрахувань згідно формули (3.2), але по наявності і по кількості двійників дають нову додаткову інформацію про якість виконання висіву. Кількісно відмови висівного апарата по двійникам оцінюються ймовірністю їх появи.

В експериментальному дослідженні ймовірність появи двійників підрахована наступним чином. На заліковій дільниці довжиною L підраховується загальна кількість місць, де повинні знаходитися висіяні насінини $n_{вис}$. З них виділяються місця з кількості насінин, що перебільшують одну $n_{дв}$. Тоді ймовірність утворення двійників дорівнює

$$\xi_{дв} = \frac{n_{дв}}{n_{вис}} \tag{3.3}$$

Так як, $n_{вис} = N_д \cdot z$ то підставляючи в (3.3), маємо:

$$\xi_{дв} = \frac{n_{дв}}{N_д \cdot z} \tag{3.4}$$

Отримані залежності (3.2) і (3.3) використовуються для кількісної оцінки якості виконання технологічного процесу висіву пневмомеханічного апаратом.

Методично таким же чином оцінюється надійність виконання процесу дозування насіння висівним апаратом з дозатором направленої дії.

Кількісно ймовірності пропусків і двійників підраховуються згідно формул (3.1) і (3.4).

Ефективність роботи апарата з дозатором направленої дії може бути оцінена порівнянням ймовірностей пропусків і двійників в рівних умовах експерименту як для серійного, так і для експериментального висівного апарата [78].

Доцільно ефективність підвищення якості виконання посіву оцінювати відносними величинами у порівнянні з серійним висівним апаратом. Для цього вводиться коефіцієнт пропусків і коефіцієнт двійників. Коефіцієнт пропусків представляє собою відношення

$$K_n = \frac{\xi_{n\ екс}}{\xi_{n\ сер}} \tag{3.5}$$

де: $\xi_{n\ екс}$ – ймовірність пропусків експериментального висівного апарата з дозатором направленої дії;

$\xi_{n\ сер}$ – ймовірність пропусків серійного висівного апарата.

Чим менше значення коефіцієнту пропусків, тим краща дія дозатора з направленим вектором дії. При *K=1* його дія фактично відсутня.

Аналогічно вводиться коефіцієнт двійників, який дорівнює відношенню

$$K_{дв} = \frac{\xi_{дв\ екс}}{\xi_{дв\ сер}} \tag{3.6}$$

де $\xi_{дв\ екс}$ – ймовірність двійників експериментального висівного апарата з дозатором направленої дії;

$\xi_{дв\ сер}$ – ймовірність двійників серійного висівного апарата.

Меншому значенню коефіцієнта двійників відповідає краща робота висівного апарата з більш високою точністю дозування [77].

Результати визначених параметрів дослідження при варіаціях по швидкості V і розрідженню P для насіння основних технічних просапних культур (соя, кукурудза, соняшник та цукровий буряк) зводяться у відповідні таблиці, на підставі яких будуються графічні залежності.

3.5. Доопрацювання вакуумного пневмомеханічного висівного апарата сівалки СТВТ-12/8М дозатором направленої дії

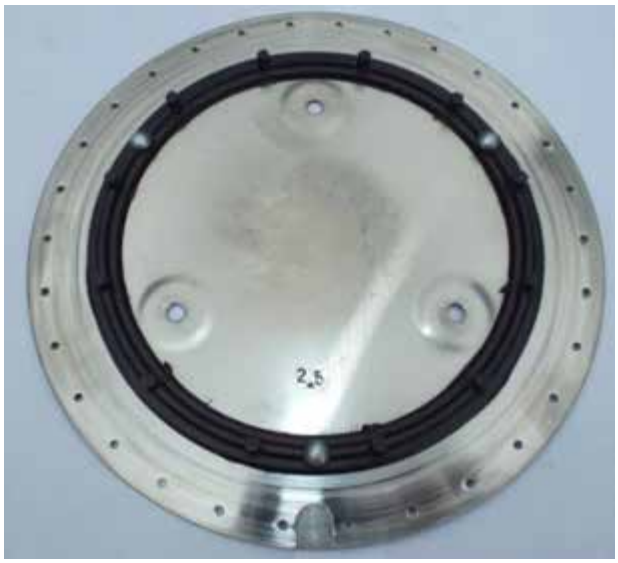
Розглянувши і проаналізувавши конструкції та особливості сучасних висівних апаратів (розділ 1) очевидним є, що найбільш придатним та перспективним для удосконалень являється висівний апарат вакуумного типу сівалки СТВТ-12/8М виробництва ПАТ «Тодак» (Україна).

Особливістю висівного апарата є наявність ротора, що рухається в тому ж напрямку і з тією ж швидкістю, як і весь посівний агрегат. Таким чином, насіння потрапляє у ґрунт з лопаті ротора практично при нульовій відносно землі швидкості. Завдяки цьому запобігається інерційне скочування насіння по насіннєвому ложе вздовж рядка.

Саме тому, сівалка СТВТ-12/8М з пневмомеханічними висівними апаратами, може працювати навіть на підвищених швидкостях до 9 км/год без втрат якості і точності висіву.

Проведення експериментальних польових досліджень висівної секції обладнаної дозатором направленої дії потребує деяких її доопрацювань.

Доопрацювання передбачають лише введення в конструкцію висівного апарата сівалки СТВТ-12/8М дозатора з направленим вектором дії. Для цього достатньо замінити серійний висівний диск з периферійними комірками (рис. 3.8, а) у вигляді отворів необхідного діаметра і форми, на дозатор з активними комірками направленої дії. (рис. 3.8, б). Заміна серійного висівного диска на експериментальний не потребує значних змін конструкції висівного апарата.



а) б)

Рис. 3.8. Дискові дозатори насіння: а – серійний висівний диск; б – висівний диск з активними комірками направленої дії.

Дозатор направленої дії по своїм основним геометричним розмірам аналогічний серійному і встановлюється замість його на лопатевому роторі, що розміщений у корпусі вакуумної камери.

Встановлення дозатора направленої дії не вимагає змін форми і об’єму вакуумної камери. Доопрацюванню підлягає тільки насіннєва камера, в якій встановлюється нерухомий копір.

Копір жорстко встановлюється в насіннєвій камері так, що його вісь співпадає з віссю обертання дозатора направленої дії. В корпусі насіннєвої камери на однаковій відстані відносно її центра по вертикальній осі просвердлено два отвори, через які гвинтами копір кріпиться до корпусу. Копір має отвір для центрування з висівним диском. При збиранні висівного апарата копір встановлюється у висівний диск таким чином, щоб притискні важелі дотикались до робочої (торцевої) поверхні копіра.

Таким чином, фази роботи дозатора з направленим вектором дії присмоктуючої сили залишаються як в серійному, де відключення вакууму здійснюється в необхідний момент часу для направлення насінини в сошник.

Головними складовими елементами дозатора з активними комірками направленої дії є поворотна присмоктуюча комірка з важелем (рис. 3.9, а) та копір (рис. 3.9, б).

а)

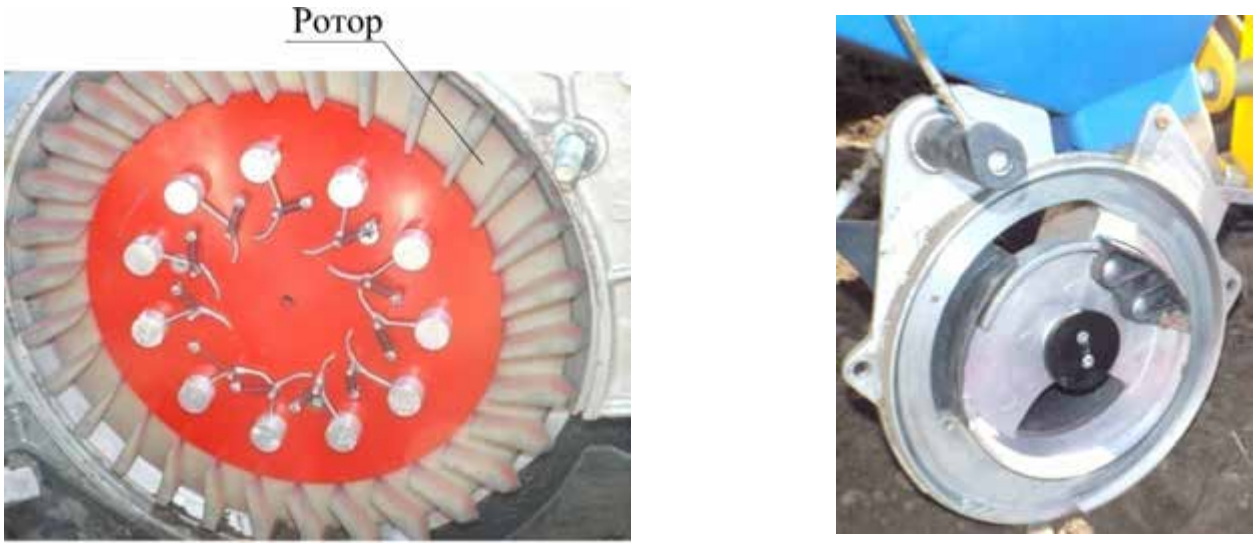
б)

Рис. 3.9. Елементи поворотного механізму присмоктуючої комірки запропонованого висівного диска: а – присмоктуюча комірка з важелем; б – копір.

Поворотна комірка має осьове та радіальне свердлення, які утворюють Г – подібний канал, в якому присутнє розрідження, що створює присмоктуючу силу. Початок радіального свердлення має конічної форми заглиблення, яке утворює комірку. Фіксується поворотна комірка на диску за допомогою штопорного кільця. Присмоктуюча комірка за рахунок підпружиненого важеля копіює робочу поверхню нерухомого копіра.

В профіль копіра закладені раціональні значення кута орієнтації комірки Θ незалежно від зміни кута повороту висівного диска φ для всіх фаз роботи пневмомеханічного висівного апарата. Важливе практичне значення має правильна орієнтація комірки, що необхідна для надійного захвату насінини, транспортування її, можливості скидання зайвих насінин відцентровою силою та скидання основної насінини у сошник.

Розділенню потоку насіння, що поступає з бункера до насіннєвої камери, сприяє спеціально встановлений в даному серійному висівному апараті лопатевий ротор, до якого гвинтами кріпиться висівний дозатор (рис. 3.10, а).



а) б)

Рис. 3.10. Доопрацьовані елементи висівного апарата сівалки СТВТ-12/8М: а – дозатор з активними присмоктуючими комірками направленої дії; б – встановлення нерухомого копіра в насіннєву камеру апарата.

Загальний вигляд доопрацьованої висівної секції з дозатором направленої дії представлено на рис. 3.11.

Рис. 3.11. Загальний вигляд дослідної висівної секції

Запропонована конструкція висівного апарата з дозатором направленої дії захищена Патентами України № 84210 від 10.10.2013, Бюл. № 19 та № 90890 від 10.06.2014, Бюл. № 11 [Додаток А, Б]. Ускладнення конструкції

дозуючого елемента компенсується його універсальністю при використанні для висіву насіння різних культур та фракцій.

3.6. Методика проведення польових досліджень точності висіву експериментальним пневмомеханічним апаратом

Польові дослідження проводяться при виконанні посівних робіт в реальних умовах експлуатації сівалки ПАТ «Тодак» марки СТВТ-12/8М, яка в залежності від рядності агрегатується з тракторами класу 1,4 та 2 *кН*. Основні технічні характеристики сівалки наведені в таблиці 3.1 [116].

СТВТ-12/8М – універсальна просапна сівалка з пневмомеханічною системою висіву, призначена для точного однозернового висіву насіння: цукрових та кормових буряків, кукурудзи, соняшнику, сої, бавовни з одночасним роздільним внесенням у рядки гранульованих мінеральних добрив.

Для цього, на сівалці одна з штатних посівних секцій замінюється на експериментальну спеціально підготовлену до проведення досліджень згідно розділу 3.5 даної методики. Така заміна надає можливість порівняльної оцінки роботи серійної і експериментальної висівної секції в ідентичних умовах експлуатації [95, 96].

Таблиця 3.1

Основні технічні характеристики сівалки СТВТ-12/8М

Параметри	12 рядна	8 рядна
1	2	3
Тип машини	начіпна	начіпна
Агрегатується с тракторами класу	1,4; 2	1,4
Відстань між приводними колесами, м	5,8	5,8
Робоча ширина захвата, м	5,4	5,4
Номінальна робоча швидкість, км/год	4,5…9,0	4,5…9,0
Продуктивність, га/год	2,4…4,8	2,4…4,8
Кількість рядів висіву насіння	12; 8	8

Продовження таблиці 3.1

1	2	3
Загальна ємкість бункерів для насіння, дм^3	260	180
Загальна ємкість бункерів для добрив, дм^3	480	480
Номінальна відстань між рядками, см	45; 70	70
Мінімальна відстань між рядками, см	30	30
Діапазон інтервалу між висівними насінинами в рядку, см	3,0…53,0	3,0…53,0
Кількість ступенів регулювання інтервалу між насінинами в рядку	21	21
Діапазон норми внесення добрив, кг/га	30…300	30…300
Кількість ступенів регулювання норми внесення добрив	12	12
Номінальна частота обертання ВВП трактора (об/хв.)	540	540
Габаритні розміри в транспортному положенні, мм, Д×Ш×В	6100×1500×2500	
Вага сівалки, кг (без/з системою внесення добрив)	1300/1600	1100/1400
Транспортна швидкість, км/год, не більш	20	20
Обслуговуючий персонал, чол.	1	1

Висів проводиться на заздалегідь підготовленому полю. Висівний агрегат складається з трактора тягового класу 1,4 *кН* МТЗ-80 і сівалки СТВТ-12/8М. Робоча швидкість агрегату вибирається виходячи з агротехнічних вимог до посіву в межах 5…9 км/год. Робоче розрідження, необхідне для висіву насіння різних культур і фракцій, встановлюється в межах від 2,5 до 5,5 *кПа*. Глибина загортання насінин вибирається на рівні 40…120 мм.

Якість виконання технологічного процесу висіву, оцінюється по точності висіву уздовж рядка. За показники якості, приймаються показники

надійності з урахуванням можливих пропусків і наявності двійників при подачі насінин до борозни [100, 101, 109].

Експериментальні дослідження проводяться згідно існуючих стандартів оцінки якості виконання висіву [104, 105]. При цьому застосовується метод контролю відстані між насінинами в рядку. В поінтервальний метод контролю якості, входить замір інтервалів між насінинами з наступною статичною обробкою результатів і визначені показників точності. Вимір інтервалів між насінинами виконують за допомогою вимірювального інструмента (рулетки, лінійки). Після проведення висіву, відстані між насінинами вимірюються з точністю до 5мм, а дані замірів заносяться в спеціальні таблиці, для подальшої статистичної обробки. Математична обробка результатів вимірів виконується згідно рекомендацій робіт [107, 108] з використанням обчислювальної техніки. Основними статистичними характеристиками, що визначаються, є:

1. Середнє значення інтервалів між насінинами

$$\bar{l} = \frac{\sum_{i=1}^{n} l_i}{n} \tag{3.7}$$

де: l_i – величина інтервалів між сусідніми насінинами;

n – кількість інтервалів, $n = N - 1 - n_{пр} + n_{дв}$;

N – кількість висіяних насінин;

$n_{пр}$ – кількість пропусків;

$n_{дв}$ – кількість двійників.

2. Середньоквадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (l_i - \bar{l})^2}{n}} \tag{3.8}$$

3. Коефіцієнт варіації

$$V = \frac{\sigma}{\bar{l}} \tag{3.9}$$

4. Похибка середньоарифметичного значення довжини інтервалу

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{3.10}$$

5. Точність проведення експерименту

$$\chi = \frac{m}{\bar{l}} \tag{3.11}$$

6. Частота (ймовірність) пропусків

$$\xi_{пр} = \frac{n_{пр}}{n} \tag{3.12}$$

7. Частота (ймовірність) двійників

$$\xi_{дв} = \frac{n_{дв}}{n} \tag{3.12}$$

Обробка та обчислення статистичної інформації виконується із застосуванням елементів теорії ймовірності [106, 110, 112] і математичної статистики з допомогою пакетів прикладних програм Statistica 6.0, Statgraphics Plus 3.0, та Mathcad 14.0.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОЗУВАННЯ І ТОЧНОСТІ ВИСІВУ ПНЕВМОМЕХАНІЧНИМ АПАРАТОМ З НАПРАВЛЕНИМ ВЕКТОРОМ ПРИСМОКТУВАННЯ НАСІНИН

Проведенням даних експериментальних досліджень передбачається підтвердження основних положень дозування насінин при відокремленні їх від загальної маси. Крім того, деякі результати теоретичних досліджень потребують експериментальних доповнень з виявленням кількісних величин параметрів висіву насіння типових просапних культур. Необхідність отримання результатів експериментальних досліджень потрібна також для поповнення теоретичної інформації при відпрацюванні загальної концепції створення пневмомеханічних апаратів торцевої дії з направленим вектором орієнтації комірок. Це є нова група висівних апаратів, розробка яких потребує на основі наукових даних про ефективність їх роботи вирішення ряду конкретних конструктивно-компонувальних питань для подальшого втілення розробок в реальне виробництво.

