

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

**ПОПИК ПАВЛО СЕРГІЙОВИЧ**

УДК 631.331.85

**РОЗРОБКА ПНЕВМОМЕХАНІЧНОГО АПАРАТА ТОЧНОГО  
ВИСІВУ З АКТИВНОЮ КОМІРКОЮ НАПРАВЛЕНОЇ ДІЇ**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник** доктор технічних наук, професор  
**Бойко Анатолій Іванович**,  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України,  
завідувач кафедри надійності техніки

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Пастушенко Сергій Іванович**,  
Чорноморський державний університет  
імені Петра Могили,  
директор Навчально-наукового інституту  
інженерії об'єктів і систем

кандидат технічних наук, доцент  
**Сербій Євген Костянтинович**,  
Державна наукова установа «Український науково-  
дослідний інститут прогнозування та випробування  
техніки і технологій для сільськогосподарського  
виробництва імені Леоніда Погорілого»,  
завідувач лабораторії наукових досліджень  
конструкцій перспективних машин

Захист відбудеться «31» травня 2016 року о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.06 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Генерала Родимцева, 19, навчальний корпус № 1, кімната 97

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

Автореферат розісланий «27» квітня 2016 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

І. Л. Роговський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Європейський напрямок розвитку України передбачає впровадження в сільськогосподарське виробництво передових заощаджуючих і енергозберігаючих технологій. Їх реалізація можлива на основі вдосконалення існуючих і розроблення 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 напрямі підвищення точності посіву проведено велику кількість досліджень і розроблено ряд перспективних апаратів. Отримані результати в певній мірі задовольняють агрономи на посів технічних культур, однак на сьогоднішній день не є можливим стверджувати, що проблема повністю вичерпана. Подальші дослідження в цьому напрямі залишаються актуальними, а їх позитивні результати відкривають перспективи економії не тільки посівного матеріалу, але також підвищення загальної врожайності культур.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема роботи пов'язана з загальним планом проведення науково-дослідних робіт в Національному університеті біоресурсів і природокористування України на 2013–2016 роки. Вона є складовою науково-дослідної роботи «Обґрунтувати параметри технічного стану сільськогосподарської техніки і режими функціонування систем ремонтно-технологічного забезпечення і технічного обслуговування» (номер державної реєстрації 0113U007633).

**Мета і задачі досліджень.** Метою досліджень є підвищення точності висіву насіння просапних культур шляхом поліпшення умов присмоктування насіння коміркою.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні задачі:

- проаналізувати існуючі конструкції висівних апаратів і виявити шляхи подальшого їх удосконалення для підвищення точності висіву;
- встановити закономірності зміни зусиль при захваті насіння присмоктуючою коміркою;
- вивчити фази руху дозуючого елемента і зміну зусиль діючих на відокремлену насінину для обґрунтування секторів захвату, транспортування, скидання зайвих насінин і скидання основної насінини при формуванні однозернового потоку;
- вишукати конструктивні рішення висівного апарата з направленим вектором присмоктування;
- визначити основні стохастичні характеристики роботи дослідного апарата: ймовірність утворення двійників; ймовірність виникнення пропусків; ймовірність точності висіву;
- оцінити точність проведення посіву запропонованим апаратом в реальних умовах експлуатації;
- дати техніко-економічну оцінку ефективності впровадження результатів досліджень у сільськогосподарське виробництво.

*Об'єкт дослідження* – технологічний процес однозернового регулярного висіву насіння основних технічних просапних культур.

*Предмет дослідження* – пневмомеханічний висівний апарат вакуумного типу з направленим вектором дії присмоктуючої сили.

**Методи досліджень.** Аналітичні дослідження виконано, виходячи з фундаментальних законів теоретичної механіки, правил тригонометрії, а також використання диференціального і інтегрального обчислень. Математичне моделювання процесу висіву апаратом з дозатором направленої дії здійснено на основі кінематичного і динамічного аналізу руху насінин в різних фазах їх переміщення дозуючим елементом.

В експериментальних дослідженнях результати оброблено з використанням основ теорії ймовірностей та положень математичної статистики. При цьому використовувались пакети прикладних програм «MathCad 14.0», «Microsoft Excel» та «Statistica 6.0».

**Наукова новизна одержаних результатів полягає у:**

- теоретичному дослідженні і експериментальному підтвердженні квадратичної залежності між зусиллям присмокування і відстанню між насінною і дозуючою коміркою;

- подальшому розвитку в дослідженнях змін зусиль, що діють на насінину при переміщенні дозуючого елемента з метою вибору раціональних фаз в послідовності формування однозернового регулярного потоку;

- прийнятті і обґрунтуванні гіпотези, а також знаходженні конструктивного рішення (патенти України на корисні моделі № 84210 і № 90890) пневмомеханічного апарата з направленим вектором взаємодії комірки з насінням у всіх фазах руху дозуючого елемента;

- встановленні закономірності появи пропусків і двійників в залежності від основних технологічних параметрів роботи висівного апарата: швидкості руху дозуючого елемента і ступеня розрідження у вакуумній камері;

- виявленні 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.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у: обґрунтуванні параметрів роботи пневмомеханічного висівного апарата з дозатором направленої дії, що дозволяє забезпечити регулярний однозерновий висів насіння технічних просапних культур; в конструктивній розробці перспективного висівного апарата з покращеними показниками точності висіву на основі отриманих патентів на корисні моделі України; впровадженні у виробництво на ПАТ «Годак» і ПАТ «Червона зірка» висівного апарата з направленим вектором дії дозуючого елемента.

Основні положення теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи стосовно надійності і точності виконання технологічного процесу включено в навчальний процес НУБіП України.

**Особистий внесок здобувача.** Здобувачем проведено ряд теоретичних та експериментальних досліджень спрямованих на підвищення точності висіву насіння просапних технічних культур пневмомеханічними висівними апаратами. На основі

цього запропоновано конструкцію нового висівного апарата з дозуючим елементом направленою вектора дії присмоктуючої сили. У роботах, написаних в співавторстві здобувачу належать: дослідження технологічної надійності виконання висіву торцевим пневмомеханічним висівним апаратом; виявлення закономірності зміни присмоктуючого зусилля від відстані до насінини при дозуванні насіння пневмомеханічним висівним апаратом; аналіз зусиль, що діють на зернини при переміщенні їх дозуючим елементом пневмомеханічного апарата торцевої дії; визначення умов скидання зайвих насінин пневмомеханічним висівним апаратом з периферійним торцевим розташуванням присмоктуючих комірок; аналітичне дослідження дозування насінин пневмомеханічним апаратом з коміркою направленої дії; розробка конструктивного рішення нового експериментального пневмомеханічного висівного апарата.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи висвітлено на наступних конференціях: міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» (м. Київ, 2014 р.); XV міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (м. Житомир, 2014 р.); IX Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та молодих науковців «Перші наукові кроки – 2015» (м. Кам'янець-Подільський, 2015 р.); II і III міжнародних науково-технічних конференціях «Крамаровські читання» (м. Київ, 2015 р., 2016 р.); XVI Міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (м. Київ, 2015 р.).