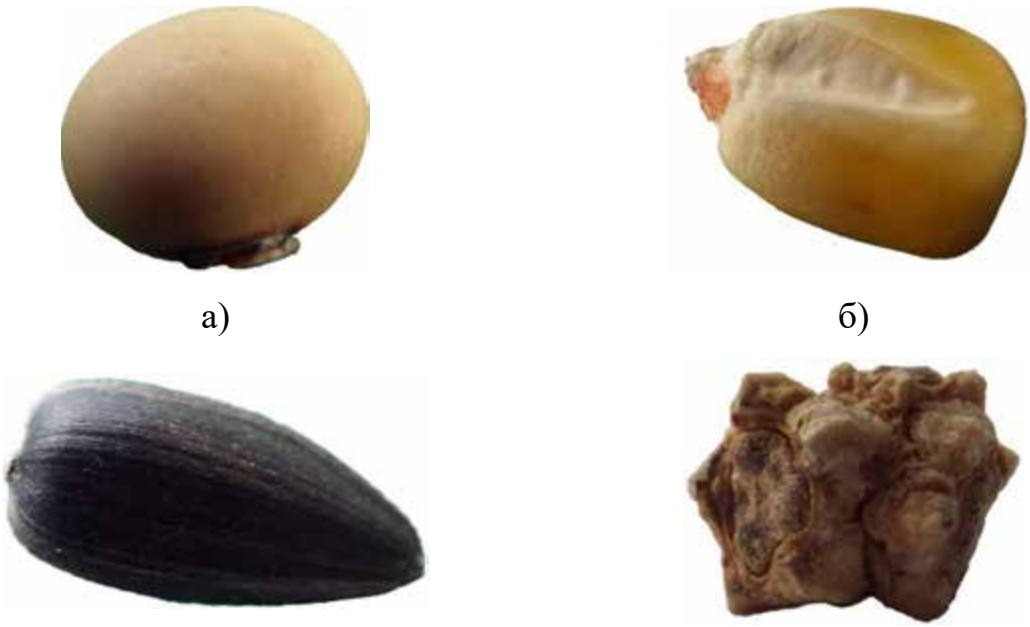
Експериментальні дослідження представляються двома видами: лабораторними і польовими, що проводяться в реальних умовах експлуатації висівного апарата.

Лабораторні дослідження виконані на кафедрі надійності техніки Національного університету біоресурсів і природокористування України. Для проведення досліджень розроблено обладнання і методика виконання експериментів, які представлені у третьому розділі даної роботи.

4.1. Опис форми і стану поверхонь насіння основних технічних культур

Основними технічними культурами для яких важливо виконання точного рядкового висіву є соя, кукурудза, соняшник і насіння цукрового буряка. Насінини цих культур суттєво відрізняються як по фізико-механічним властивостям, так і по геометричним параметрам, і стану зовнішніх поверхонь.

Загальний вигляд насінин згаданих просапних культур представлено фотографіями на рис. 4.1.



а) б)

в) г)

Рис. 4.1. Загальний вигляд насіння основних просапних культур: а – насінина сої; б – насінина кукурудзи; в – насінина соняшника; г – насінина цукрового буряка.

Від форми насінини і стану її поверхні, багато в чому залежить щільність контакту в спряженні між нею і поверхнею присмоктуючого отвору комірки дозуючого диску. Так як, форма комірки вибрана конічною, то найбільш щільним спряженням, що забезпечує максимальну величину присмоктуючої сили є насіння сої (рис. 4.1, а). В неї форма найбільш

наближена до сферичної, що дає у сукупності з конічною формою отвору комірки спряження практично по колу.

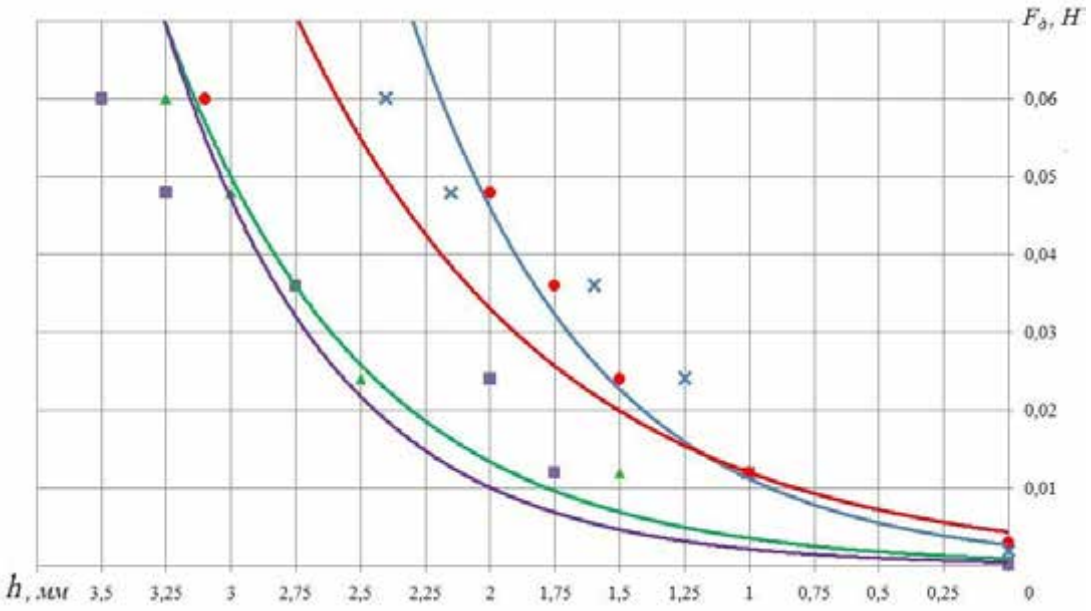
Насіння кукурудзи і соняшника не дають якісного спряження з поверхнею комірки. Багато в чому контакт залежить від конкретної орієнтації цих насінин відносно комірки. Однак в будь-якому випадку між поверхнею насінин і конічною поверхнею виникають зазори, в які проходить повітря зменшуючи загальну силу присмоктування. Ще більш складна і неоднорідна поверхня насінин цукрового буряка (рис. 4.1, г). Вона настільки не відповідає якісному спряженню, що тільки конічна форма комірки може в деякій мірі компенсувати недосконаліть такого присмоктування.

4.2. Дослідження дії присмоктувальної сили на ефективність захвату окремих насінин

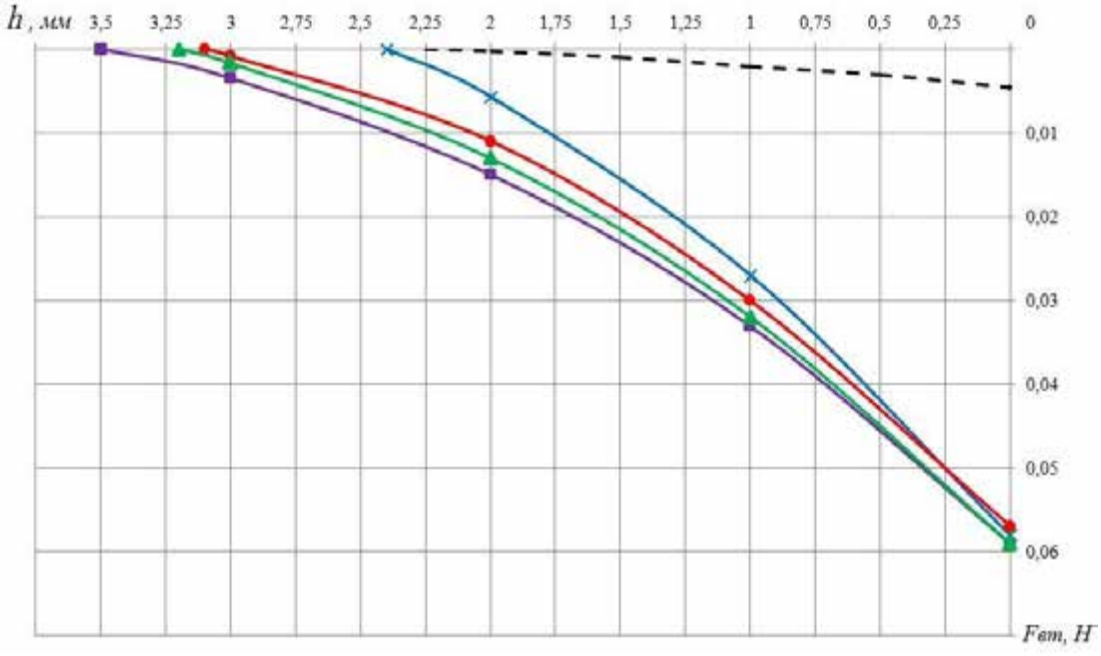
Головною операцією при виділені окремих насінин із загальної маси, що подається в завантажувальну камеру, є захват тільки однієї насінини. В пневмомеханічних апаратах захват здійснюється за рахунок сил розрідження, які виникають в зоні дії присмоктувальної комірки. Теоретично (розділ 2.2) виведена залежність (2.4), яка встановлює зміну величини сили присмоктування від відстані між насініною і коміркою. Структура отриманої формули багато в чому схожа з раніш запропонованою Зеніним Л.С. [13] емпіричною залежністю. Однак автор ні в цій роботі, ні в своїх інших [72] не дає прямого експериментального підтвердження закономірності зміни присмоктуючої сили від відстані до насінини. Очевидно, безпосереднім експериментальним дослідженням отримати таку залежність достатньо проблематично. В той же час опосередненим шляхом через силу, що компенсує втрати присмоктуючої сили при віддалені насінини, можливо отримати шуканий результат, провівши ряд наступних експериментальних досліджень. Методика проведення дослідження і обладнання описані в розділі 3.2.

Залежності впливу відстані до частинок на зміну необхідної додаткової присмоктуючої сили для початку руху і переміщення представлені графічно на рис. 4.2, а.

Як видно з представлених графіків, між присмоктуючою силою, яка створюється розрідженням в отворі комірки, і відстанню до насінини існує нелінійна залежність. Для насінин всіх видів культур необхідна сила для зрушення і захвату частинки суттєво зростає при збільшені відстані.



а)



б)

Рис. 4.2. Зміна впливу силових факторів, що діють на насінину в залежності від відстані до присмоктуючої комірки: а) вплив відстані на присмоктуючу силу;
б) вплив відстані на додаткову силу; ($h_{кп}=h_{к\ max}=3,5мм;$ ▲ - соняшник; × - соя; ● - кукурудза; ■ - насіння буряка).

Фізичну картину взаємодії насінини з потоком повітря в присмоктуючій комірці можливо пояснити наступним чином. Якщо насінина присмоктана до поверхні комірки повністю, то сила необхідна для її утримання у вертикальному положенні (згідно методики поставленого експерименту) дорівнює

$$F_0 = P_0 \cdot S_{отв} = mg\ , \qquad (4.1)$$

де P_0 – необхідне розрідження для утримання насінини;

$S_{отв}$ – площа отвору присмоктуючої комірки;

m – маса насінини;

g – прискорення вільного падіння ($g=9,81\ м/с^2$).

При вивчені реальних спряжень поверхонь частинок (насінин) з отвором присмоктувальної комірки, Зенін Л.С. справедливо вводить додатковий коефіцієнт, що враховує нещільність їх прилягання. Ця нещільність і втрати розрідження повітря, що викликані нею автоматично компенсуються і входять в результуючу силу F, що діє в отворі комірки.

Для подальшого аналізу загальну результуючу силу доцільно розкласти на дві основні складові: F_0 – теоретично необхідну для утримання насінини при щільному її приляганні до комірки при $h_к=0$ і $F_д$ – додаткову силу, яку необхідно розвинути в отворі комірки для подолання зайвих витрат на нещільності і зрушення насінини з вибраної відстані $h_к$. Тоді можливо записати наступну суму

$$F = F_0 + F_д \qquad (4.2)$$

Природа виникнення додаткової сили $F_д$ складна. Вона компенсує декілька втрат, які виникають в результаті віддалення частинки від присмоктуючого отвору. Сюди входять, насамперед, різні аеродинамічні втрати від взаємодії потоку повітря з частинкою, ламінарність або турбулентність самого потоку і та дійсна сила, що виникає на віддалені від отвору, від розрідження повітря в самому отворі. Зміна величини останньої сили від відстані до частинки і представляє науково-практичний інтерес в даному дослідженні. Не визиває сумніву, що на цю силу опосередковано вказує додаткова компенсуюча сила $F_д$. Але чим менші втрати при взаємодії частинки з присмоктуючим отвором, тим менша необхідна і компенсуюча сила. Зі збільшенням відстані компенсуюча сила достатньо різко теж збільшується. Як видно з отриманих даних (рис. 4.2, а) найбільший вплив відстані на цю силу спостерігається для насіння кукурудзи, а найменший для цукрового буряка. Однак, слід відмітити, що для всіх культур, що досліджувалися, графіки розташовувалися достатньо близько один до одного і мають однаковий принциповий характер зміни кривих.

Виявлення впливу відстані між насіниною і коміркою на зусилля, що діє на насінину можливо графо-аналітичним методом. Для цього необхідно мати загальне зусилля F, що відриває частинку з вибраної відстані h. Його величина визначається в експерименті. З цього зусилля відраховується те, що необхідне для утримання частинки, коли відстань дорівнює нулеві – F_0. Різниця між ними і є те додаткове зусилля $F_д$, що йде на компенсацію різних втрат.

Зусилля, що діє на частинку на певній відстані від присмоктуючої сили комірки може бути підраховано згідно запропонованої формули

$$F_{вті} = F_{д(n-i)}(1 - \frac{h_i}{h_n}) \qquad (4.3)$$

де $F_{вті}$ – зусилля, що діє на частинку в $i^{й}$ точці відстані від присмоктуючої комірки;

$F_{д\ (n\text{-}i)}$ – додаткове зусилля, необхідне для відриву частинки в точці (n-i) відстані між частинкою і коміркою;

i – текучий номер значення точки відстані h між коміркою і насініною;

h_i – відстань між коміркою і $i^{ю}$ точкою на осі 0 – h;

h_n – максимальна відстань між частинкою і коміркою, яка прийнята в досліджені;

n – номер останньої найбільш віддаленої точки.

Графічні залежності побудовані згідно проведених обчислень представлені на рис. 4.1, б. Порівняння їх з теоретичною (рис. 2.4) (зображено пунктиром) показує на ідентичність характеру залежностей. Різниця в чисельних значеннях величин сил обумовлена особливістю самої постановки досліду. Вона полягає в наступному.

Сімейство експериментальних кривих (рис. 4.2, б) показує зменшення результуючої сили в точці знаходження частинки від відстані цієї точки до присмоктуючого отвору. Причому, для реалізації відриву частинки, розрідження в отворі по мірі віддалення частинки весь час збільшується.

Теоретична крива навпаки, будувалася виходячи з положення, що розрідження в присмоктуючому отворі є величина постійна і рівна по величині силі тяжіння. В даному випадку сила, що діє на частинку на відстані, обумовлена спадаючим полем розрідження, яке, як показують дослідження, зменшується згідно встановленої теоретично і підтверджено експериментально закономірності.

Порівняння теоретичних даних з результатами експерименту для спрощення розрахунків і виключення сторонніх факторів впливу, доцільно виконати при повному присмоктуванні частинки ($h=0$).

Теоретично розрахована для насінини сої при її масі $m=0,2$ *г.*, сила утримання дорівнює $F_0=0,002$ *Н*. Експериментальним дослідженням для цієї ж насінини при площі контакту $S_{отв}=12$ *мм*^{2} і розрідженні в момент відриву $P_0=0,2$ *кПа* сила присмоктування склала $F_0=0,0024$ *Н*, що дещо більше за

теоретичну. Різниця в отриманих даних обумовлена нещільністю прилягання частинки до поверхні комірки. Чим частинка (насінина) по своїй формі ближча до сферичної, тим менше погрішність між теоретичними і експериментальним результатом. В даному дослідженні різниця складає 16 %.

Вплив форми насінини на присмоктуючу силу показано в роботах [13, 72], де введено спеціальний коефіцієнт урахування форми, в яких погрішність від форми насінини може досягати суттєво більших величин.

4.3. Вплив розрідження на пропуски при висіві насінин

В роботі висівних апаратів проявляють себе три основні недоліки: пропуски в формуванні однозернового потоку; наявність двійників (одночасний висів двох і більше насінин) і травмування окремих насінин. Травмування насінин для пневмомеханічних апаратів нехарактерно, тому цим недоліком в даному досліджені можна знехтувати.

У роботі пневмомеханічних апаратів пропуски обумовлені конструктивними особливостями самих апаратів і режимами їх експлуатації. Одним із суттєвих факторів, що впливає на пропуски є ступінь розрідження у вакуумній камері. Так як, від ступеня розрідження залежить присмоктуюча сила, то і ефективність захвату насінин також залежить від величини вакууму.

На рис. 4.3. представлені такі залежності для насінин різних культур в інтервалі швидкостей відповідних для роботи висівних апаратів даного типу.

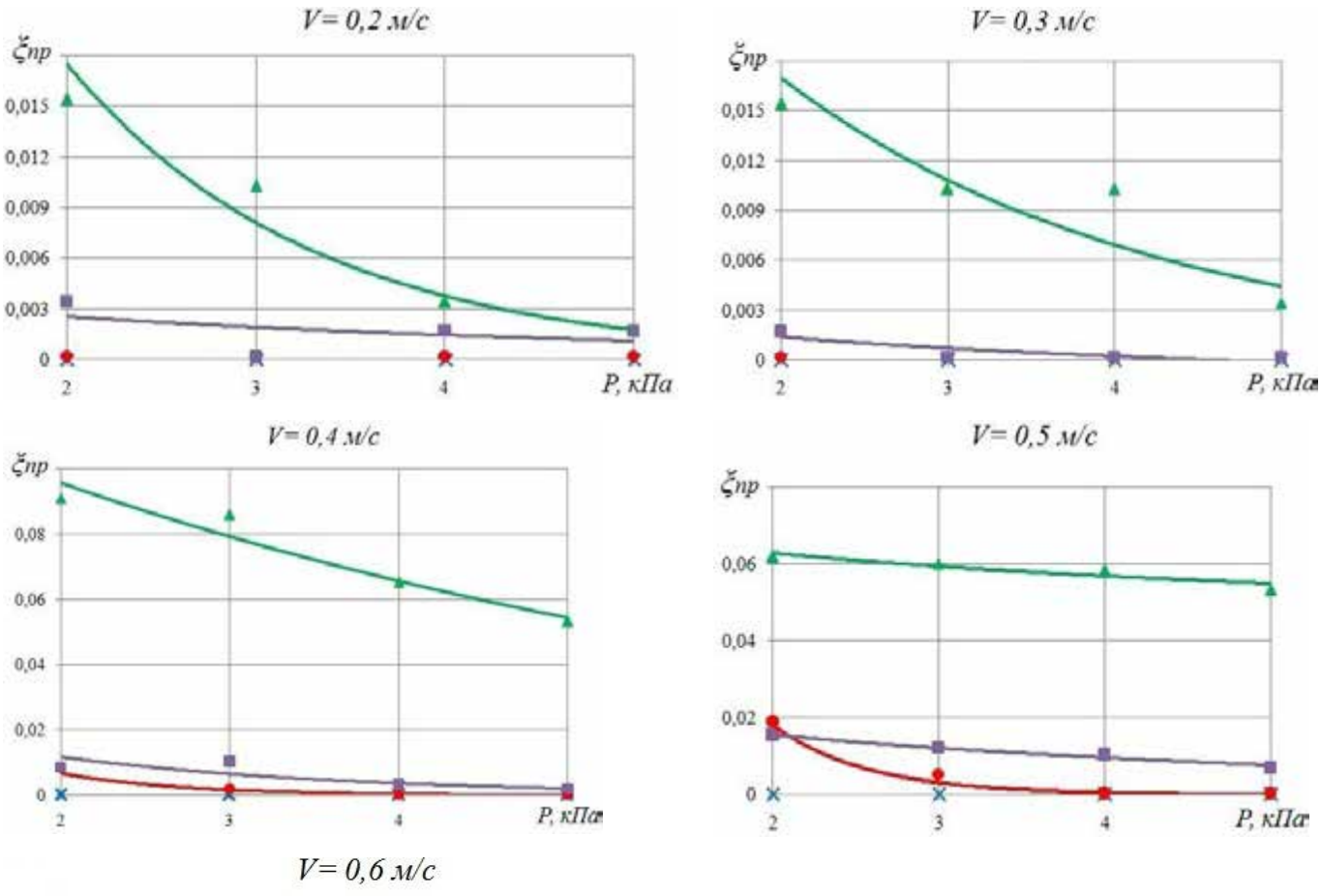


Рис. 4.3. Залежність ймовірності пропусків від ступеня розрідження у

× ● ▲ ■ вакуумній камері:

- соя;
- кукурудза;
- соняшник;
- насіння цукрового буряка.

Як видно з графіків для всіх культур і швидкостей переміщення характерні спадаючі залежності, що вказують на зменшення ймовірності пропусків при збільшені ступеня розрідження.

Найбільше цей зв'язок проявляється для насінин соняшника особливо на невеликій швидкості руху дозуючого елемента рівній *V=0,2 м/с*. Для інших культур цей перепад значно менший по величині і поступово

знижується по мірі збільшення ступеня розрідження. Таким чином встановлено, що приріст розрідження зменшує різницю у ймовірностях пропусків між насінинами різних культур. Враховуючи, що насінини мають різну форму і стан поверхні в результаті чого по різному забезпечується щільність спряжень з коміркою, можна стверджувати, що приріст розрідження в деякій мірі компенсує при дозуванні різноманітність форм насінин.

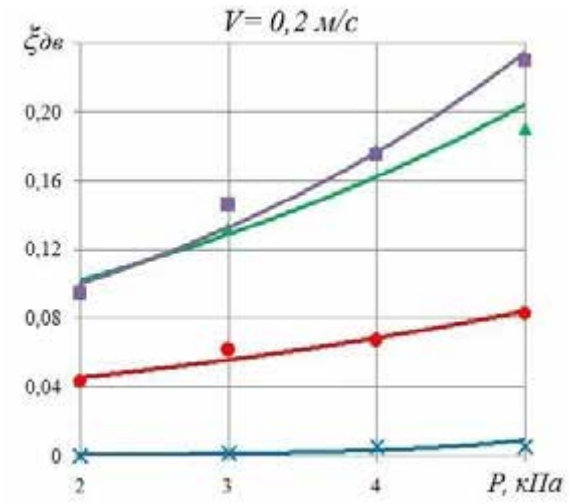
Відмічається відсутність пропусків для сої на низьких швидкостях руху $V<0,4$ *м/с* і тільки при швидкості $V>0,4$ *м/с* при виключеному розрідженні появляються окремі рідкі пропуски. Фізично пояснити це можна тим, що насінини сої як ніякі інші з досліджених, близькі по формі до сферичних. Вони легко захвачуються і ефективно утримуються коміркою конічної форми.

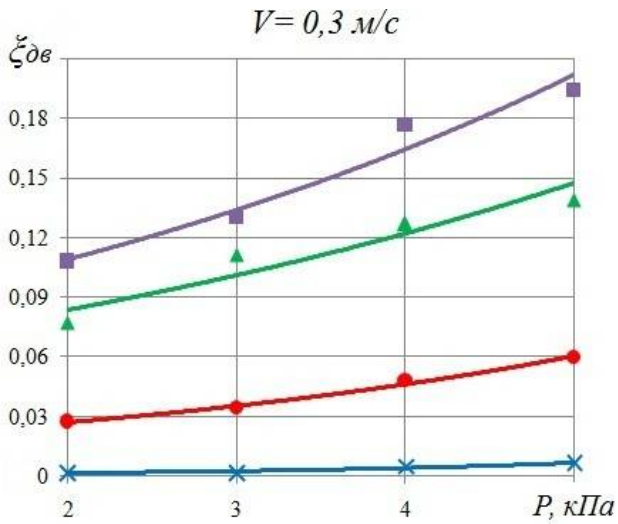
В протилежність цьому ведуть себе насіння соняшника. Для них ймовірність відмов у всьому інтервалі зміни швидкостей, сама висока серед досліджених культур. Так на швидкості $V=0,4$ *м/с* ймовірність пропусків для соняшника досягає $\xi_{пр}\sim 0,1$, в той час як для інших культур вона на порядок менша. Це вказує на те, що крім форми насіння важливу роль в присмоктуванні і транспортуванні відіграє щільність матеріалу (маса насінини), яка впливає на розподіл зусиль при захваті її коміркою.

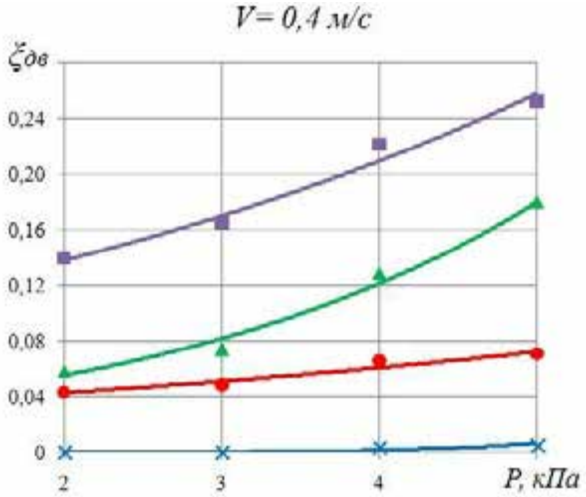
4.4. Вплив розрідження на утворення двійників

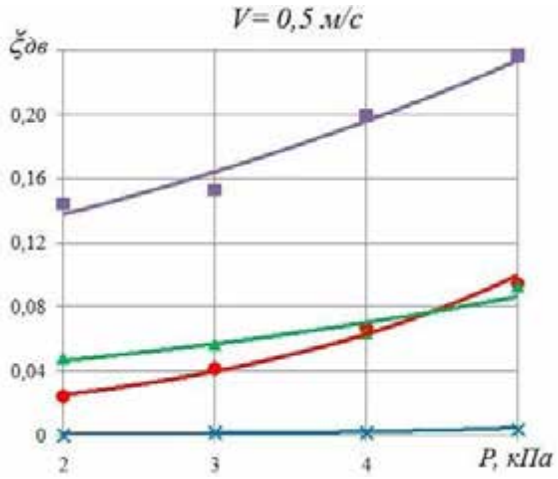
Як відмічалося вище, другим негативним фактором у роботі пневмомеханічних апаратів є утворення двійників, тобто одночасного присмоктування до комірки двох і більше насінин. Це впливає на якість виконання технологічного процесу і приводить до висіву в гніздо декількох насінин.

Вплив розрідження на утворення двійників показано на рис. 4.4.









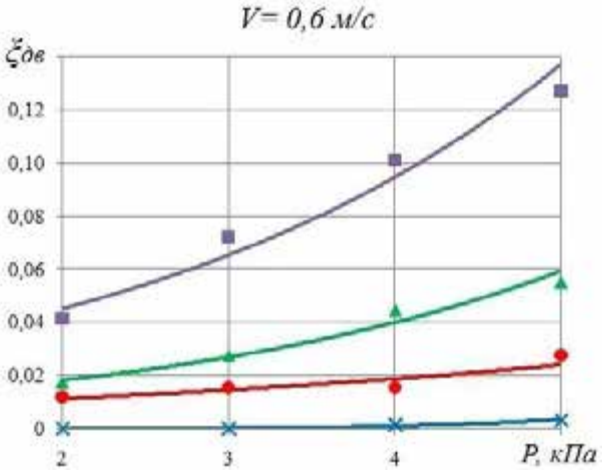


Рис. 4.4. Залежність ймовірності появи двійників від ступеня розрідження у вакуумній камері:

- соя;
- кукурудза;
- соняшник;
- насіння цукрового буряка.

Як видно з графіків, вони мають протилежну залежність в порівнянні з ймовірностями пропусків (рис. 4.3). Тобто, при збільшенні розрідження ймовірності появи двійників теж збільшуються. Причому, дана закономірність характерна для всіх культур. Залежності мають нелінійний

характер з поступовим нарощуванням ймовірності двійників при підвищенні розрідження.

Найменший вплив розрідження на утворення двійників спостерігається для насіння сої. На всіх досліджених швидкостях від *V=0,2 м/с* до *V=0,6 м/с* ймовірність двійників для сої знаходиться близько нульового значення незначно збільшуючись по мірі росту розрідження.

Самі великі значення ймовірностей двійників отримані для насіння цукрового буряка. Причому насіння цієї культури схильні до утворення двійників у всьому інтервалі досліджених швидкостей.

Порівнюючи ймовірності появи двійників між соєю і насінням буряка на швидкості *V=0,4…0,5 м/с*, стає очевидним, що ймовірність для насіння буряка на порядок вище. Це ще раз підкреслює важливість впливу форми і стану поверхонь насінин на ефективність їх відокремлення із загальної маси при формуванні однозернового потоку.

4.5. Вплив швидкості переміщення дозуючого елемента на пропуски

Швидкість переміщення дозуючого елемента в масі насіння є суттєвим фактором, що визначає продуктивність апарату, а значить і можливу швидкість руху сівалки по полю. Враховуючи, що висів необхідно проводити в найкоротші терміни визначені агровимогами, бажано без втрати точності дозування використовувати високі швидкості руху дозуючого елемента.

Вплив швидкості на формування пропусків при висіві показано на рис. 4.5.

З графіків очевидні нелінійні залежності ймовірності пропусків від швидкості для всіх досліджених культур. Найбільші значення ймовірностей спостерігаються для насіння соняшника, де підвищення швидкості суттєво збільшує ймовірність пропусків. Причому, така закономірність характерна у всьому діапазоні змін розрідження від *P=2 кПа* до *P=5 кПа*. Суттєво менші

значення ймовірностей пропусків (в 2…3 рази) отримані для насіння інших культур.

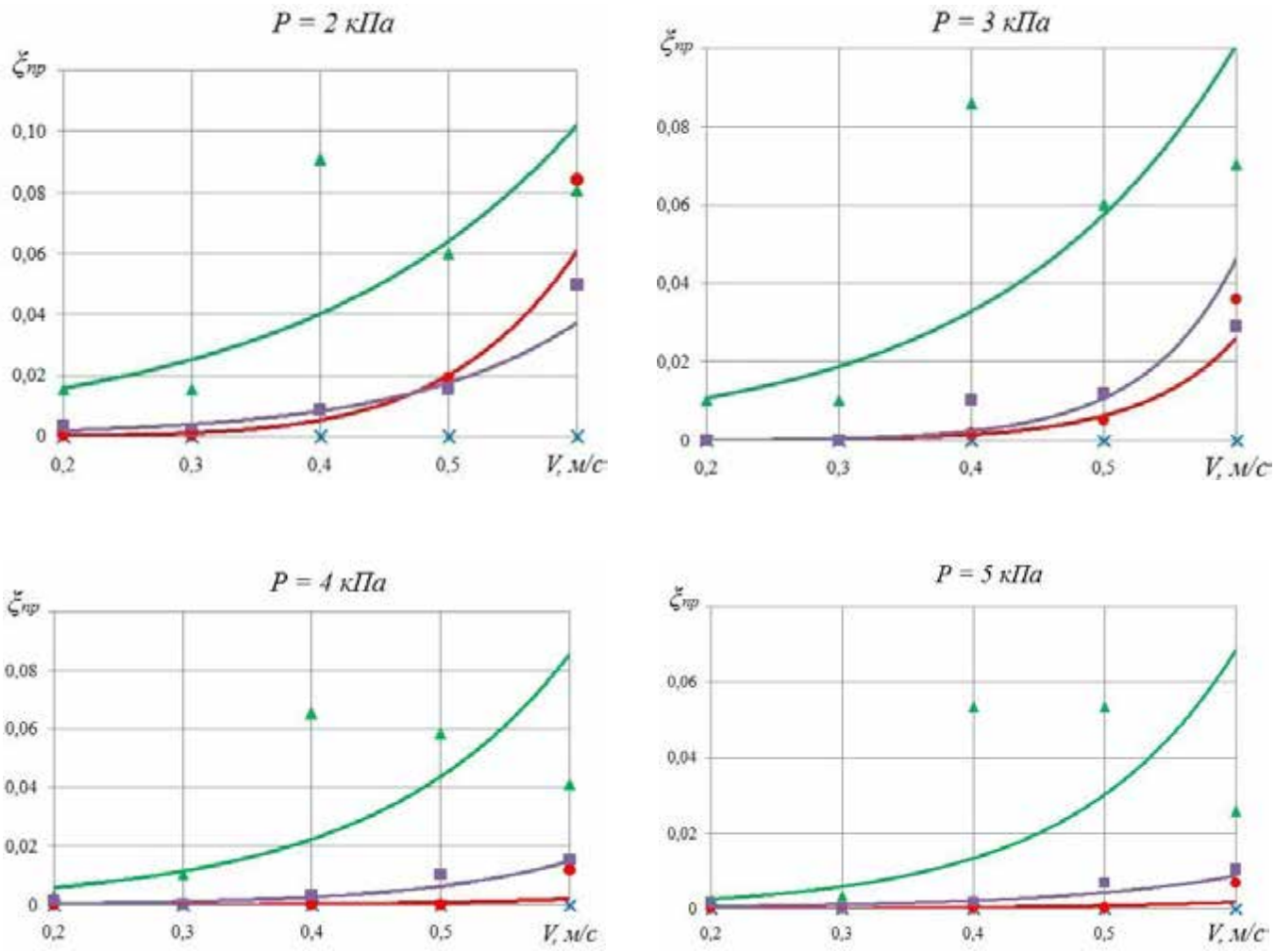


Рис. 4.5. Залежність пропусків від швидкості переміщення дозуючого елемента: × - соя; ● - кукурудза; ▲ - соняшник; ■ - насіння цукрового буряка.

На другому місці по кількості пропусків знаходиться насіння буряка, ще менше пропусків у кукурудзи і незафіксовані пропуски для насіння сої.

4.6. Вплив швидкості переміщення дозуючого елемента на утворення двійників

Незважаючи на те, що фазами руху дозуючого елемента (розділ 2) передбачено сектор, в якому сили, що діють на насінини, складаються таким чином, що сприяють позбавленню двійників, якщо вони були захоплені присмоктуючою коміркою, практикою експлуатації встановлено неповне скидання зайвих насінин і присутність двійників в потоці насіння, що висівається.

Для підвищення ефективності своєчасного їх скидання в багатьох конструкціях апаратів, як і на дослідному стенді, передбачаються спеціальні додаткові пристрої. Вони знижують ймовірність появи двійників, але не вирішують проблему їх усунення повністю. Тому виникає наукове завдання виявлення вмісту двійників, в залежності від режимів експлуатації висівного апарата і встановлення сприятливих умов для їх мінімізації.

Залежності зміни ймовірності появи двійників від швидкості переміщення дозуючого елемента представлені на рис. 4.6.

Для насінин сої при всіх режимах дозування, двійників не виявлено. Пояснюється це формою насінин, яка наближається до сферичної і в контакті з коміркою не сприяє створенню бокових потоків повітря для захвата додаткових насінин. Крім того, насінини сої мають відносно велику щільність, а значить і масу, що теж не сприяє захвату їх потоками повітря в зазорах.

Як видно з графіків (рис. 4.6) для більшості культур залежності носять спадаючий нелінійний характер. Зі збільшенням швидкості ймовірності двійників зменшуються. Отриманий результат підтверджує теоретичні положення приведені у другому розділі, де закладена ідея позбавлення двійників дією відцентрової сили. Тому, чим більше швидкість руху дозуючого елемента, тим більше ця сила, а значить і більше ймовірність скидання зайвих насінин. Найбільш чутливі до такого механізму скидання виявились насінини соняшника. При перепаді швидкостей у 3 рази від $V=0,2$ *м/с* до $V=0,6$ *м/с*, ймовірність двійників для них змінюється в 3…4 рази.