**Публікації.** Результати дисертаційних досліджень висвітлені у 16 наукових працях, з них 4 статті у наукових фахових виданнях України, 4 статті у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародної наукометричної бази даних, стаття у науковому виданні іншої держави, 5 тез наукових доповідей, 2 патенти на корисну модель.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота представлена на 155 сторінках основного тексту, на яких розміщено 75 рисунків, 7 таблиць, та 6 додатків. Список використаних джерел включає 116 опрацьованих робіт.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У першому розділі «**Аналіз існуючих способів і технічних засобів направлених на підвищення точності висіву основних технічних просапних культур**» розглянуто існуючі способи та агровимоги до високоякісного висіву насіння просапних культур. Проаналізовано конструкції та особливості будови висівних апаратів призначених для формування регулярного однозернового висіву насіння з метою створення апарата, який відповідав би сучасним вимогам до точності висіву. Особлива увага приділена апаратам, які в своїх конструкціях включають елементи універсальності при захваті насінин різної форми.

В останні роки для посіву все більше використовуються сівалки точного висіву, які відповідають вищесказаним вимогам і 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 внесено В. О. Желіговським, О. М. Карпенком, П. М. Василенком, М. М. Летошневим, О. М. Семеновим, С. І. Пастушенком. Ймовірнісні закономірності посіву розкрито в роботах В. С. Басіна, А. Б. Лур'є, С. В. Кардашевського, А. І. Бойка, М. О. Свіреня.

В області вивчення процесу точного висіву просяпних культур пневмомеханічними апаратами важливими є роботи В. І. Александрова, І. Л. Слуцького, П. А. Бінковського, Д. Г. Вальянова, Б. І. Журавльова, Л. С. Зеніна, В. П. Чічка, О. О. Будагова, С. А. Ма, Л. В. Погорілого, П. В. Сисоліна, С. І. Шмата, М. М. Петренка, В. О. Белодєдова, А. В. Сахнова, В. В. Амосова та багатьох інших.

Однак проблема появи пропусків і двійників в рядку та нерівномірності в інтервалах залишається на сьогодні ще не повністю вирішеною і потребує проведення ряду додаткових досліджень.

У другому розділі «Аналітичні дослідження процесу дозування насінин пневмомеханічним апаратом з коміркою направленої дії» запропоновано гіпотезу розробки висівного апарата, в якому комірка змінює положення для кращої своєї орієнтації відносно дозуючих насінин. Важливим при дослідженнях процесу захвату насіння є встановлення закономірності зміни присмоктуючої сили від відстані до комірки  $F = f(l_k)$ .

Для спрощення математичного моделювання процесу і подальших викладок насінина представляється у вигляді сфери радіуса  $\rho$ , що відповідає формі насінин гороху, сої та гранульованого висівного матеріалу. Правомірно також прийняти, що присмоктуюча сила, переважно, діє на крайню ближчу насінину (рис. 1).

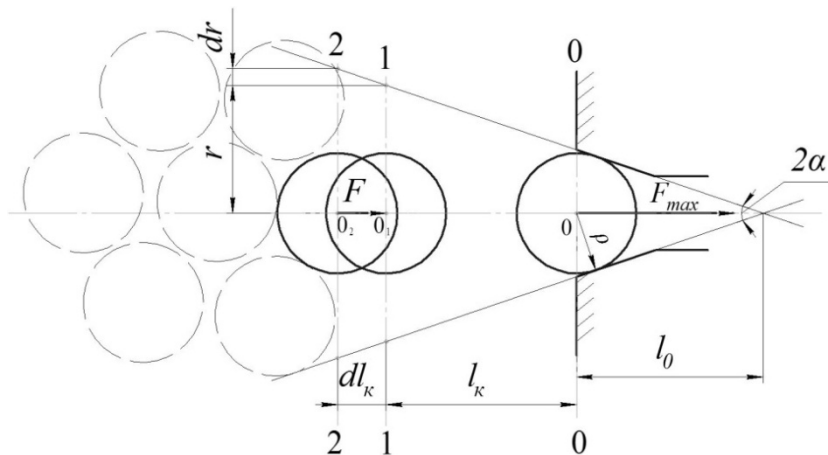


Рис. 1. Схема взаємодії комірки з насінною

При прийнятих формах присмоктуючих комірок на відносно невеликих відстанях між насінною і коміркою присмоктуючий потік повітря формується близьким до конічного, і розширюється по мірі віддалення від вершини. Таким чином, площа основи конуса збільшується зі збільшенням відстані  $l_k$ , а розрідження в ній при незмінній  $F_{max}$  поступово зменшується.

Тоді в загальному вигляді для розрідження можна записати наступне відношення:

$$P = \frac{F_{\max}}{S_k}, \quad (1)$$

де  $S_k$  – площа основи конуса (переріз 0–0).

В положенні 2–2, що відображує збільшення площі конуса при елементарному приросту відстані  $dl_k$ , площа представляється сумою:

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

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

Тоді сила, що діє на насінину в перетині 2–2 конуса згідно (1) дорівнює:

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

Після інтегрування і алгебраїчних спрощень запишемо:

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

де  $C$  – постійна інтегрування, яка знаходиться з початкових умов, при  $l_k = 0$ ,  $F = F_{\max}$ .

Підставляючи значення в кінцевому вигляді для сили присмокування маємо:

$$F = \frac{F_{\max}}{2 \left( l_k + \frac{\rho}{\sin \alpha} \right)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} \rho^2 + F_{\max} \left( 1 - \frac{1}{2} \cos^2 \alpha \right), \quad (2)$$

де  $\alpha$  – кут конусності присмокуючого отвору.

Зв'язок між відстанню до частинки і силою її присмокування коміркою встановлює перша складова отриманого рівняння. З рівняння видно, що сила присмокування зменшується обернено квадрату відстані до частинки. При зменшенні відстані до мінімального свого значення  $l_k \rightarrow 0$  присмокуюча сила прямує до максимального значення  $F \rightarrow F_{\max}$ .

Приведені спрощення і прийняті допущення дають можливість розглянути процес захвату насінини коміркою пневмомеханічного висівного апарата з направленим вектором присмокування наступним чином. Орієнтована на зернову частинку комірка при деякій критичній відстані між ними, починає присмокувати частинку з силою, що визначається згідно формули (2). Тоді диференційне рівняння динаміки руху для насінини може бути записано наступним чином:

$$m \frac{d^2 l}{dt^2} = \frac{F_{\max}}{2 \left( l + \frac{\rho}{\sin \alpha} \right)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} + F_{\max} \left( 1 - \frac{1}{2} \cos^2 \alpha \right). \quad (3)$$

Ввівши позначення  $\frac{\rho}{\sin \alpha} = n$ ;  $\frac{F_{\max}}{2 \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot m} = k^2$ ;  $\frac{F_{\max} (1 - \frac{1}{2} \cos^2 \alpha)}{m} = C_0$ ,  
рівняння (3) представляється у спрощеному вигляді:

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

Інтегруючи ліву і праву частину запишемо:

$$(l')^2 = 2k^2 \int_0^l \frac{dl}{(l+n)^2} + 2C_0 \int_0^l dl. \quad (4)$$

Звідкіля групуючи сталі інтегрування  $C_1 + C_2 = C_3$ , після алгебраїчних перетворень і проміжних замін  $a = 2C_0$ ;  $b = 2C_0 a + C_3$ ;  $d = 2b^2 + C_3 a$ , отримано диференціальне рівняння руху насінини:

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

Звідкіля,

$$\int_0^l \frac{\sqrt{l+n} \cdot dl}{\sqrt{al^2 + bl + d}} = \int_0^t dt. \quad (5)$$

Точне вирішення лівої частини представляє математичні труднощі, які не оправдані практичним застосуванням рівняння для поставленого завдання. Тому для отримання приблизного рішення, функцію в чисельнику лівого інтегралу доцільно розкласти в степеневий ряд Тейлора. Обмежившись першими трьома членами ряду і підставляючи члени ряду запишемо:

$$\sqrt{n} \int_0^l \frac{dl}{\sqrt{al^2 + bl + d}} + \frac{1}{2\sqrt{n}} \int_0^l \frac{l dl}{\sqrt{al^2 + bl + d}} + \frac{1}{8n} \int_0^l \frac{l^2 dl}{\sqrt{al^2 + bl + d}} = \int_0^t dt. \quad (6)$$

Представлені інтеграли лівої частини рівності є такими, що вирішуються і дорівнюють:

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

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

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

Після групування і перетворень отримаємо для часу захвату насінини наступне рішення:

$$t = I_1 \left( \sqrt{n} - \frac{b}{4a\sqrt{n}} + \frac{3b^2 + 4ad}{8a^2} \right) + \left( \frac{1}{2\sqrt{n} \cdot a} + \frac{l}{2a} - \frac{3b}{4a^2} \right) \sqrt{al^2 + bl + d} + \frac{1}{2\sqrt{n}} C_5 + C_6. \quad (7)$$

Ввівши для скорочення позначення:

$$\sqrt{n} - \frac{b}{4a\sqrt{n}} + \frac{3b^2 + 4ad}{8a^2} = A; \left( \frac{1}{2\sqrt{n} \cdot a} + \frac{l}{2a} - \frac{3b}{4a^2} \right) \sqrt{al^2 + bl + d} = B(l);$$

$$\frac{3b}{4a^2} \sqrt{d} - \frac{\sqrt{d}}{2\sqrt{n} \cdot a} - \frac{1}{\sqrt{2}} A \ln [2\sqrt{ad} + b] = C_{\Sigma},$$

рівняння (7) представляється наступним чином:

$$t = \frac{1}{\sqrt{2}} A \ln [2\sqrt{a(al^2 + bl + d)} + 2al + b] + B(l) + C_{\Sigma}. \quad (8)$$

Загальна постійна величина  $C_{\Sigma}$ , що включає постійні інтегрування і інші постійні складові може бути знайдена з початкових умов, коли при  $t = 0$ , шлях  $l = 0$ . Її величина залежить від багатьох конкретних параметрів дозуючого пристрою, умов протікання процесу присмокування насінини і особливостей її форми і стану поверхні.

Із загального рівняння (8) 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 вказує на 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 представляється експоненціальним. Це говорить про те, що шлях який проходить насінини за одиницю часу швидко зростає зі збільшенням самого часу. Отриманий результат підтверджує характер руху окремої насінини під дією присмокуючої сили, яка залежить від відстані обернено пропорційно квадрату самої відстані.

Якщо насінини вже захоплена коміркою і переміщується разом з дозуючим диском, то на неї діють наступні сили: сила присмокування  $F$ , сила тяжіння  $G$  та відцентрова сила  $R$  (рис. 2).

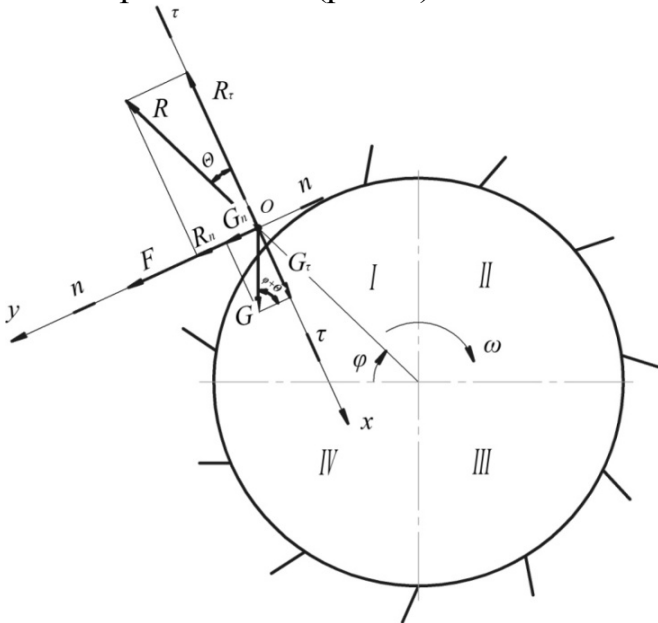


Рис. 2. Схема сил та їх проекції, що діють на насінину в процесі переміщення дозуючого елемента

Для аналізу умов утримання необхідної для висіву однієї насінини і скидання можливих зайвих, що ведуть до утворення двійників, проаналізовано вплив всіх вказаних сил. Умовою утримання насінин в площині комірки є рівність або перевага сили тертя  $T$  над сумою інших складових сил, що діють по дотичній площадці комірки  $\tau-\tau$ .

$$T \geq \sum_{(\tau-\tau)} \quad (9)$$

Правомірно припустити, що для насінини близької по формі до тіла обертання більш ймовірним при переміщенні по поверхні площини комірки буде перекочування. Тоді для сили тертя кочення запишемо:

$$T \geq \sum_{(n-n)} \cdot \lambda \frac{1}{\rho} \quad (10)$$

Сили, що прикладені по нормалі дорівнюють:

$$\sum_{(n-n)} = F + R_n + G_n; R_n = R \cdot \sin \Theta; G_n = G \cdot \cos(\varphi + \Theta),$$

де  $\Theta$  – кут орієнтації комірки;  $\varphi$  – кут повороту висівного диска.