До утворення двійників найбільш схильне насіння цукрових буряків. Очевидно це пов’язано з станом зовнішньої поверхні (рис. 4.1, г), що представляє собою складну різновисоку поверхню з багатьма нерівностями. Вона не дає щільного контакту з поверхнею комірки.

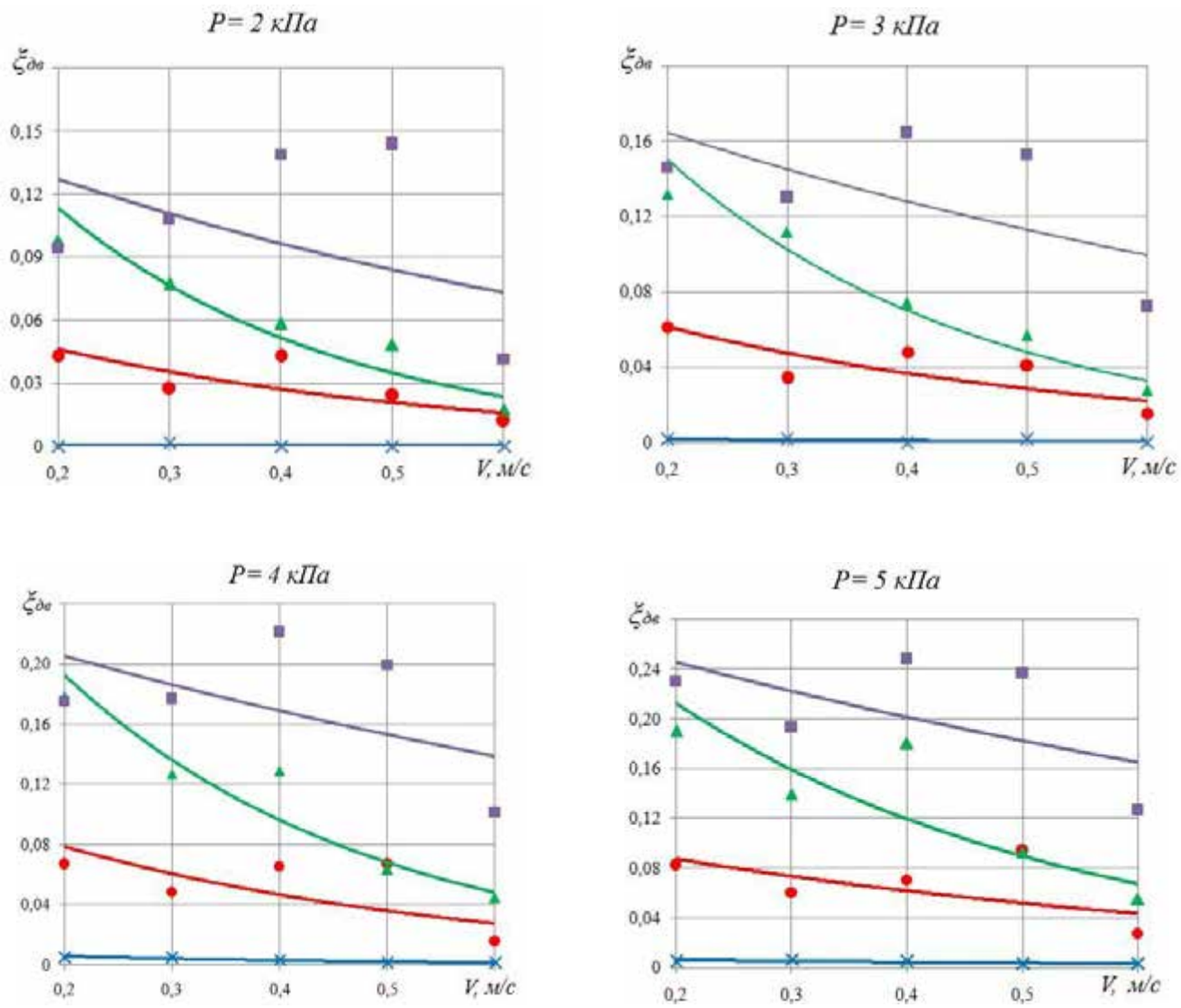


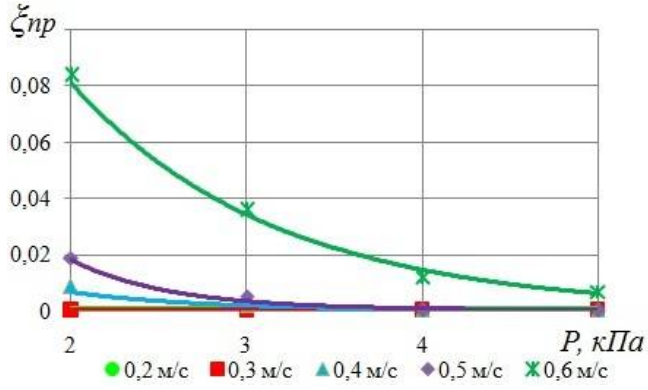
Рис. 4.6. Залежність утворення двійників від швидкості переміщення дозуючого елемента: × - соя; ● - кукурудза; ▲ - соняшник; ■ - насіння цукрового буряка.

В результаті, через зазори між насініною і коміркою проникає присмоктуюче повітря, яке і захвачує додаткові насінини. Для насіння цукрових буряків ймовірності двійників досягають $\xi_{дв}=0,24$ при низькій швидкості $V=0,2$ *м/с* і високому розріджені $P=5$ *кПа*. Насіння інших культур (кукурудза, соняшник) мають ймовірності двійників нижчі, ніж у насіння цукрового буряка.

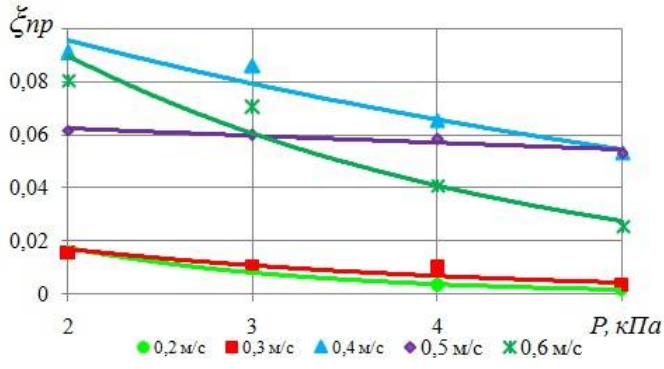
4.7. Дослідження впливу розрідження на появу пропусків для насіння основних технічних культур

Важливим для встановлення раціональних значень параметрів роботи висівного апарата є зворотна постановка і вирішення завдання реакції насінин різних культур на вплив зовнішніх факторів, при відокремлені їх від загальної маси.

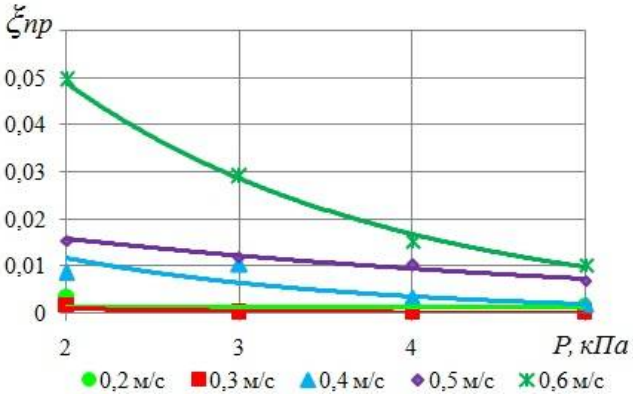
На рис. 4.7. показані закономірності формування пропусків при висіві насіння окремих культур, в залежності від зміни розрідження у вакуумній камері.



а)



б)



в)

Рис. 4.7. Залежність ймовірностей пропусків від розрідження при висіві основних технічних просапних культур: а – кукурудза; б – соняшник; в – насіння цукрового буряка.

Насіння сої у всьому діапазоні швидкостей і розріджень практично ідеально дозується висівними апаратом з направленим вектором присмоктування. Для них ймовірність пропусків прямує до нуля $\xi_{пр} \to 0$. Дещо вище ця ймовірність для насіння кукурудзи, але тільки при невисокому розрідженні ($P=0,2...0,3$ *кПа*) і швидкості до $V=0,45$ *м/с*. Подальше підвищення швидкості до $V=0,6$ *м/с* суттєво збільшує ймовірність пропусків насіння, особливо для кукурудзи. Таким чином можна вважати, що для даної культури швидкість переміщення дозуючого елемента більша за $V=0,5$ *м/с* небажана, так як при цьому суттєво збільшується ймовірність появи пропусків.

Загальною тенденцією для насіння соняшника є виявлена раніш закономірність підвищення пропусків зі зменшенням розрідження і збільшенням швидкості. Деяка інверсія при цьому підкреслює складність контакту насінин соняшника з коміркою дозуючого елемента.

Для насіння цукрових буряків навпаки, встановлена чітка залежність ймовірності пропусків від швидкості. Зі збільшенням швидкості ця ймовірність зростає. Так, при розрідженні в $P=2$ *кПа* вона дорівнює $\xi_{пр}=0,05$, що в 5 разів більше ніж при розрідженні $P=5$ *кПа*. Насіння інших досліджених культур не мають такого великого перепаду в пропусках і у всіх інтервалах змін розріджень і швидкостей, приблизно показують в середньому ймовірність пропусків на рівні $\xi_{пр}=0,005...0,01$.

4.8. Дослідження впливу розрідження на виникнення двійників насіння основних технічних культур

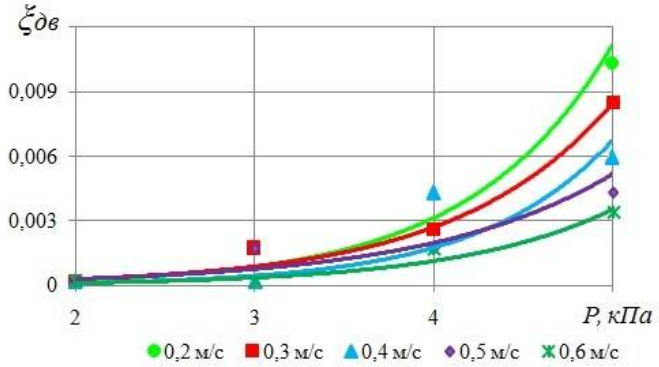
Форма і стан поверхні насінин, разом з основними технологічними параметрами роботи пневмомеханічних апаратів, відіграють визначальну роль в ефективності відбору окремих насінин від загальної їх маси.

Попередніми дослідженнями показано, що найкращі результати при дозуванні досягаються для насінин сої. Це підтверджується і даними виділеними по видам культур (рис. 4.8).

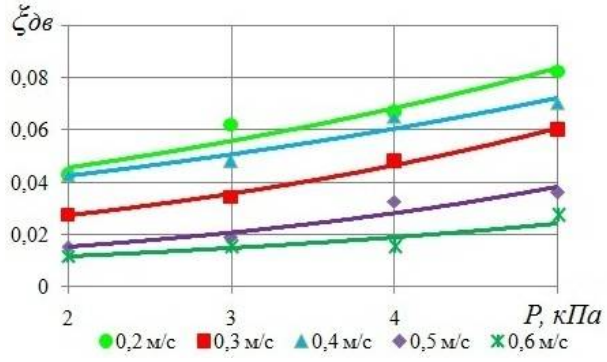
Кількість двійників сої нелінійно зростає зі збільшенням розрідження. Особливо інтенсивний ріст спостерігається при невеликих швидкостях. Очевидно на захват двійників крім силової дії розрідження впливає ще і час, за який цей захват відбувається.

В такому аспекті аналізу процесу, пневмомеханічний апарат торцевої дії з направленим вектором присмоктування і розширеним часом взаємодії з насіниною, має свої переваги і недоліки. Перевагою є те, що за рахунок збільшення часу експозиції між насіниною і коміркою стає більш ймовірним захват насінини, що підкреслюють результати проведених досліджень. З іншого боку, збільшення часу експозиції між насіниною і коміркою збільшує також шанси на захват додаткових насінин: тобто утворення двійників.

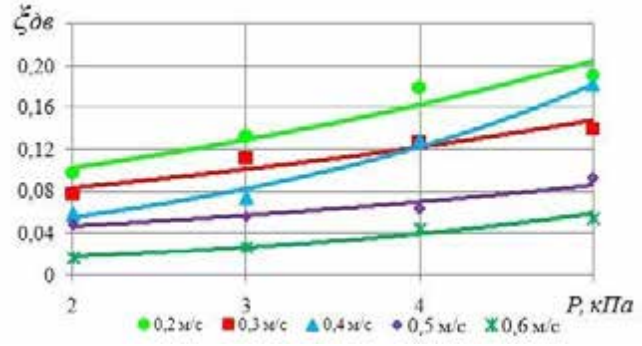
Тенденція збільшення двійників при підвищенні ступеня розрідження характерна для насіння всіх видів культур, але проявляється в різній мірі для кожного з них.



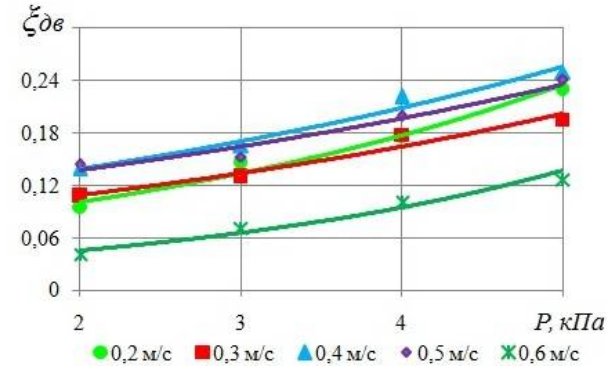
а)



б)



в)



г)

Рис. 4.8. Залежність ймовірностей двійників від розрідження при висіві основних технічних культур: а – сої; б – кукурудзи; в – соняшника; г – насіння цукрового буряка.

Так, для кукурудзи криві більш пологі в порівнянні з насінням сої, а абсолютні значення ймовірності двійників на порядок вищі.

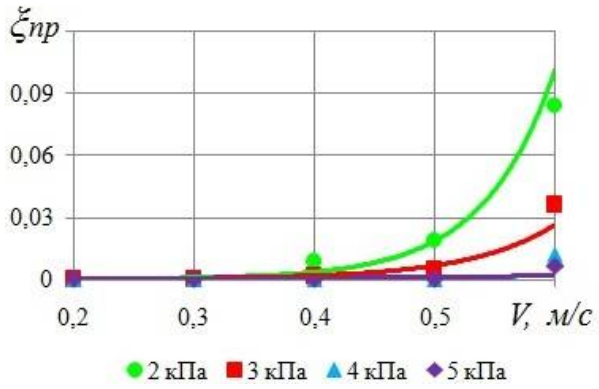
Ще більше двійників утворюють насіння соняшника. Так, при розрідженні в *P=5 кПа* ймовірність двійників соняшника складає $\xi_{дв}=0,2,$ що в 20 разів вища ніж у сої і в 2,5 перебільшує результат кукурудзи.

Практично лінійні наростаючі залежності зміни ймовірностей двійників від ступеня розрідження отримано для насінин цукрових буряків (рис. 4.8, г). За винятком деякої незначної інверсії по параметру швидкості,

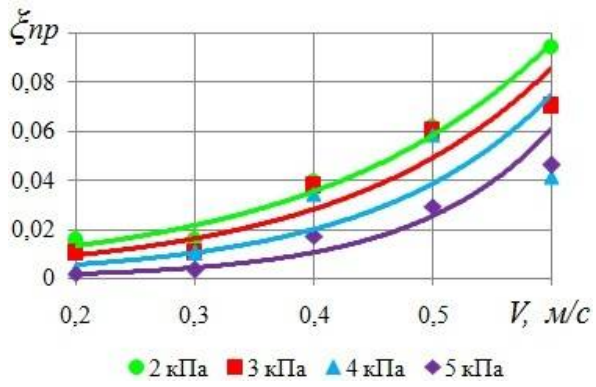
вони підтверджують загальну закономірність утворення двійників від ступеня розрідження у вакуумній камері.

4.9. Дослідження впливу швидкості на утворення пропусків насіння основних технічних культур

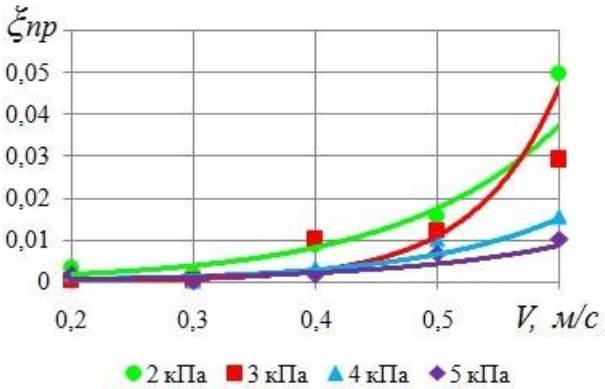
Вплив швидкості переміщення комірки відносно зернової маси на утворення пропусків, відображено на рис. 4.9.



а)



б)



в)

Рис. 4.9. Залежність ймовірності пропусків від швидкості переміщення комірки дозуючого елемента:
а – кукурудза; б – соняшник; в – насіння цукрового буряка.

Для насінин сої не встановлено пропусків в залежності від швидкості і ступеня розрідження у вакуумній камері.