Права сторона умови (9) є сумою складових сил, що прикладені по дотичній до поверхні комірки, тобто по самій поверхні:

$$\sum_{(\tau-\tau)} = \bar{R}_\tau + \bar{G}_\tau,$$

де  $R_\tau = -R \cdot \cos \Theta$ ;  $G_\tau = G \cdot \sin(\varphi + \Theta)$ .

Після відповідних підстановок і алгебраїчних перетворень присмоктуюча сила з (10) визначається наступним чином:

$$F \geq \frac{\rho}{\lambda} [-R \cdot \cos \Theta + G \cdot \sin(\varphi + \Theta)] - R \cdot \sin \Theta - G \cdot \cos(\varphi + \Theta). \quad (11)$$

Змінним параметром в отриманій умові (11) є кут обертання  $\varphi$ , 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.

Величина сили  $F$  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. 3.

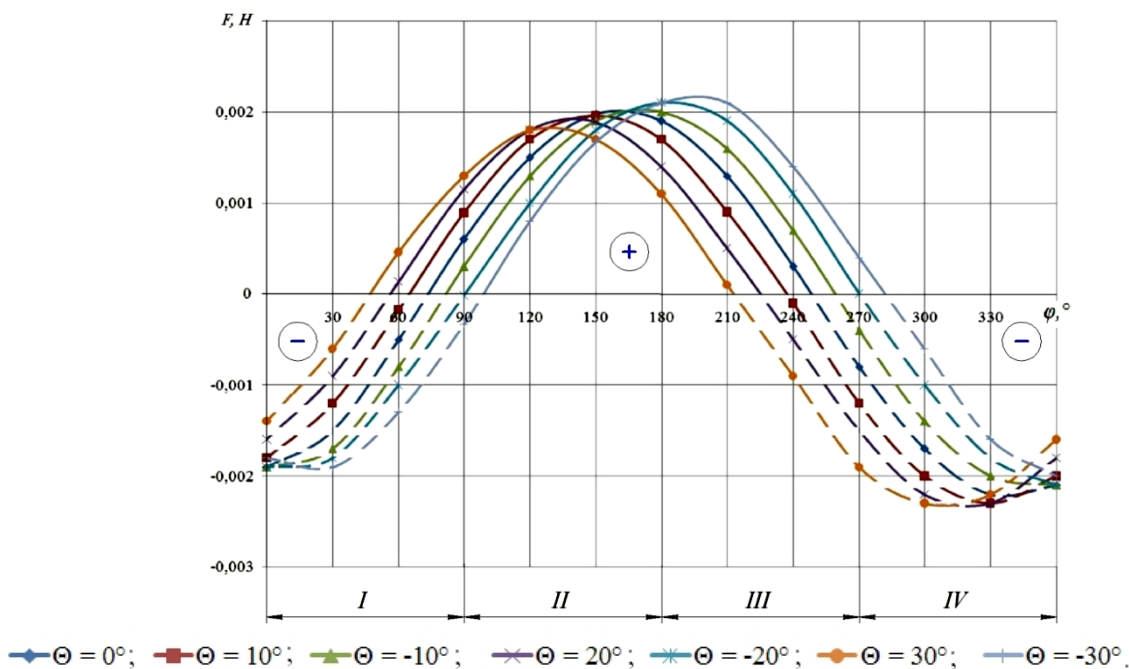


Рис. 3. Залежність присмоктуючої сили  $F$  від кута повороту диска  $\varphi$  при різних положеннях площадки комірки  $\Theta$ :  $\rho = 2\text{мм}$ ,  $\lambda = 8,5\text{мм}$ ,  $r = 110\text{мм}$ ,  $m = 0,2z$ ,  $\omega = 3,63\text{с}^{-1}$ .

Як видно з графіків, максимум сили, як і весь її розподіл, може зміщуватися в більшу або меншу сторону за рахунок кута орієнтації площини комірки  $\Theta$ .

Таким чином кут орієнтації  $\Theta$  може бути використано як регулюючий параметр при виборі раціонального положення зони скидання зайвих насінин.

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

Якщо для насінини, захопленої коміркою, важливим є утримання її до моменту скидання в насіннепровід, то для зайвих насінин навпаки, повинна виконуватися умова їх скидання з площини комірки.

$$T < \sum(\tau - \tau) \cdot \quad (12)$$

Однак слід відмітити, що на зайву насінину практично не діє сила присмокування і нею можна знехтувати.

Важливим є те, щоб для скидання зайвих насінин переміщення відбувалося в напрямку від центру обертання диска. Виходячи з приведеного і того, що  $G = mg$ , а  $R = m\omega^2 r$  і підставляючи їх значення в (12) після перетворень і спрощень визначено граничну кутову швидкість:

$$\omega_{cp} = \sqrt{\frac{g \left[ \frac{\lambda}{\rho} \cdot \cos(\varphi + \Theta) + \sin(\varphi + \Theta) \right]}{r \left( \cos \Theta - \frac{\lambda}{\rho} \cdot \sin \Theta \right)}} \cdot \quad (13)$$

Таким чином необхідною умовою скидання є  $\omega > \omega_{cp}$ .

Графіки залежності  $\omega_{cp} = f(\varphi)$  представлені на рис. 4.

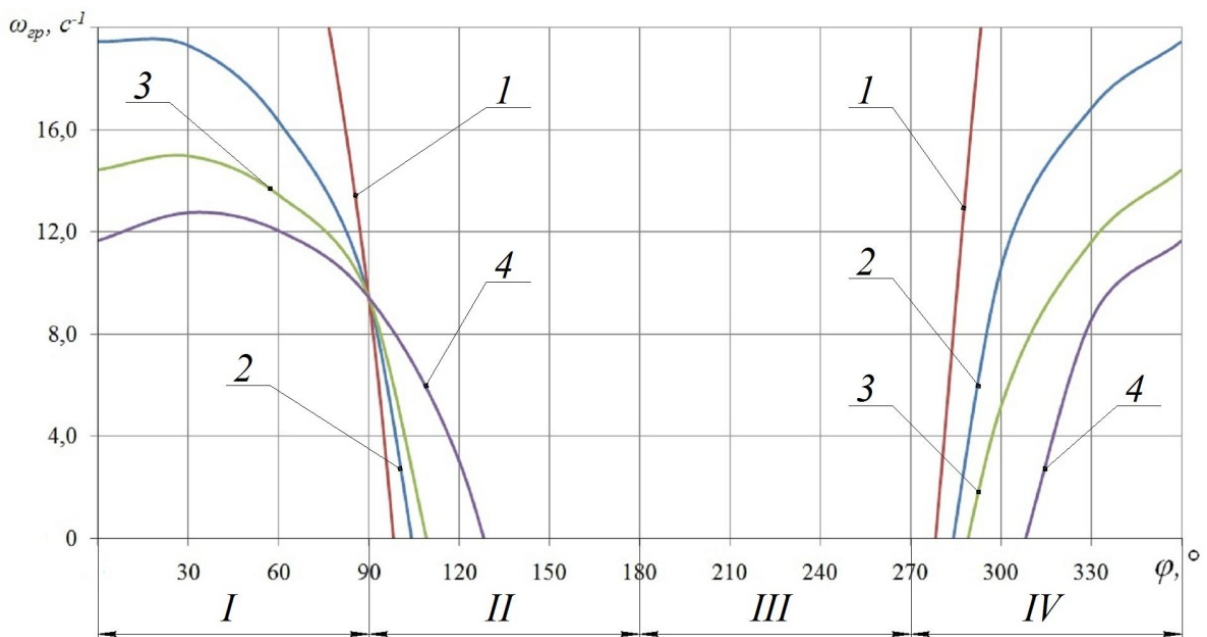


Рис. 4. Вплив кута повороту  $\varphi$  на граничну швидкість скидання зайвих насінин  $\omega_{cp}$  при різних кутах орієнтації присмоктуючої комірки  $\Theta$ : 1.  $\Theta = 0^{\circ}$ ; 2.  $\Theta = 0^{\circ}$ ; 3.  $\Theta = -10^{\circ}$ ; 4.  $\Theta = -20^{\circ}$ .

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 дозування насіння.

Формування однозернового регулярного потоку для здійснення якісного посіву можливо при своєчасному скиданні основної насінини з дозуючого диска. З рис. 3 видно, що сприятливими умовами для скидання основної насінини є кут повороту диска в межах  $\varphi = 210^\circ \dots 270^\circ$ . Тоді присмоктуюча сила в залежності від положення присмоктуючої комірки не впливає або мало впливає на утримання насінини.

В будь-якому випадку для більш ефективного виконання операції відокремлення насінини, доцільно присмоктуючу силу відключити. Тоді умова (11) при  $F = 0$  представляється наступним чином:

$$R \sin \Theta + G \cos(\varphi + \Theta) \geq \frac{\rho}{\lambda} [-R \cos \Theta + G \sin(\varphi + \Theta)]. \quad (14)$$

Вирішення представленої умови відносно невідомого кута орієнтації  $\Theta$  доцільно виконати чисельними методами. При цьому використана програма розрахунку на персональному комп'ютері MathCad 14.0. Залежність зміни кута орієнтації комірки від кута повороту представлено на рис. 5.

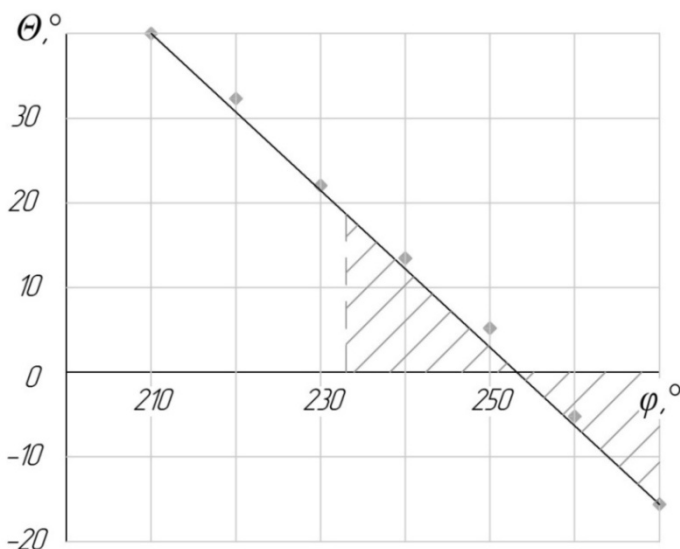


Рис. 5. Залежність кута орієнтації положення комірки  $\Theta$  від кута повороту дозуючого диска  $\varphi$   
 $\lambda = 8,5 \text{ мм}$ ,  $\rho = 2 \text{ мм}$ ,  $r = 110 \text{ мм}$ ,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ,  
 $m = 0,2 \text{ г}$ ,  $\omega = 3,63 \text{ с}^{-1}$ .

насінин і формування регулярного потоку відповідають найкращі, найбільш ефективні для виконання цих операцій положення присмоктуючої комірки, які визначаються кутом її орієнтації  $\Theta$ .

У третьому розділі «Програма і методика експериментальних досліджень» викладено програму експериментальних досліджень і методику їх проведення. Експериментальні дослідження по виявленню основних закономірностей і встановлення параметрів надійності виконання технологічного процесу дозування

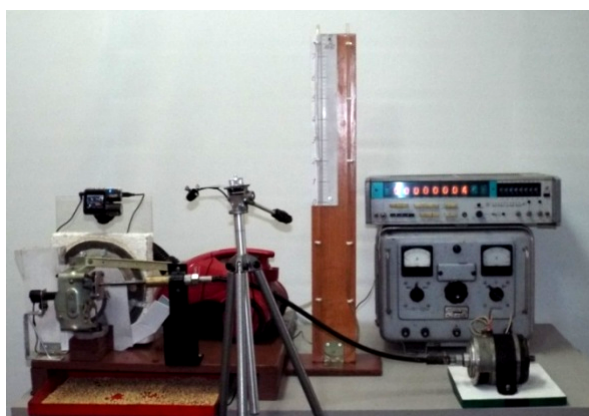
Як видно з залежності, зв'язок між кутами має практично лінійний характер і охоплює достатньо широку область змін кута орієнтації  $\Theta$ . Виходячи з того, що комірка буде змінювати свій кут орієнтації в межах  $\pm 20^\circ$  можна за сектор скидання взяти кут повороту дозуючого диска від  $\varphi = 230^\circ$  до  $\varphi = 270^\circ$ .

Таке розташування камери скидання добре узгоджується з конструктивною компоновкою висівного апарата.