Виявлено, що насіння кукурудзи чутливе до утворення пропусків тільки після швидкості, що перебільшує $V>0,4$ *м/с* (рис. 4.9, а). Особливо це стає очевидним при невеликих розрідженнях. Так, при $P=2$ *кПа* і швидкості $V=0,6$ *м/с* ймовірність пропусків досягає $\xi_{пр}=0,1$.

Більш згруповані результати з меншою розбіжністю отримані для насіння соняшника. Відхилення ймовірностей пропусків у всьому інтервалі змін швидкостей (*V=0,2…0,6 м/с*) складає не більше ніж $\Delta \xi_{пр}=0,09$.

Поведінка насіння буряків по характеру зміни ймовірностей пропусків близька до насіння сої.

4.10. Дослідження впливу швидкості на виникнення двійників при висіві насіння основних технічних культур

Вивчення утворення двійників, в залежності від швидкості переміщення комірки, підтвердили попередньо отримані дані. Доповненням до цього є виділення насіння культури як особливості форми і стану їх зовнішніх поверхонь.

Результати даних досліджень представлені графічно на рис. 4.10.

З графіків видно, що збільшення швидкості відносного переміщення комірки знижує можливість утворення двійників при любих значеннях розріджень.

Для різних видів досліджених культур цей перепад ймовірностей $\Delta \xi_{дв}$ теж різний:

соя – від *0,0025* до *0 кПа*;

кукурудза – від *0,06* до *0,025 кПа*;

соняшник – від *0,14* до *0,09 кПа*;

насіння буряка – від *0,06* до *0,04 кПа*.

Представляє практичний інтерес те, що зі зниженням розрідження цей перепад також зменшується. Тобто, насіння культур стають менш чутливими до утворення двійників.

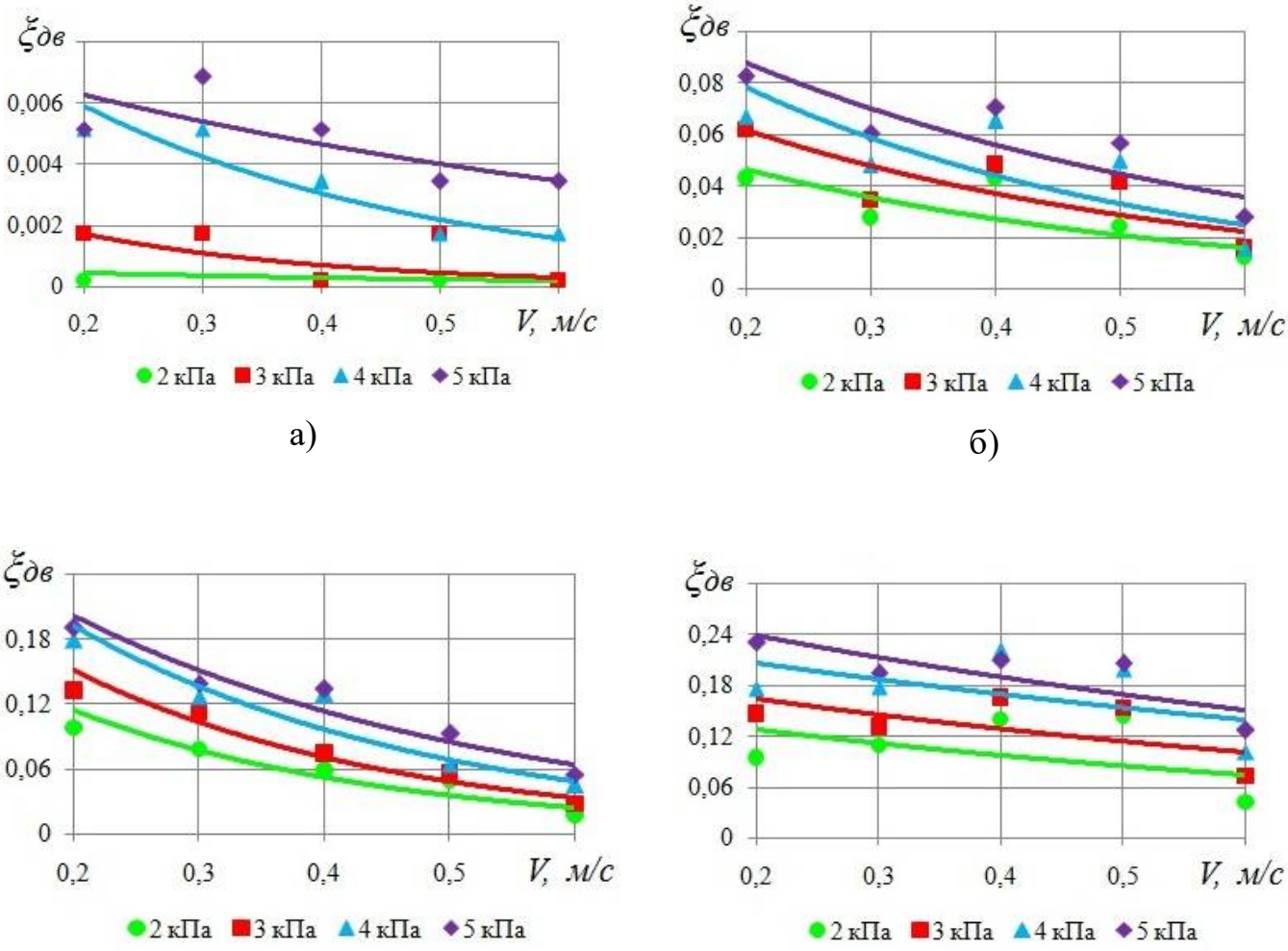


Рис. 4.10. Залежність утворення двійників від швидкості переміщення комірки дозуючого елемента: а – соя; б – кукурудза; в – соняшник; г – насіння цукрового буряка.

По абсолютним значенням ймовірностей двійникування, захвати парних насінин частіше зустрічаються у соняшника і насіння буряка, і значно в меншій мірі характерні для сої і кукурудзи.

4.11. Порівняльні експлуатаційні випробування точності висіву пневмомеханічним апаратом з направленим вектором присмоктування

Польові дослідження роботи експериментального висівного апарата виконувалися в реальних умовах експлуатації. Посів проводився на полях ВП

НУБіП України «Великоснітинське навчально-дослідне господарство ім. О.В. Музиченка» [Додаток Е]. Порівняльні характеристики якості висіву знімалися при одночасній роботі дослідного апарата і серійного сівалки СТВТ 12/8М.

Посівний машинно-тракторний агрегат на якому виконувалися дослідження показано на рис. 4.11.

Рис. 4.11. Загальний вигляд машинно-тракторного посівного агрегату (трактор МТЗ-80+сівалка СТВТ-12/8М) для проведення порівняльних досліджень роботи експериментального висівного апарата в польових умовах

Зображення експериментального апарата у відкритому стані з доступом до дозуючого елемента, керованих по орієнтації комірок, завантажувальної камери і вакуумної камери представлено на рис. 4.12.

Рис. 4.12. Дослідний пневмомеханічний висівний апарат з орієнтованими присмоктуючими комірками

Висівним матеріалом в експериментах прийнято насіння кукурудзи при нормі висіву 15-25 *кг/га* (45-80 *тис.шт/га)*. Висів здійснювався у підготовлений ґрунт – чорнозем вологістю 22,0 - 25,0 % і щільністю 1,2-1,3 $г/см^3$. Експерименти виконані згідно методики польового досліду викладеної у розділі 3.

За оцінку якості висіву прийнята точність його виконання, чисельною характеристикою якої є ймовірність точності висіву [92, 104]. В позначеннях прийнятих в даній роботі, формула для визначення ймовірності точності висіву записується наступним чином:

$$\xi_m = \left(1-\xi_{пр}\right)\cdot\left(1-\xi_{дв}\right)\cdot\xi\left\{\eta \le \pm h\right\} \qquad (4.4)$$

де $\xi\left\{\eta \le \pm h\right\}$ – ймовірність того, що відхилення дійсного положення висіяного насіння η від бажаного положення не перебільшить крок висіву *h*.

Крок висіву *h* задається згідно агротехнічних умов на висів, або може бути підрахований виходячи з встановленої норми висіву. Так чи інакше, бажані точки висіву (розташування насінин) можуть бути визначені, як місця теоретичного ідеального їх положення у борозні. Відхилення від цього

положення і дає розсіювання точок фактичного висіву навколо бажаного. Стохастичні характеристики такого розсіювання, а значить і ймовірність $\xi\{\eta \le \pm h\}$, визначаються в експерименті.

Висів проводився в штатному режимі експлуатації сівалки при швидкості її руху $V_c = 9\,км/год.$ і розрідженні у вакуумній камері $P = 4кПа$. В перерахунку швидкості руху сівалки на швидкість переміщення дозуючого диска маємо $V_д = 0,4\,м/с.$

Ймовірності $\xi_{пр}$ і $\xi_{дв}$ є характеристиками роботи висівного апарата тому їх дані взяті з результатів лабораторних досліджень і представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Основні стохастичні показники роботи пневмомеханічних висівних апаратів

Висівний апарат	Показники роботи			
	Ймовірність пропусків	Ймовірність двійників	Ймовірність відхилення положення насінин	Ймовірність точності висіву
	$\xi_{пр}$	$\xi_{дв}$	$\xi\{\eta \le \pm h\}$	ξ_m
Серійний сівалки СТВТ-12/8М	0,04	0,01…0,06	0,88	0,79
Дослідний з керованим вектором сили присмоктування	~0	0,065	0,96	0,89

Ймовірність відхилення положення насінини від необхідного $\xi\{\eta \le \pm h\}$ знаходиться по результатам замірів виконаних безпосередньо в

досліді. Статистична обробка цих даних дозволила розрахувати ймовірності $\xi\{\eta \le \pm h\}$ для серійного і дослідного апарата, які представлені в табл. 4.1.

Отриманий результат по точності висіву, підрахований по формулі (4.4.), відповідає бажаним даним на кращі зразки пневмомеханічних висівних апаратів. Це підтверджує доцільність рекомендації розробленого апарата до виробництва.

Ймовірність точності висіву дослідного апарата, як комплексний показник підвищення ефективності його використання, на 0,1 більше ніж у серійного СТВТ-12/8М, що працював в повністю ідентичних умовах експлуатації.

Висновки

1. Експериментально підтверджено, що сила присмоктування змінюється від відстані між коміркою і насіниною згідно обернено квадратичного закону.

2. Для всіх культур і швидкостей переміщення дозуючого елемента характерні спадаючі залежності зменшення ймовірностей пропусків при збільшені ступеня розрідження у вакуумній камері (рис. 4.7).

3. Встановлено, що приріст розрідження зменшує різницю у ймовірностей пропусків між насінинами різних культур.

4. Збільшення розрідження сприяє підвищенню кількості двійників для кукурудзи, соняшника і насіння буряків у всьому інтервалі зміни швидкостей $0,2\,м/с \le V \le 0,6\,м/с$. Насіння сої практично не мають двійникування і ймовірність їх виникнення близька до нульової.

5. Для оцінки ефективності роботи висівних апаратів доцільно використовувати комплексний показник ймовірності точності висіву, який включає ймовірність появи пропусків, ймовірність утворення двійників і ймовірність відхилення насінини від заданої точки висіву при практично відсутній інверсії.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Загальновизначеною тенденцією розвитку посівної техніки для вирощування просапних культур слід вважати розробку сівалок, що реалізують більш точний висів насіння як фактор економії посівного матеріалу і забезпечення умов кращої вегетації рослин з підвищенням їх врожайності. Перспективним для подальшого збільшення точності висіву є розробка пневмомеханічного апарата з активною коміркою направленої дії.
2. Дослідженням взаємодії насіння з коміркою дозатора встановлено, що присмоктуюча сила змінюється обернено пропорційно квадрату відстані між насіниною і коміркою.
3. Тривалість процесу захвату насінин присмоктуючою коміркою торцевої направленої дії заростає по експоненціальному закону в залежності від відстані між коміркою і насіниною. Цим розширюється зона впливу комірки на насінину і підвищується ефективність відділення окремої насінини від загальної їх маси.
4. Формуванню регулярного однозернового потоку сприяє своєчасне скидання зайвих насінин. Доцільно цю операцію виконувати в другій четверті руху дозатора (рис. 2.10) при кутах його повороту $92^0 \le \varphi \le 110^0$. При цьому раціональне значення кута орієнтації комірки складає $\Theta = -10^0$, а достатня гранична кутова швидкість дорівнює $\omega_{гр} = 1,3c^{-1}$.
5. Раціональним сектором скидання основної насінини слід вважати кут повороту дозуючого диска $230^0 \le \varphi \le 270^0$ і при положенні присмоктуючої комірки $\Theta = \pm 10^0$.
6. Нещільність прилягання насінини до поверхні дозуючої комірки визиває необхідність для зрушення, переміщення і утримання насінин розвивати

додаткове зусилля, величина якого визначається, як різниця між загальною силою присмоктування і розрахунковою силою необхідною для утримання насінини при щільному її приляганні.

7. Для насіння всіх досліджених культур (соя, кукурудза, соняшник, цукровий буряк) і вибраних швидкостей переміщення дозуючого елемента $0,2 \le V \le 0,6\ м/с$ встановлені спадаючі залежності зменшення ймовірностей пропусків при збільшені ступеня розрідження у вакуумній камері. Виявлено, що приріст розрідження зменшує різницю у ймовірностей пропусків між насінинами різних культур. Насіння сої практично не утворюють двійників і ймовірність їх виникнення близька до нуля.
8. Технічна ефективність роботи сівалки з дозатором направленої дії обумовлена, насамперед, суттєвим зниженням пропусків від 1,2 до 3,3 разів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ревенко А.Д. Особливості ведення підприємницької діяльності в сільськогосподарській сфері: Методичний посібник / А.Д. Ревенко. – Кіровоград: ТОВ « Імекс-ЛТД », 2007. – 68 с.
2. Зелена маса // Земледелец. – 2013. - №5. – С. 13 - 15.
3. Зінченко О.І. Рослинництво: Підручник / О.І. Зінченко, В.Н. Салатенко, М.А. Білоножко – К.: «Аграрна освіта», 2001. – 591 с.
4. Сівба // Брошура компанії Vaderstad. – 2013.
5. Високий агротехнологічний потенціал сівалки Tempo 8F // Земледелец. – 2013. - №7. – С. 2 - 13.
6. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику / П.М. Василенко – К.: Сільгоспосвіта, 1996. – 251 с.
7. Василенко В.В. Совершенствование процесса формирования пунктирного ряда семян и растений пропашных культур: дис. На соискание наук.степени докт. техн. наук : 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хазяйства» / В.В. Василенко - Воронеж, 2007.
8. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилюк – К.: «Урожай», 1994. – 448 с.
9. Способы посева [електронний ресурс]: MSE-ONLINE. - Режим доступу: http://mse-online.ru/zemledelie/sposoby-poseva.html.
10. Vaderstad пропонує нову машину для технології STRIP-TILL // Земледелец.– 2013. - №6. – С. 17 - 19.
11. От урожайности – к рентабельности // Зерно. – 2007. – №6. – С. 13 - 19.
12. Сівалки й агротехнічні вимоги до їх роботи. Якість сівби. [електронний ресурс]: MOBILE.PIDRUCHNIKI. – Режим доступу: **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки.**geografiya/sivalki_agrotehnichnivimogi_roboti_yakist_sivbi

13. Зенин Л.С. Исследование пневматического высевающего аппарата точного высева: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук / Л.С. Зенин – Алма-Ата, 1962. – 28 с.
14. Сахнов А.В. Разработка конструкции скоростного высевающего аппарата для сеялок точного высева / А.В. Сахнов – Белгород 2013. – (Регистрац. № 02154102301. Научный отчет по НИР 414/126).
15. Сівалка точного висіву [електронний ресурс]: RUNO-AGRO - режим доступу: http://runo-agro.com/ua/.
16. Каталог продукции компанії John Deere . Посевное оборудование сеялки точного высева серии 1700 и серии DB. США, 2013 г.
17. Проспект на сівалку Tempo фірми Väderstad, Швеція, 2013 р.
18. Свирень Н.А. Обоснование конструктивных параметров аппарата точного высева зерновых культур: дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: 05.05.11 «Сельскохозяйственные машины» / Н.А. Свирень – Кировоград, 1999.
19. Каталог продукції компанії Väderstad (Швеція) [електронний ресурс]: vaderstad.com – Режим доступу: http://www.vaderstad.com/ ua/produkcia/ tochnuy_vusiv/tempof
20. Каталог продукції компанії John Deere (США) [електронний ресурс]: deere.ua/ - Режим доступу: http://www.deere.ua/uk_UA/products/ equipment/ seeding/1700_series_planters/1700_serie_planters.page?
21. Каталог продукції компанії SFOGGIA Sigma 5 (Італія) [електронний ресурс]: sfoggia.com/ - Режим доступу: http://www.sfoggia.com/CatalogoDettaglio.aspx?ProductID=10216
22. Каталог продукції компанії Massey Ferguson (США) [електронний ресурс]: masseyferguson.com/ - Режим доступу: http://int.masseyferguson.com/ mf555.aspx
23. Каталог продукції компанії АО «Молдагротехника» (Молдова) [електронний ресурс]: moldagrotehnica.md/ - Режим доступу: **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки.**

24. Каталог продукції компанії HORSCH (Німеччина) [електронний ресурс]: horsch2.com/ - Режим доступу: https://www.horsch2.com/ru/produkcija/ mashiny-dlja-poseva/mashiny-dlja-tochnogo-vyseva/maestro-sw/
25. Каталог продукції ПАТ «Червона зірка» (Україна) [електронний ресурс]: chervonazirka.com/ - Режим доступу: http://www.chervonazirka.com/ index. php?part=static&sid=86#tab2
26. Каталог продукції компанії KINZE (США) [електронний ресурс]: kinze.com/ - Режим доступу: http://www.kinze.com/planter.aspx?id=1&3000+Rigid+ Frame+Planters
27. Посівна – 2014 // Інформаційно-аналітична газета «Агробізнес Сьогодні» - 2014. - №8 (279). – С. 12 - 14.
28. Капитонов Е.Н. История сельскохозяйственного машиностроения России: монография / Е.Н. Капитонов. – Тамбов: Издательство ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 60 с.
29. Тест – драйв пропашных сеялок // Журнал «Новый аграрный журнал» - 2011. - №1(1). – С. 7 - 10.
30. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник / [Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.]; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
31. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин / [Бойко А.І., Свірень М.О., Шмат С.І., Ножнов М.М.]. – К., 2003. – 206 с.
32. United States Patent № 3,155,201, Nov. 10, 1964, VACUUM-TYPE SEED PLANTER, Ralph L. Tweedale.
33. United States Patent № 3,698,332, Oct. 17, 1972, POSITIVE PRESSURE FEED WHEEL, Donald A. McCallum.
34. United States Patent № 3,788,518, Jan. 29, 1974, PNEUMATIC SEED DISPENSER, Raymond A. Beebe.
35. United States Patent № 4,074,830, Feb. 21, 1978, COMPRESSED AIR SEED PLANTER, Charles E. Adams et al.