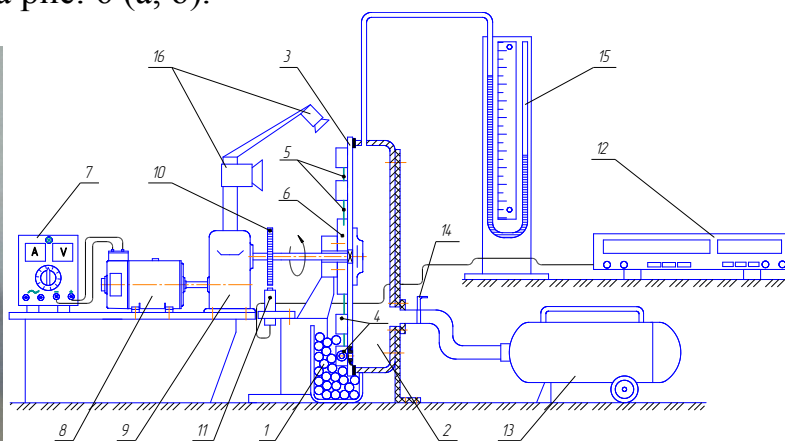
Згідно проведених вище досліджень кожному з етапів виконання відокремлення

насінин

насінин проводяться в лабораторії на лабораторній установці НТС-4, зовнішній вигляд та схему якої представлено на рис. 6 (а, б).



а)



б)

Рис. 6. Загальний вигляд (а) і схема (б) експериментальної установки НТС-4 для дослідження точності висіву дозатором з активною коміркою направленої дії

Установка складається з наступних елементів: насінневої камери 1, вакуумної камери 2, дозуючого диска 3, поворотних присмоктуючих комірок 4, важелів 5, нерухомого копіра 6, блока управління приводом 7, електродвигуна 8, редуктора приводу 9, диска синхронізації 10, індуктивного датчика обертів 11, частотоміра 12, вакуумної установки 13, регулятора розрідження 14, рідинного вакууметра 15 та відеокамер 16.

Основними параметрами роботи дослідного апарата, що визначаються на експериментальній установці, є ймовірність появи пропусків та ймовірність появи двійників в залежності від ступеня розрідження у вакуумній камері та швидкості переміщення дозатора.

Проведення експериментальних польових досліджень висівної секції обладнаної дозатором направленої дії потребують її доопрацювань. Доопрацювання передбачають введення в конструкцію висівного апарата сівалки СТВТ-12/8М нового дозатора. Для цього необхідно замінити серійний висівний диск (рис. 7, а) на дозатор з направленим вектором дії (рис. 7, б).



а)



б)

Рис. 7. Дискові дозатори насіння: а – серійний висівний диск; б – висівний диск з активною коміркою направленої дії.

Важливе значення має правильна орієнтація комірки (рис. 8, а), що необхідна для надійного захвату насінини, транспортування її, можливості скидання зайвих насінин відцентровою силою та скидання основної насінини у сошник. В профіль копіра (рис. 8, б) закладені необхідні значення кута  $\Theta$  для всіх фаз роботи висівного апарата.

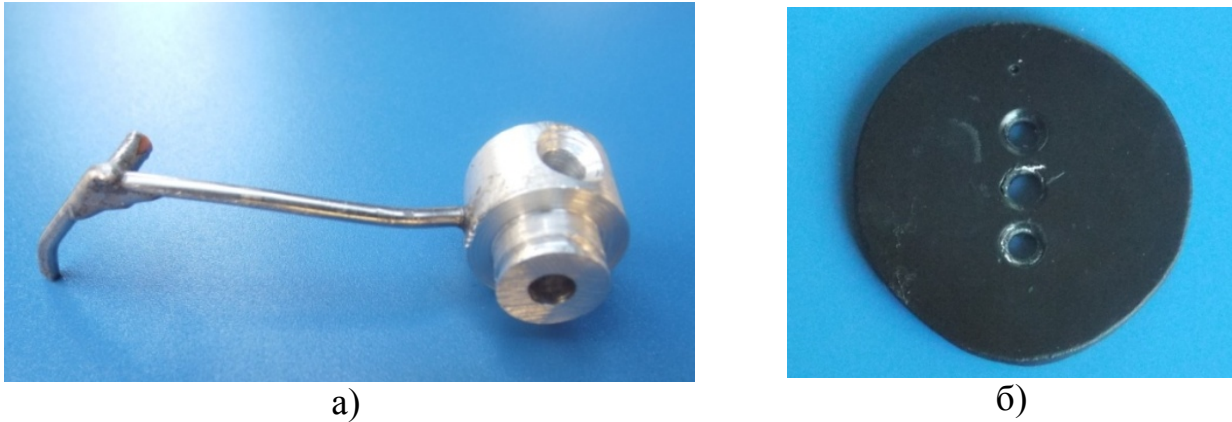


Рис. 8. Елементи поворотного механізму присмоктуючої комірки експериментального висівного диску: а – активна присмоктуюча комірка з важелем; б – копір.

Копір жорстко кріпиться в насінній камері так, що його вісь співпадає з віссю обертання дозатора. При збиранні висівного апарата копір встановлюється у висівний диск таким чином, щоб притискні важелі дотикались до робочої (торцевої) поверхні копіра. Експериментальні дослідження проводяться згідно існуючих методів випробувань по ОСТ 70.5.1 та ДСТУ ISO 7256-1. Контроль відстані між насінинами в рядку здійснюється згідно існуючих методик з точністю вимірювання до 5 мм. Обробка та обчислення статистичної інформації виконується із застосуванням елементів теорії ймовірності і математичної статистики за допомогою пакетів прикладних програм Microsoft Office Excel 2007, Statgraphics Plus 3.0, MathCad 14.0.

У четвертому розділі «**Експериментальні дослідження ефективності дозування і точності висіву пневмомеханічним апаратом з направленим вектором присмокткування насінин**» експериментально підтверджено отриману раніш теоретично нелінійну залежність між відстанню до комірки і присмоктуючою силою (рис. 9).

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.

Дослідженнями по встановленню впливу зміни розрідження у вакуумній камері та швидкості переміщення дозуючого диска на ймовірність появи пропусків представлено у вигляді залежностей (рис. 10). Як видно з графіків для всіх культур і швидкостей переміщення характерні спадаючі залежності, що вказують на зменшення ймовірності пропусків при збільшенні ступеня розрідження.

Ймовірності появи двійників мають протилежну залежність в порівнянні з ймовірностями пропусків (рис. 11). 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.

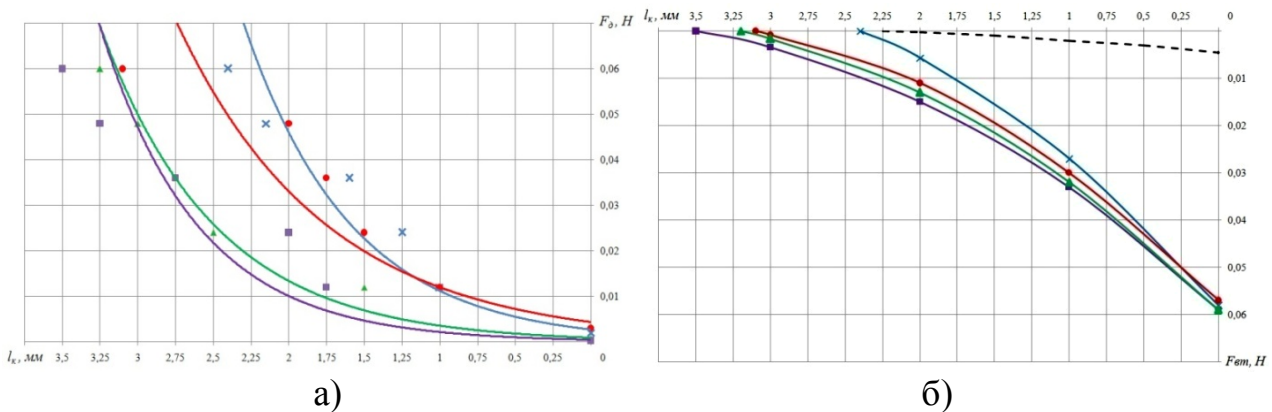


Рис. 9. Зміна впливу силових факторів, що діють на насінину в залежності від відстані до присмоктуючої комірки: а) вплив відстані на присмоктуючу силу; б) вплив відстані на додаткову силу; ( $h_n = h_{max} = 3,5 \text{ мм}$ ;  $\blacktriangle$  – соняшник;  $\times$  – соя;  $\bullet$  – кукурудза;  $\blacksquare$  – насіння цукрового буряка).

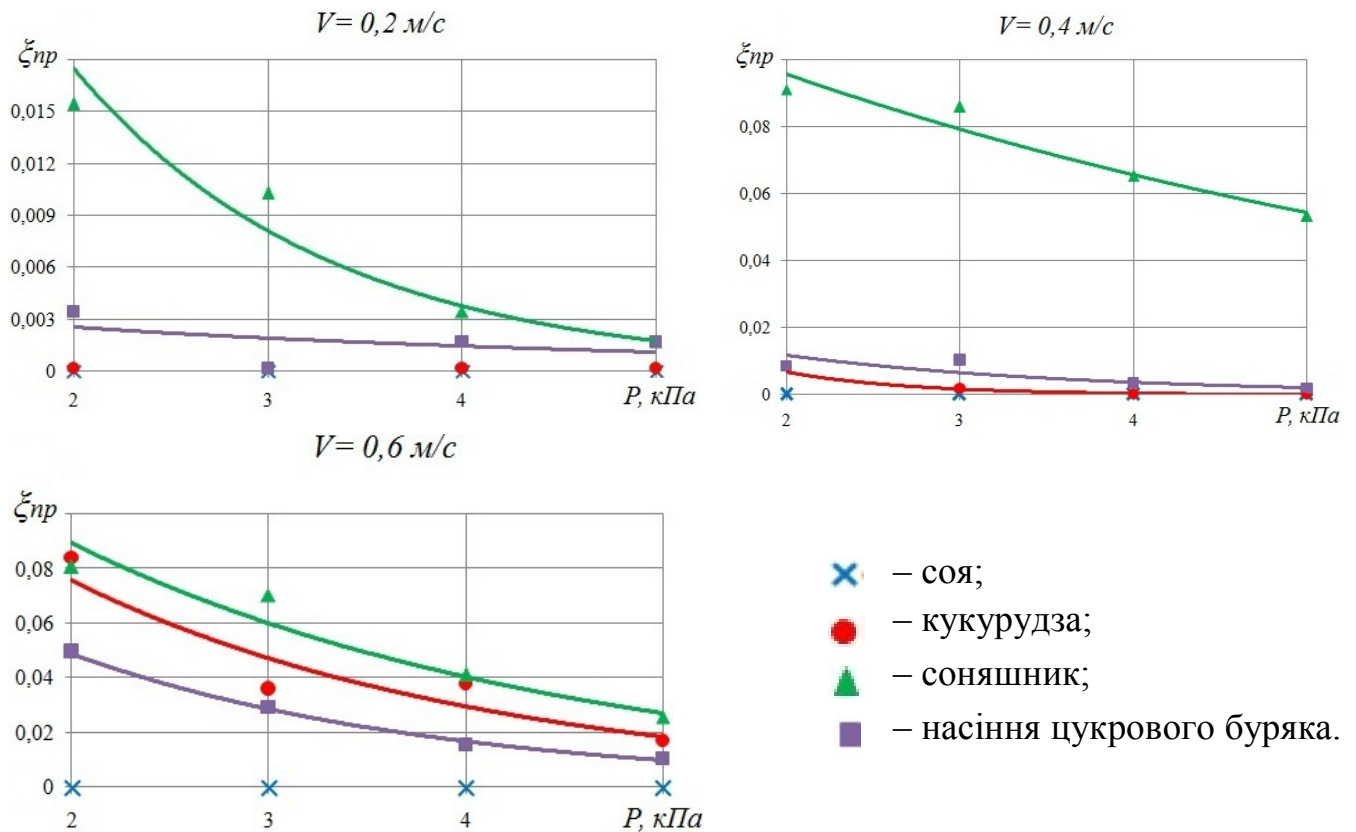


Рис. 10. Залежності ймовірностей появи пропусків від ступеня розрідження у вакуумній камері при висіві насіння різних культур

Другим важливим фактором, що впливає на точність висіву є швидкість переміщення дозуючого елемента в масі насіння. Ця швидкість визначає продуктивність апарата, а значить і можливу швидкість руху сівалки по полю. Враховуючи, що посів необхідно проводити в найкоротші терміни визначені агровимогами, бажано без втрати точності дозування використовувати високі

швидкості руху дозуючого елемента. Графіки залежностей пропусків від швидкості представлено на рис. 12.