36. United States Patent № US 2014/0109813A1, Apr. 24, 2014, AIR SEED METER WITH ADJUSTABLE SINGULATOR, Matthew J. Wilhelmi, Kale J. Brockmann.
37. А.с. СССР № 44401 Описание высевающего аппарата для семян свеклы / В.К. Ушаков, заявл. 9.02.1935, опубл. 30.10.1935.
38. А.с. СССР № 59749 Высевающее устройство для сеялок / П.А. Биньковский, заявл. 21.03.1940 опубл. 30.04.1941.
39. А.с. СССР № 66641 Однозерновой высевающий аппарат / И.И. Латышев, заявл. 4.01.1945 № 807(337631) опубл. 31.07.1946.
40. А.с. СССР № 146105 Пневматический высевающий аппарат / Б.И. Журавлев, В.И. Александров, И.Я. Антоненко, М.Л.Кругляков, П.И. Рыбчинский, Э.А. Корниенко и Т.Я. Мусийченко (СССР); № 697484/30-15 заявл. 13.02.1961, опубл. Бюл. № 7, 1962.
41. А.с. СССР № 145399 Пневматический высевающий аппарат / Б.Н. Фрышев (СССР); № 735861/30-15 заявл. 26.06.1961, опубл. Бюл.№ 5, 1962.
42. А.с. СССР 440129, М. Кл. А 01С 7/04 Вакуумный высевающий аппарат / Д.Г. Вальянов (СССР); № 1480042/30-15 заявл. 29.09.70. опубл. 25.08.74. Бюл. № 31.
43. А.с. СССР 581900, М. Кл. А 01С 7/04 Гидравлический высевающий аппарат / В.С. Сухин, Д.Г. Вальянов (СССР); № 2384286/30-15 заявл. 06.07.76. опубл. 30.11.77. Бюл. № 44.
44. А.с. СССР 1540690 А1, кл. А 01С 7/04 Высевающий аппарат / В.М. Бумаков, В.Н. Левенец, А.В. Гаина и Г.П. Лышко (СССР); № 4234260/30-15 заявл. 27.04.87. опубл. 07.02.90. Бюл. № 5.
45. А.с. СССР 1824047 А1, кл. А 01С 7/04 Пневматический высевающий аппарат / В.А. Любчич и Г.П. Юдин (СССР); № 4898013/15 заявл. 02.01.91. опубл. 30.06.93. Бюл. № 24.

46. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / [В.В. Адамчук, Г.Л. Баранов, О.С. Барановський та ін.]; за ред. В.І. Кравчука. – К.: Аграрна наука, 2004. – 396 с.
47. Сисолін П.В. Теорія, проектування та розрахунки посівних машин: Навч. посібник / П.В. Сисолін. – К.: ІСДО, 1994. – 148 с.
48. Шмат С.І., Шумейко В.М. Совершенствование пневматического высевающего аппарата. / С.І. Шмат, В.М. Шумейко // Конструирование и производство сельскохозяйственных машин: Респ. межвед. науч. – техн. сб. – К.: 1986. – Вып. 16. – 124 с.
49. Техніка і технології [електронний ресурс]: t-i-t.com.ua/. - Режим доступу: http://t-i-t.com.ua/silgosptehnika-ua.html?lang=ua
50. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилюк – К.: «Каравела», 2004. – 552 с.
51. Гевко Б.М. Технологічні основи проектування та виготовлення посівних машин: монографія / [Б.М. Гевко, О.Л. Лящук, Ю.Ф. Павельчук та ін.] – Тернопіль: Вид. ТНТУ імені Івана Пулюя, 2013. – 238 с.
52. Ивженко С.А. Механико – технологические основы совершенствования пневматического посева: автореф. дис. на соискание науч. степени доктора техн. наук: спец. 05.02.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / С.А. Ивженко – Челябинск, 1992. – 45 с.
53. Будагов А.А. Точный посев на высоких скоростях. / А.А. Будагов. – Краснодар.: 1971. – 139 с.
54. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 1, частина 2. Машини для сівби та садіння. – Харків: Око, 2002. – 452 с.
55. Кардашевский С.В. Высевающие устройства посевных машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 176 с.

56. Пневматические сеялки. Конструирование и расчет. / [С.А. Мартыненко, Л.Г. Манишена, Л.В. Погорелый и др.] Под общ. ред. академика УААН Л.В. Погорелого. – К.: Техника, 1992. – 220 с.
57. Бузенков Г.М. Машины для посева сельскохозяйственных культур. / Г.М. Бузенков, С.А. Ма. – М.: Машиностроение, 1976. – 270 с.
58. Комаристов В.Ю. Сільськогосподарські машини / В.Ю. Комаристов, М.Ф. Дунай – К.: Вища школа, 1987. - 486 с.
59. Хайлис Г.А. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин. – К.: Изд-во УСХА, 1992. – 235 с.
60. Чичкин В.П. Овощные сеялки и комбинированные агрегаты. Теория, конструкция, расчет. – Кишинёв: Житница, 1984. – 391 с.
61. Лінник Н.К. Напрями технічної політики в сільськогосподарському виробництві та шляхи їх вирішення / Н.К. Лінник // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К., 1998. – № 9. – С. 56 - 58.
62. Лурье А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин / А.Б Лурье, А.А. Громбчевский. – Л.: Машиностроение, 1977. – 528 с.
63. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / [Е.С. Босой, О.В. Вертяев, И.И. Смирнов и др.] Под ред. Е.С. Босого: 2-е изд. перераб. дополн. – М.: Машиностроение, 1978. – 568 с.
64. Патент на корисну модель № 84210 Україна, МПК A01C 7/04, A01C 17/00, A01C 19/00. Пневмомеханічний висівний апарат / А.І. Бойко, П.С. Попик // - № u 2013 05473; Заяв. 26.04.2013; Опубл. 10.10.2013, Бюл. № 19.
65. Патент на корисну модель № 90890 Україна, МПК A01C 7/04, A01C 17/00, A01C 19/00. Пневмомеханічний висівний апарат з поворотною коміркою висівного диска / А.І. Бойко, П.С. Попик, О.О. Банний // - № u 2014 00807; Заяв. 29.01.2014; Опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11.
66. Попик П.С. Пневмомеханічний висівний апарат з направленим вектором присмоктувальної сили / П.С. Попик // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування

України; Серія «Техніка та енергетика АПК».– К., 2014. – Вип. 196. Ч.1. – С. 425 - 428.

67. Белодедов В.А. К вопросу равномерности распределения семян при посеве / Труды Костромского СХИ, 1969. Вып. 12, С. 81 - 90.
68. Васильковська К.В. Обґрунтування параметрів універсального пневмомеханічного висівного апарата точного висіву: дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11. «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / К.В. Васильковська – Кіровоград, 2014.
69. Семенов А.Н. Зерновые сеялки. – М. – Киев: Машгиз, 1969. – 315 с.
70. Сеялка универсальная пневматическая навесная СУПН-8. Заводская инструкция. – Кировоград, 1988. – 104 с.
71. Журавлев Б.И. Пневматические сеялки – М.: 1965.
72. Зенин Л.С. К теории точного высева / Л.С. Зенин // Вестник с.- х. науки. - №1. – 1962. С. 62 - 64.
73. Патент на корисну модель 77191 U Україна, МПК A01C 7/04. Пневмомеханічний висівний апарат / М.М. Петренко, М.І. Васильковський, К.В Васильковська; заявник і патентотримач Кіровоградський національний технічний університет - № u201203339; заявл. 20.03.2012; опубл. 11.02.2013, Бюл. №3.
74. Точный посев зерновых и пропашных культур. – М.: ВИСХОМ, 1984. – 106 с.
75. Белодедов В.А. Оптимизация параметров однозерновых высевающих аппаратов: автореф. дис. на соискание науч. степени доктора техн. наук: спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / В.А. Белодедов – Новосибирск, 1991. – 31 с.
76. Амосов В.В. Обґрунтування параметрів універсального висівного апарата для просапних культур: дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації

сільськогосподарського виробництва» / В.В. Амосов – Кіровоград, 2007.

77. Банний О.О. Методика досліджень надійності виконання технологічного процесу висіву пневмомеханічним висівним апаратом з дублюючим дозатором / О.О. Банний, П.С. Попик // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК – К., 2014. – Вип. 196. - Ч. 3. – С. 74 - 82.
78. Мельников В.С. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / В.С. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Колос, 1980.
79. Банний О.О. Експериментальна установка для проведення лабораторних досліджень точності виконання процесу дозування насіння / О.О. Банний, П.С. Попик // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – Київ: НУБіП України, 2014. – Вип. 196. - Ч. 2. Серія: техніка та енергетика АПК. – С. 227 - 232.
80. Бойко А.І. Дослідження надійності торцевих пневмомеханічних висівних апаратів / А.І. Бойко, П.С. Попик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2014.- Вип. 151: Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – С. 153 - 158.
81. Бойко А.І. Аналіз зусиль, що діють на зернини при переміщенні їх дозуючим елементом пневмомеханічного апарата торцевої дії / А.І. Бойко, О.О. Банний, П.С. Попик // Науковий вісник Житомирського національного агроекологічного університету. – Житомир 2014. - Вип. 2 (45), Т.4, Ч. 1: «Сучасні проблеми землеробської механіки». – С. 258 – 263.

82. Пономарев К.К. Составление дифференциальных уравнений. / К.К. Пономарев. – Минск: Высшая школа, 1973. – 217 с.
83. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1970. – 720 с.
84. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М.: Наука, 1965. – 424 с.
85. Мармоза А.Т. Практикум по математической статистике. / А.Т. Мармоза – К.: Вища школа, 1990. - 336 с.
86. Зельдович Я.Б., Яглом И.М. Высшая математика для начинающих физиков и техников / Я.Б. Зельдович, И.М. Яглом – М.: Наука, 1982. – 510 с.
87. Попик П.С. Определение условий сброса лишних семян пневмомеханическим высевным аппаратом с периферийным торцевым расположением присасывающих ячеек / П.С. Попик // Motrol: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2015. – Vol. 17, No 3. – P. 316 – 321.
88. Попик П.С. Встановлення закономірності зміни присмоктуючого зусилля від відстані до зернини при дозуванні насіння пневмомеханічним висівним апаратом / П.С. Попик // Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: Тези доповідей міжнародної конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів присвячену 200-річчю з дня народження Т.Г. Шевченка 11-15 березня 2014 р.- К.: НУБіП України, 2014. - С. 98.
89. Коваль В.Я. Исследование процесса выноса семени ячейкой-присоской барабана из семенной камеры высевающего аппарата / В.Я. Коваль, А.В. Щеглов // Зб. наук. праць. ЛНАУ. Технічні науки. – Луганськ, 2005. - №49(72). – С.133 - 138.
90. Банний О.О. Удосконалення конструкції і підвищення технологічної надійності пневмомеханічного висівного апарату з резервним

дозатором для точного посіву просапних культур: дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11. «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / О.О. Банний – Кіровоград, 2013.

91. Попик П.С. Аналітичне дослідження дозування насінин пневмомеханічним апаратом з коміркою направленої дії / П.С. Попик // Матеріали IX всеукраїнської науково - практичної конференції студентів та молодих науковців «Перші наукові кроки – 2015» – Кам'янець-Подільський: Подільський державний аграрно-технічний університет, 2015. – С. 119.
92. Бойко А.І. Розрахунок економічної ефективності підвищення точності висіву просапних культур / А.І. Бойко, М.О. Свірень, О.О. Банний // Агроінженерні дослідження: Вісник Львівського національного аграрного університету. – № 16.– Львів, 2012. – С. 109 - 118.
93. Бойко А.І. Вплив швидкості переміщення дозуючого елемента з керованим вектором присмоктування на появи пропусків та двійників при висіві насіння / А.І. Бойко, П.С. Попик, О.О. Банний // Сільськогосподарські машини: Вісник Луцького національного технічного університету. - № 33. – Луцьк, 2015. – С. 3 - 7.
94. Вальянов Д.Г. Сроки сева и норма высева кукурузы в Левобережной Лесостепи УССР/ Д.Г. Вальянов, А.Е. Петренко // Труды Харьковского СХИ.– Т. 193.– Харьков, 1974. – С. 35 - 41.
95. Шенк Х. Теория инженерного экперимента. – М.: Мир, 1972. – 381 с.
96. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е дополн. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
97. Корогодов Н.С. Некоторые принципы математического анализа опытных данных по площадям питания растений // Нормы высева, способы посева и площади питания сельскохозяйственных культур. Сборник статей. – М.: Колос, 1970. – С. 456 - 468.

98. Синягин И.И. Площади питаний растений. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 383 с.
99. Белодедов В.А. Влияние конструктивных параметров сеялок на равномерность размещения семян / В.А. Белодедов, Н.В. Островский // - МЭСХ, 1980, №3, С. 12 - 16.
100. Коваль В.Я. Исследование вдольрядного распределения семян пропашных культур пневмомеханическим аппаратом точного высева / В.Я. Коваль, А.В. Щеглов // Зб. наук. праць ЛДАУ. Технічні науки. – Луганськ, 2001. - №10(22). С. 67 - 72.
101. Хангильдин Э.В. Вероятные модели распределения семян и растений в рядке. Механизация и эл. с.-х., 1978, №5, С. 5 - 7.
102. Кардашевский С.В. Теоретические основы оценки равномерности распределения семян при однозерновом посеве / С.В. Кардашевский, Е.Л. Ревякин – НИИТЭИ. – М., 1970. – 40 с.
103. Ушаков И.А. Курс теории надежности системы / И.А. Ушаков – М.: Дрофа, 2008. – 240 с.
104. Обладнання для сівби. Методи випробування. Частина 1. Сівалки одно насіннєві (сівалки точного висіву) ДСТУ ISO 7256-1:2005. – К.: Держспоживстандарт України, 2008.
105. ОСТ 70.5.1-82. Испытание сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Программа и методы испытаний. Взамен ОСТ 70.5.1-74; введ. 01.05.82.-М., 1982. - 179 с.
106. Басин В.С. Элементы теории процесса точного высева. Труды УкрНИИСХОМа вып. 2, Харьков, 1965, - С. 61.
107. Машины для точного посева пропашных культур: конструирование и расчет. / [Басин В.С., Брей В.В., Погорелый Л.В. и др.]; под. ред. Л.В. Погорелого – К.: Техника, 1987. - 151с.
108. Царенко О.М. Теоретичний аналіз розподілу рослин в рядку при точному висіві насіння: Навч. посібник / О.М. Царенко, В.М. Слугінов – Суми: «Слобожанщина», 2000. – 48 с.

109. Щеглов А.В. Підвищення ефективності технологічного процесу пунктирного висіву насіння соняшнику струминною пневмомеханічною системою: автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / А.В. Щеглов. – Луганськ, 2009. – 20 с.
110. Гнеденко В.В. Курс теории вероятностей. – М.:Наука, 1969. – 400 с.
111. Басин В.С. Оптимизация исходных параметров высева семян свеклы. Мех. и электр. с.–х. 1973, №4, С. 24 - 25.
112. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. / Е.С. Вентцель – М.:«Наука», 1964, - 565 с.
113. Методика определения экономической эффективности модернизированных сельскохозяйственных машин, изобретений и рационализаторских предложений. - М.: ВИСХОМ, 1985. - 64 с.
114. За даними Державної служби статистики України, Експрес-випуск "Підсумки збору врожаю основних сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду у 2014 році", [електронний ресурс]: ukrstat.gov.ua/ - Режим доступу: http://ukrstat.gov.ua/express/expr2015/01/06w.zip
115. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування (сільськогосподарська техніка). ДСТУ 4397:2005. – Київ, Держспожив стандарт України, 2005.
116. Каталог продукції ПАТ «ТОДАК» (Україна) [електронний ресурс]: todak.com.ua/ - Режим доступу: http://todak.com.ua/agrotechnics/

ДОДАТКИ

Додаток А

УКРАЇНА

ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 84210

ПНЕВМОМЕХАНІЧНИЙ ВИСІВНИЙ АПАРАТ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **10.10.2013.**

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України М.В. Ковіня

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **84210** (13) **U**

(51) МПК (2013.01)
A01C 7/04 (2006.01)
A01C 17/00
A01C 19/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2013 05473**
(22) Дата подання заявки: **26.04.2013**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.10.2013**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **10.10.2013, Бюл.№ 19**

(72) Винахідник(и):
Бойко Анатолій Іванович (UA),
Попик Павло Сергійович (UA)
(73) Власник(и):
Бойко Анатолій Іванович,
вул. Ахматової, 8, кв. 122, м. Київ (UA),
Попик Павло Сергійович,
вул. Генерала Родімцева, 1, кв. 828, м. Київ-41, 03041 (UA)

(54) ПНЕВМОМЕХАНІЧНИЙ ВИСІВНИЙ АПАРАТ

(57) Реферат:

Пневмомеханічний висівний апарат складається з корпусу, в який входять насіннєва та вакуумна камери, бункер для насіння, ворушилка і висівний диск, причому висівний диск має вигляд пластини, в якій по колу діаметром D виконані не наскрізні осьові свердлення, а по дотичній до кола - свердлення, кінці яких співпадають з осьовими не наскрізними свердленнями так, що вектор присмоктувальної сили і вектор обертання висівного диска лежать в одній площині і направлені один до одного.

UA 84210 U

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування, зокрема до висівних апаратів сівалок точного висіву.

Відомий висівний апарат, який використовується у сівалках точного висіву (Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. - К.: "Урожай", 1994.-448 с.), що складається з корпусу, в який входять насіннєва та вакуумна камери, бункер для насіння, висівний диск і ворушилка.

Недоліком аналога є порушення технологічного процесу дозування насіння стосовно пропусків або одночасного захоплення декількох насінин. В серійному висівному апараті основним дозуючим елементом залишається висівний диск з отворами, в яких вектор сили присмоктування не співпадає з вектором обертання висівного диску. У результаті спостерігається не заповнення отворів насіннєвим матеріалом (пропуски), що оцінюється як технологічна відмова висівного апарата.

Корисною моделлю поставлена задача підвищення точності виконання процесу висіву шляхом зміни конструкції апарату.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у висівному апараті, що складається з корпусу, в який входять насіннєва та вакуумна камери, бункер для насіння, висівний диск і ворушилка, висівний диск має вигляд пластини, в якій по колу діаметром D виконані не наскрізні осьові свердлення, а по дотичній до кола діаметром D виконані свердлення, кінці яких співпадають з осьовими не наскрізними свердленнями так, що вектор присмоктувальної сили і вектор обертання висівного диска лежить в одній площині і направлені один до одного.

Схема пневмомеханічного висівного апарату показана на фіг. 1 і фіг. 2.

Апарат складається з вакуумної камери І до якої приєднано насіннєву камеру 2. Між камерами встановлено висівний диск 3.

Висівний диск 3 (фіг. 3, 4) виконано у вигляді пластини, товщина якої не менше діаметра використовуваного посівного матеріалу. В площині А диска по діаметру D виконано не наскрізні свердлення Б.

По дотичній до кола діаметром D в площині В диска виконані свердлення Г, кінці яких співпадають з осьовими не наскрізними свердленнями Б. Свердлення мають конічні сопла 4.

Напрям вектора $\overline{V}$ лінійної швидкості обертання висівного диска співпадає з напрямом свердлень Г. Вектор V лежить в одній площині з вектором присмоктувальної сили F_p, і направлені один до одного.

Пневмомеханічний висівний апарат працює наступним чином. При роботі висівного апарата під дію зовнішнього джерела у вакуумній камері утворюється розрідження в межах 0,0040...0,0050 МПа. Розрідження передається по свердленнях Б висівного диска 3 до свердлень Г.

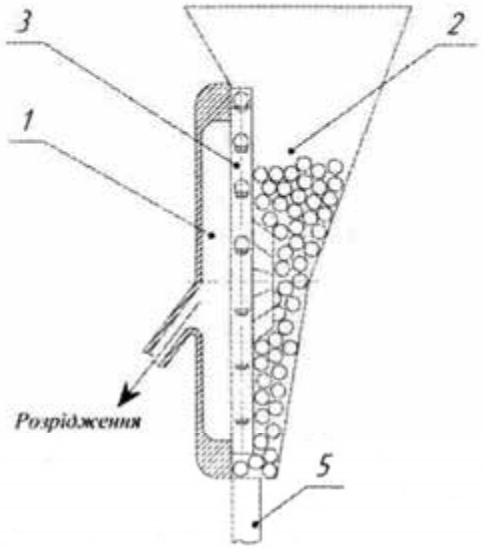
За рахунок розрідження з насіннєвої камери 2 до сопла 4 свердлень Г висівного диска 3 присмоктується насінина і обертається разом з диском до нижньої частини висівного апарата, де перестає діяти розрідження. У результаті під дією власної ваги насінина потрапляє в насіннєпровід 5 і далі у сошник.

Таким чином направлена дія присмоктувальної сили F_p і напрям лінійної швидкості $\overline{V}$ обертання висівного диска, сприяють кращим умовам захвату насінин із насіннєвої камери, а конусоподібна форма сопла забезпечує краще утримання однієї насінини і погіршує захват зайвих.

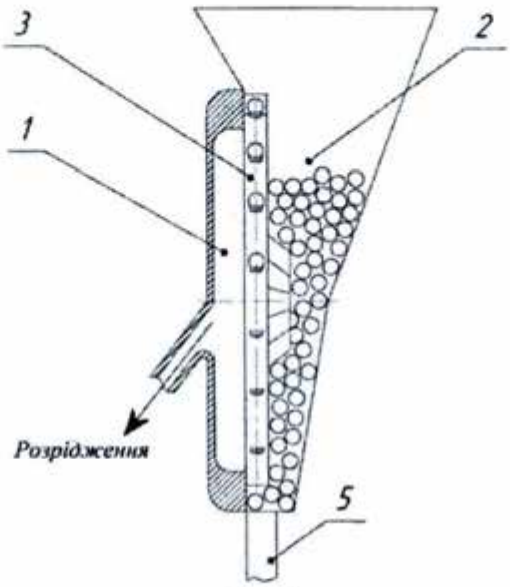
Висівний пневмомеханічний апарат з внесеними змінами в конструкцію диска забезпечує найкращі умови захвату, утримання та виносу з маси насіння однієї насінини і транспортування її до насіннєпроводу навіть при незначному розрідженні у вакуумній камері. У результаті покращується точність технологічного процесу висіву та зменшуються енергозатрати висівного агрегату при сівбі просапних культур.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

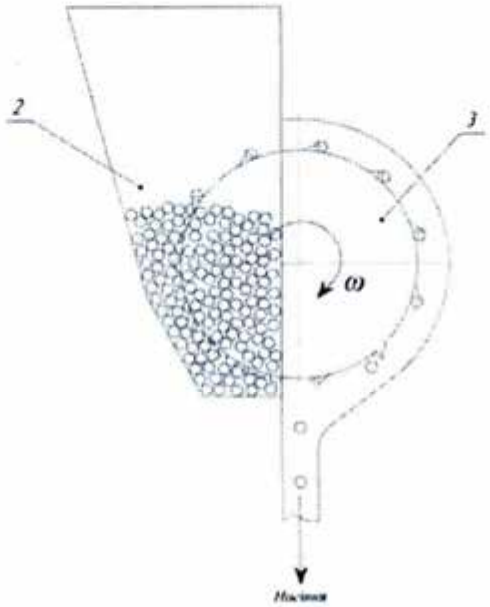
Пневмомеханічний висівний апарат, що складається з корпусу, в який входять насіннєва та вакуумна камери, бункер для насіння, ворушилка і висівний диск, який **відрізняється** тим, що висівний диск має вигляд пластини, в якій по колу діаметром D виконані не наскрізні осьові свердлення, а по дотичній до кола - свердлення, кінці яких співпадають з осьовими не наскрізними свердленнями так, що вектор присмоктувальної сили і вектор обертання висівного диска лежать в одній площині і направлені один до одного.



Фіг. 1

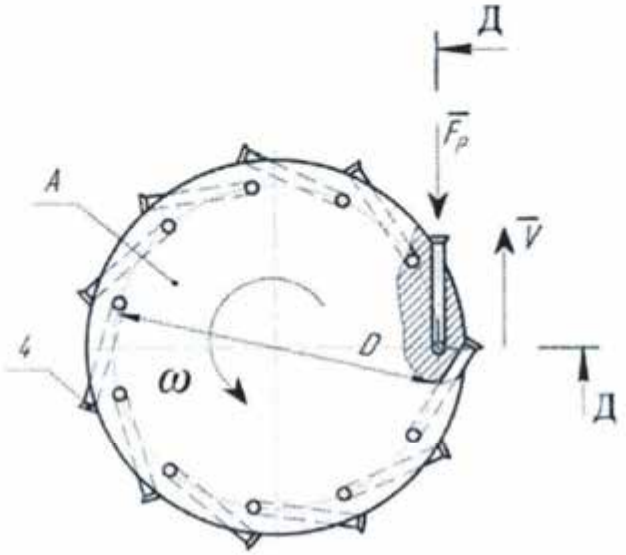


Фіг. 1



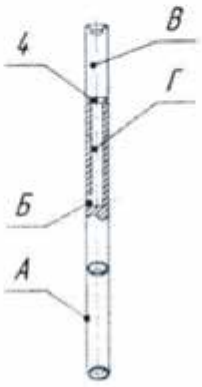
Фіг. 2

Додаток А5



Фіг. 3

Д - Д



Фіг. 4

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

(11) **84210**

(19) **UA**

(51) **МПК** (2013.01)
A01C 7/04 (2006.01)
A01C 17/00
A01C 19/00

(21) Номер заявки: **u 2013 05473**

(22) Дата подання заявки: **26.04.2013**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.10.2013**

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **10.10.2013, Бюл. № 19**

(72) Винахідники:
Бойко Анатолій Іванович, UA,
Попик Павло Сергійович, UA

(73) Власники:
Бойко Анатолій Іванович, вул. Ахматової, 8, кв. 122, м. Київ, UA,
Попик Павло Сергійович, вул. Генерала Родімцева, 1, кв. 828, м. Київ-41, 03041, UA

(54) Назва корисної моделі:

ПНЕВМОМЕХАНІЧНИЙ ВИСІВНИЙ АПАРАТ

(57) Формула корисної моделі:

Пневмомеханічний висівний апарат, що складається з корпусу, в який входять насіннєва та вакуумна камери, бункер для насіння, ворушилка і висівний диск, який **відрізняється** тим, що висівний диск має вигляд пластини, в якій по колу діаметром D виконані не наскрізні осьові свердлення, а по дотичній до кола - свердлення, кінці яких співпадають з осьовими не наскрізними свердленнями так, що вектор присмоктувальної сили і вектор обертання висівного диска лежать в одній площині і направлені один до одного.

Пронумеровано, прошито металевими
люверсами та скріплено печаткою
2 арк.
10.10.2013

Уповноважена особа

(підпис)

Додаток Б

УКРАЇНА

ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 90890

ПНЕВМОМЕХАНІЧНИЙ ВИСІВНИЙ АПАРАТ З ПОВОРОТНОЮ КОМІРКОЮ ВИСІВНОГО ДИСКА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **10.06.2014.**

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України М.В. Ковіня

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **90890** (13) **U**

(51) МПК (2014.01)
A01C 7/04 (2006.01)
A01C 17/00
A01C 19/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2014 00807**
(22) Дата подання заявки: **29.01.2014**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.06.2014**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **10.06.2014, Бюл.№ 11**

(72) Винахідник(и):
Бойко Анатолій Іванович (UA),
Попик Павло Сергійович (UA),
Банний Олександр Олександрович (UA)

(73) Власник(и):
Бойко Анатолій Іванович,
вул. Ахматової, 8, кв. 122, м. Київ, 02068 (UA),
Попик Павло Сергійович,
вул. Генерала Родімцева, 1, кв. 828, м. Київ-41, 03041 (UA),
Банний Олександр Олександрович,
вул. Бурмистенка, 4, кв. 104, м. Київ, 03040 (UA)

(54) ПНЕВМОМЕХАНІЧНИЙ ВИСІВНИЙ АПАРАТ З ПОВОРОТНОЮ КОМІРКОЮ ВИСІВНОГО ДИСКА

(57) Реферат:

Пневмомеханічний висівний апарат складається з корпусу, в який входять насіннєва та вакуумна камери, бункер для насіння, ворушилка і висівний диск. Насіннєва камера має нерухомий копір, що притискається до висівного диска, який має вигляд пластини, в якій по колу діаметром D виконані наскрізні осьові свердлення, в які вмонтовані поворотні комірки з важелями, кінці яких за допомогою пружин притиснуті до робочої поверхні нерухомого копіра так, що вектор присмоктувальної сили і вектор сили тяжіння насінини в заданий період обертання висівного диска лежать в одній площині і співпадають за напрямком.

UA 90890 U

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування, зокрема до висівних апаратів сівалок точного висіву.

Відомий висівний апарат, який використовується у сівалках точного висіву (Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. - К.: "Урожай", 1994. - 448 с), що складається з корпусу, в який входять насіннєва та вакуумна камери, бункер для насіння, висівний диск і ворушилка.

Недоліком аналога є порушення технологічного процесу дозування насіння стосовно пропусків або одночасного захоплення декількох насінин. В серійному висівному апараті основним дозуючим елементом залишається висівний диск з отворами, в яких вектор сили присмоктування не співпадає з вектором сили тяжіння насінини. У результаті спостерігається не заповнення отворів насіннєвим матеріалом (пропуски), що оцінюється як технологічна відмова висівного апарата.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення точності виконання процесу висіву шляхом зміни конструкції висівного апарату.

Поставлена задача вирішується тим, що у висівному апараті, що складається з корпусу, в який входять насіннєва та вакуумна камери, бункер для насіння, висівний диск, який має вигляд пластини, в якій по колу діаметром D виконані наскрізні осьові свердлення, згідно з корисною моделлю, в наскрізні осьові свердлення вмонтовані поворотні комірки з важелями, кінці яких за допомогою пружин притиснуті до робочої поверхні нерухомого копіра жорстко з'єднаного з корпусом насіннєвої камери так, що вектор присмоктувальної сили і вектор сили тяжіння насінини в заданий період обертання висівного диска лежать в одній площині і співпадають за напрямком.

Схема пневмомеханічного висівного апарату з поворотними комірками висівного диска показана на фіг. 1 і фіг. 2.

Висівний апарат складається з вакуумної камери 1, до якої приєднано насіннєву камеру 2. Між камерами встановлено висівний диск 3.

Висівний диск 3 (фіг. 3, 4) виконано у вигляді пластини, в якій по колу діаметром D виконано наскрізні свердлення, в які вмонтовані поворотні комірки 4 з важелями 5, кінці яких за допомогою пружин 6 притиснені до робочої поверхні не рухомого копіра 7. Кінці осьового свердлення А і радіального свердлення Б поворотної комірки 4 співпадають. Свердлення Б мають конічні сопла 9. Поворотна комірка 4 вмонтована в висівний диск 3 і фіксується стопорним кільцем 8.

Пневмомеханічний висівний апарат працює наступним чином. При роботі висівного апарата під дію зовнішнього джерела у вакуумній камері утворюється розрідження в межах 0,0040...0,0050 МПа. Розрідження передається по свердленнях А поворотної комірки 4 до свердлень Б.

За рахунок розрідження з насіннєвої камери 2 до сопла 9 свердлень Б поворотної комірки 4 висівного диска 3 присмоктується насінина і обертається разом з висівним диском 3. При цьому поворотна комірка 4 з насіниною копіює за рахунок важелів 5 робочу поверхню нерухомого копіра 7. Радіальне свердлення Б поворотної комірки 4 буде перебувати у вертикальному положенні до тих пір, поки осьове свердлення А поворотної комірки 4 не вийде з площини вакуумної камери 1. На насінину припиняється дія розрідження і вона під дією власної ваги потрапляє в насіннєпровід 10, а далі у сошник.

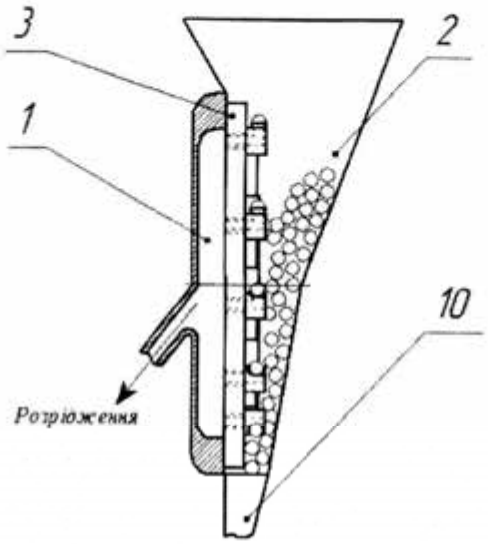
Завдяки наявності нерухомого копіра 7 та важелів 5 поворотної комірки 4, радіальне свердлення Б займає вертикальне положення від моменту захвату насінини з насіннєвої камери 2 до моменту припинення дії розрідження на насінину.

Таким чином направлена дія присмоктувальної сили $\overline{F_P}$ і сили тяжіння $\overline{G_H}$ насінини, сприяють кращим умовам захвату насінин із насіннєвої камери, а конусоподібна форма сопла забезпечує краще утримання однієї насінини і погіршує захват зайвих.

Висівний пневмомеханічний апарат з внесеними змінами в конструкцію диску забезпечує найкращі умови захвату, утримання та виносу з маси насіння однієї насінини і транспортування її до насіннєпроводу навіть при незначному розрідженні у вакуумній камері. У результаті покращується точність технологічного процесу висіву та зменшуються енергозатрати висівного агрегату при сівбі просапних культур.

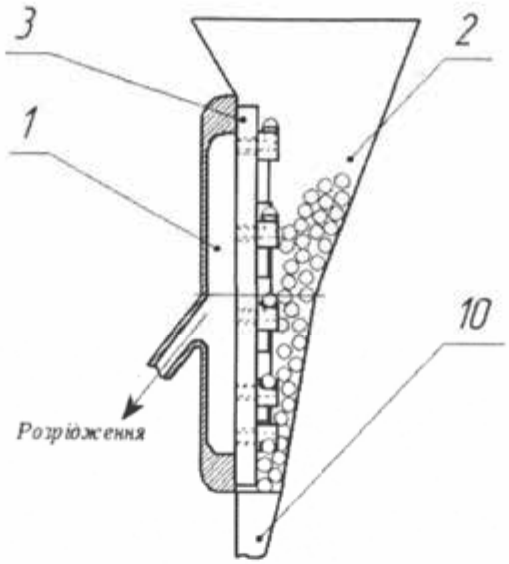
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пневмомеханічний висівний апарат, що складається з корпусу, в який входять насіннєва та вакуумна камери, бункер для насіння, ворушилка і висівний диск, який **відрізняється** тим, що насіннєва камера має нерухомий копір, що притискається до висівного диска, який має вигляд

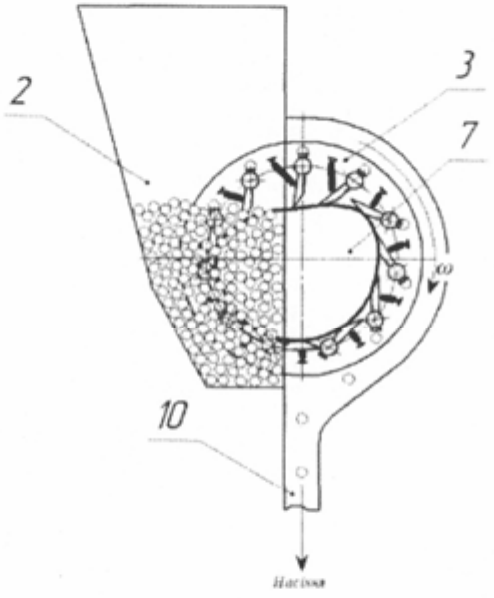


Фіг. 1

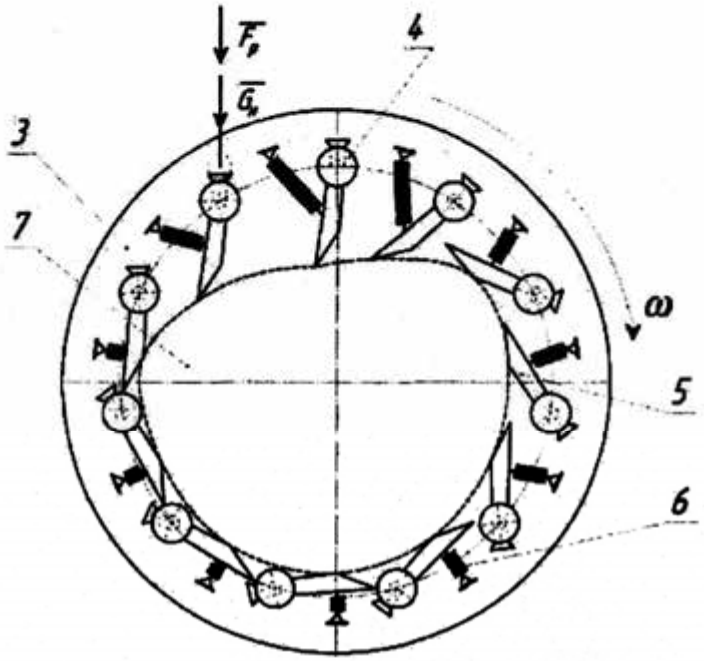
пластини, в якій по колу діаметром D виконані наскрізні осьові свердлення, в які вмонтовані поворотні комірки з важелями, кінці яких за допомогою пружин притиснуті до робочої поверхні нерухомого копіра так, що вектор присмоктувальної сили і вектор сили тяжіння насінини в заданий період обертання висівного диска лежать в одній площині і співпадають за напрямком.



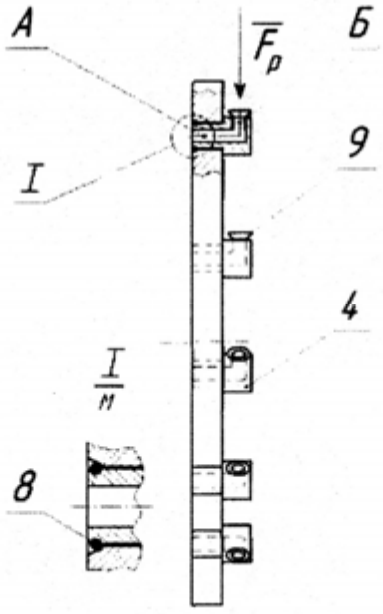
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4

Комп'ютерна верстка І. Мироненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

(11) **90890**

(19) **UA**

(51) **МПК** (2014.01)
A01C 7/04 (2006.01)
A01C 17/00
A01C 19/00

(21) Номер заявки: **u 2014 00807**

(22) Дата подання заявки: **29.01.2014**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.06.2014**

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **10.06.2014, Бюл. № 11**

(72) Винахідники:
Бойко Анатолій Іванович, UA,
Попик Павло Сергійович, UA,
Банний Олександр Олександрович, UA

(73) Власники:
Бойко Анатолій Іванович,
вул. Ахматової, 8, кв. 122, м. Київ, UA,
Попик Павло Сергійович,
вул. Генерала Родімцева, 1, кв. 828, м. Київ-41, 03041, UA,
Банний Олександр Олександрович,
вул. Бурмистенка, 4, кв. 104, м. Київ, 03040, UA

(54) Назва корисної моделі:

ПНЕВМОМЕХАНІЧНИЙ ВИСІВНИЙ АПАРАТ З ПОВОРОТНОЮ КОМІРКОЮ ВИСІВНОГО ДИСКА

(57) Формула корисної моделі:

Пневмомеханічний висівний апарат, що складається з корпусу, в який входять насіннєва та вакуумна камери, бункер для насіння, ворушилка і висівний диск, який **відрізняється** тим, що насіннєва камера має нерухомий копір, що притискається до висівного диска, який має вигляд пластини, в якій по колу діаметром D виконані наскрізні осьові свердлення, в які вмонтовані поворотні комірки з важелями, кінці яких за допомогою пружин притиснуті до робочої поверхні нерухомого копіра так, що вектор присмоктувальної сили і вектор сили тяжіння насінини в заданий період обертання висівного диска лежать в одній площині і співпадають за напрямком.

(11) **90890**

Пронумеровано, прошито металевими
люверсами та скріплено печаткою
2 арк.
10.06.2014

Уповноважена особа

(підпис)

Додаток В

Погоджено

Перший проректор
Національного університету
біоресурсів і природокористування
України, акад. НААН

(підпис) **Ібатуллін І.І.** (ПІБ)

«28» 09 2015 р.

М.П.

Затверджую

В.о. генерального директора
ПАТ «Тодак»

(підпис) **Острик О.М.** (ПІБ)

«25» 09 2015 р.

М.П.

А К Т
про впровадження/використання результатів кандидатської (докторської) дисертаційної роботи

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему

«Розробка пневмомеханічного апарата точного висіву з направленим вектором дії дозуючого елементу»,

назва теми

що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва виконаної Попиком Павлом Сергійовичем

(ПІБ здобувача)

впроваджені у виробництво на ПАТ «Тодак» м. Київ

назва підприємства, де здійснювалось впровадження

1. Вид впроваджуваних результатів: Рекомендації, щодо проектування сучасних пневмомеханічних висівних апаратів і вибору їх основних конструктивних параметрів.

(методика, рекомендації, пропозиції, модель, експериментальні дані тощо)

2. Новизна отриманих результатів полягає у:

(патенти, авторські свідоцтва тощо)

- прийнятті і обгрунтуванні гіпотези, а також конструктивного рішення (патенти України на корисні моделі № 84210, № 90890) пневмомеханічних апаратів з направленим вектором взаємодії комірки з насінням у всіх фазах руху дозуючого елемента;
- встановлені закономірностей появи пропусків і двійників в залежності від основних технологічних параметрів роботи висівного апарата: швидкості руху дозуючого елемента і ступеня розрідження у вакуумній камері;
- виявлені впливу фізико-механічних характеристик форми і стану поверхонь насінин різних технічних культур на ймовірності пропусків і двійників;
- розвитку комплексної критеріальної кількісної оцінки якості роботи висівних

апаратів по ймовірності точності здійснення посіву у борозну.

3. Практичне впровадження/використання результатів полягає у: обґрунтуванні
(місце впровадження/застосування)
конструктивних параметрів пневмомеханічного висівного апарата з дозатором направленої дії;

- в розробці конструкції перспективного висівного апарата з покращеними показниками точності висіву.

4. Значущість отриманих результатів. Очікувана економічна ефективність.
(економічний, соціальний, науково-технічний ефект)
Загальний річний прибуток від впровадження запропонованого висівного апарата точного висіву для основних просапних культур (кукурудза, соняшник, соя, буряк) складає 3862,84 *грн.* на посіві одного гектару.

5. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна
(назва, № держреєстрації)
робота виконана у відповідності до плану науково – дослідних робіт НУБіП України зокрема наукової теми «Обґрунтувати параметри технічного стану сільськогосподарської техніки і режими функціонування систем ремонтно – технологічного забезпечення і технічного обслуговування».
(Державний реєстраційний номер 0113U007633).

Від Національного університету біоресурсів і природокористування України

Начальник науково-дослідної частини
(підпис) Отченашко В.В. (ПІБ)
«28» 09 2015 р.

Директор НДІ техніки, енергетики та інформатизації АПК
(підпис) Войтюк В.Д. (ПІБ)
«28» 09 2015 р.

Здобувач
(підпис) Попик П.С. (ПІБ)
«28» 09 2015 р.

Від ПАТ «Тодак»

Заступник генерального директора
(підпис) Лиманець О.О. (ПІБ)
«25» 09 2015 р.

Головний конструктор
(підпис) Прасолов О.О (ПІБ)
«25» 09 2015 р

Головний технолог
(підпис) Готун В.В. (ПІБ)
«25» 09 2015 р

Додаток Д

Погоджено

Перший проректор Національного університету біоресурсів і природокористування України, акад. НААН

_____ **Ібатуллін І.І.**
(підпис) (ПІБ)
«___» _____ 2015 р.

М.П.

Затверджую

Голова правління-генеральний директор ПАТ «по виробництву сільськогосподарської техніки «Червона зірка»

_____ **Жалапа С.Г.**
(підпис) (ПІБ)
«___» _____ 2015 р.

М.П.

А К Т
про впровадження/використання результатів кандидатської (докторської) дисертаційної роботи

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему

«Розробка пневмомеханічного апарата точного висіву з направленим вектором дії дозуючого елементу»,
назва теми

що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва виконаної Попиком Павлом Сергійовичем
(ПІБ здобувача)

впроваджені у виробництво на ПАТ «Червона зірка» м. Кіровоград
назва підприємства, де здійснювалось впровадження

1. Вид впроваджуваних результатів: Рекомендації, щодо проектування сучасних пневмомеханічних висівних апаратів і вибору їх основних конструктивних параметрів.
(методика, рекомендації, пропозиції, модель, експериментальні дані тощо)

2. Новизна отриманих результатів полягає у:
(патенти, авторські свідоцтва тощо)

- прийнятті і обгрунтуванні гіпотези, а також конструктивного рішення (патенти України на корисні моделі № 84210, № 90890) пневмомеханічних апаратів з направленим вектором взаємодії комірки з насінням у всіх фазах руху дозуючого елемента;
- встановлені закономірностей появи пропусків і двійників в залежності від основних технологічних параметрів роботи висівного апарата: швидкості руху дозуючого елемента і ступеня розрідження у вакуумній камері;
- виявлені впливу фізико-механічних характеристик форми і стану поверхонь насінин різних технічних культур на ймовірності пропусків і двійників;
- розвитку комплексної критеріальної кількісної оцінки якості роботи висівних апаратів по ймовірності точності здійснення посіву у борозну.

Додаток Д1

3. Практичне впровадження/використання результатів полягає у: обґрунтуванні
(місце впровадження/застосування)
конструктивних параметрів пневмомеханічного висівного апарата з дозатором направленої дії;

- в розробці конструкції перспективного висівного апарата з покращеними показниками точності висіву.

4. Значущість отриманих результатів. Очікувана економічна ефективність.
(економічний, соціальний, науково-технічний ефект)
Загальний річний прибуток від впровадження запропонованого висівного апарата точного висіву для основних просапних культур (кукурудза, соняшник, соя, буряк) складає 3862,84 *грн.* на посіві одного гектару.

5. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна
(назва, № держреєстрації)
робота виконана у відповідності до плану науково – дослідних робіт НУБіП України зокрема наукової теми «Обґрунтувати параметри технічного стану сільськогосподарської техніки і режими функціонування систем ремонтно – технологічного забезпечення і технічного обслуговування». (Державний реєстраційний номер 0113U007633).

Від Національного університету біоресурсів і природокористування України

Начальник науково-дослідної частини

_____ Отченашко В.В.
(підпис) (ПІБ)

«13» 10 2015 р.

Від ПАТ «по виробництву сільськогосподарської техніки «Червона зірка»

Генеральний конструктор

_____ Кваша Ю.Л.
(підпис) (ПІБ)

«6» 10 2015 р.

Директор НДІ техніки, енергетики та Інформатизації АПК

_____ Войтюк В.Д.
(підпис) (ПІБ)

«13» 10 2015 р.

Директор продуктивної команди просапних машин

_____ Мульчицький О.І.
(підпис) (ПІБ)

«7» 10 2015 р.

Здобувач кафедри надійності техніки

_____ Попик П.С.
(підпис) (ПІБ)

«13» 10 2015 р.

Додаток Е

Погоджено

Перший проректор Національного університету біоресурсів і природокористування України, акад. НААН

Ібатуллін І.І.

(підпис) (ПІБ)

«17» 10 2015 р.

Затверджую

Директор ВП НУБіП України «Великоснітинське навчально-дослідне господарство ім. О.В.Музиченка»

Журавель М. П.

(підпис) (ПІБ)

«27» 10 2015 р.

АКТ

проведення польових виробничих випробувань дослідного зразка пневмомеханічного висівного апарата з направленим вектором дії дозуючого елементу

Ми, що підписалися нижче, представники ВП НУБіП України «Великоснітинське навчально-дослідне господарство імені О.В. Музиченка» з одного боку та представники кафедри надійності техніки НУБіП України з іншого боку, склали цей акт про те, що в сезон весняно-польових робіт 2015 року проводились випробування дослідного зразка пневмомеханічного висівного апарата з направленим вектором дії дозуючого елементу.

Експериментальний пневмомеханічний висівний апарат з дозатором направленої дії встановлено на серійну сівалку точного висіву СТВТ-12/8М (ПАТ «Тодак»). По результатам польових випробувань виявлено, що ймовірність точності висіву дослідного апарата на *0,1* більше ніж у серійного СТВТ-12/8М, що працював в повністю ідентичних умовах експлуатації.

Висновок: експериментально підтверджена технічна і економічна ефективність використання запропонованої конструкції пневмомеханічного висівного апарата обладнаного дозатором з направленим вектором дії при висіві насіння основних технічних культур (сої, кукурудзи, соняшника, цукрового буряка).

Представники
кафедри надійності техніки
НУБіП України

Зав. кафедри надійності техніки

(підпис) д.т.н., проф. Бойко А.І.
ПІБ

Здобувач кафедри надійності техніки

(підпис) Попик П.С.
ПІБ

Представники
ВП НУБіП України
«Великоснітинське навчально-дослідне господарство
ім. О.В. Музиченка»

Головний інженер

(підпис) О.О. Марчук
ПІБ

Додаток Ж

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Проректор з навчальної і
виховної роботи НУБіП України,
_____ С. М. Кваша
«___» _____ 2015р.

АКТ

про впровадження/використання результатів
кандидатської дисертаційної роботи у навчальний процес

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему: «Розробка пневмомеханічного апарата точного висіву з направленим вектором дії дозуючого елементу»,

(назва теми)

що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 - Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

(назва спеціальності)

виконаної Попиком Павлом Сергійовичем

(ПІБ здобувача)

використовуються в навчальному процесі при викладанні дисциплін «Надійність сільськогосподарських машин» і «Сільськогосподарські машини».

(назви дисциплін)

При проведенні теоретичних і практичних занять використовуються матеріали щодо особливостей конструктивного рішення дозатора насінин з направленим вектором присмоктування, а також надійності виконання технологічного процесу дозування запропонованим висівним апаратом

(вказати які результати використовуються)

на кафедрі «Надійності техніки» та кафедрі «Сільськогосподарських машин та системотехніки ім. акад. П.М. Василенка»

(назва кафедри)

при підготовці фахівців ОКР «Бакалавр» за напрямами підготовки 6.100102 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» і 6.050503 «Машинобудування»

(напрям підготовки)

у Національному університеті біоресурсів і природокористування України

(назва ВНЗ)

Декан механіко-технологічного факультету Я. М. Михайлович

Декан факультету конструювання і дизайну З. В. Ружило

Автори:
Бойко Анатолій Іванович,
Попик Павло Сергійович

РОЗРОБКА ПНЕВМОМЕХАНІЧНОГО АПАРАТА ТОЧНОГО ВИСІВУ З АКТИВНОЮ КОМІРКОЮ СПРЯМОВАНОЇ ДІЇ

Монографія