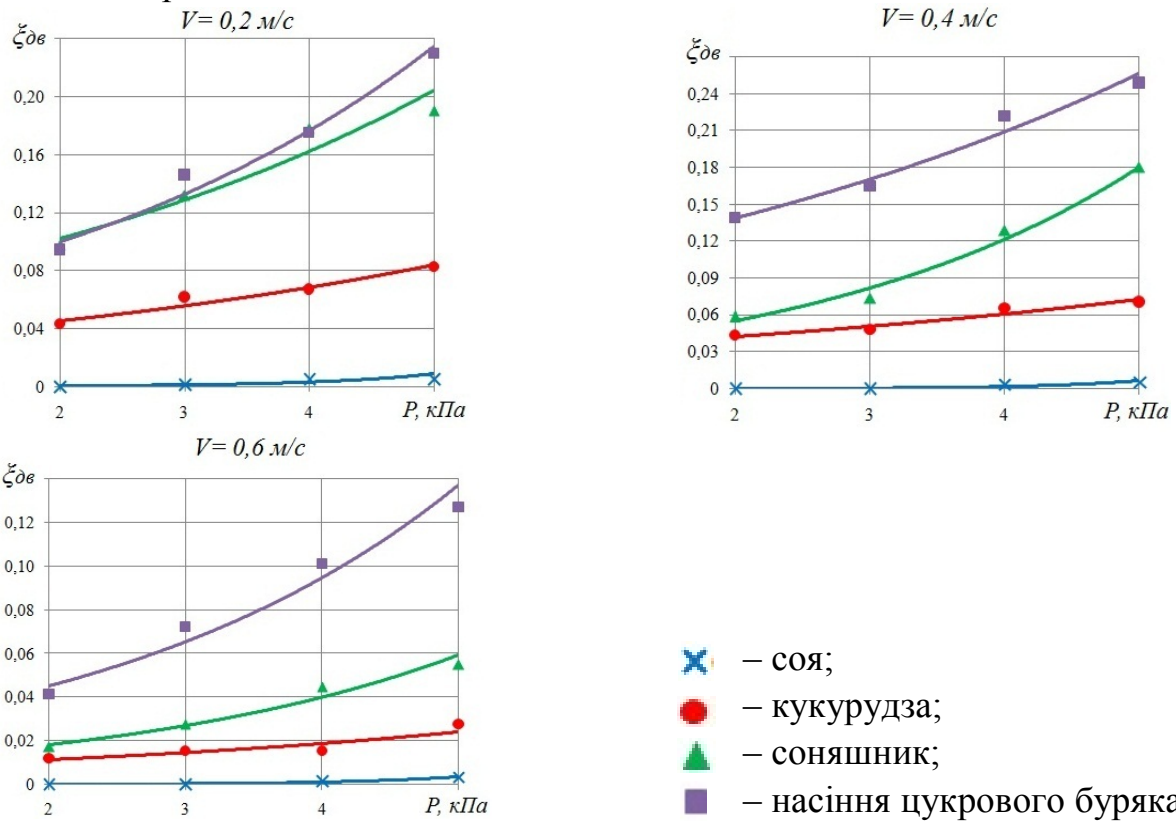


Рис. 11. Залежності ймовірностей появи двійників від ступеня розрідження у вакуумній камері при висіві насіння різних культур

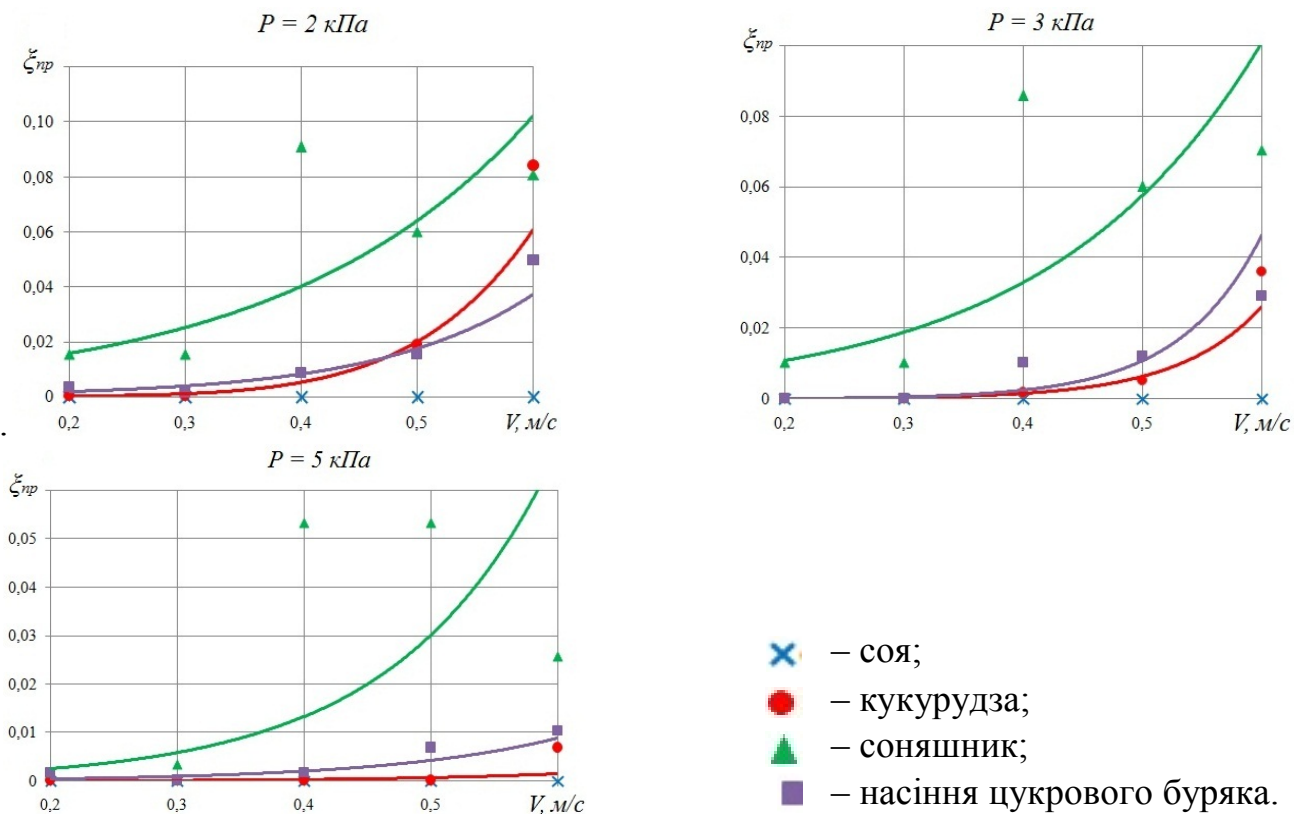


Рис. 12. Залежності ймовірностей появи пропусків від швидкості переміщення дозуючого елемента при висіві насіння різних культур

Найбільші значення ймовірностей пропусків 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.

Незважаючи на те, що фазами руху дозуючого елемента 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, передбачено 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.

Як видно з графіків (рис. 13) для більшості культур залежності носять спадаючий нелінійний характер.

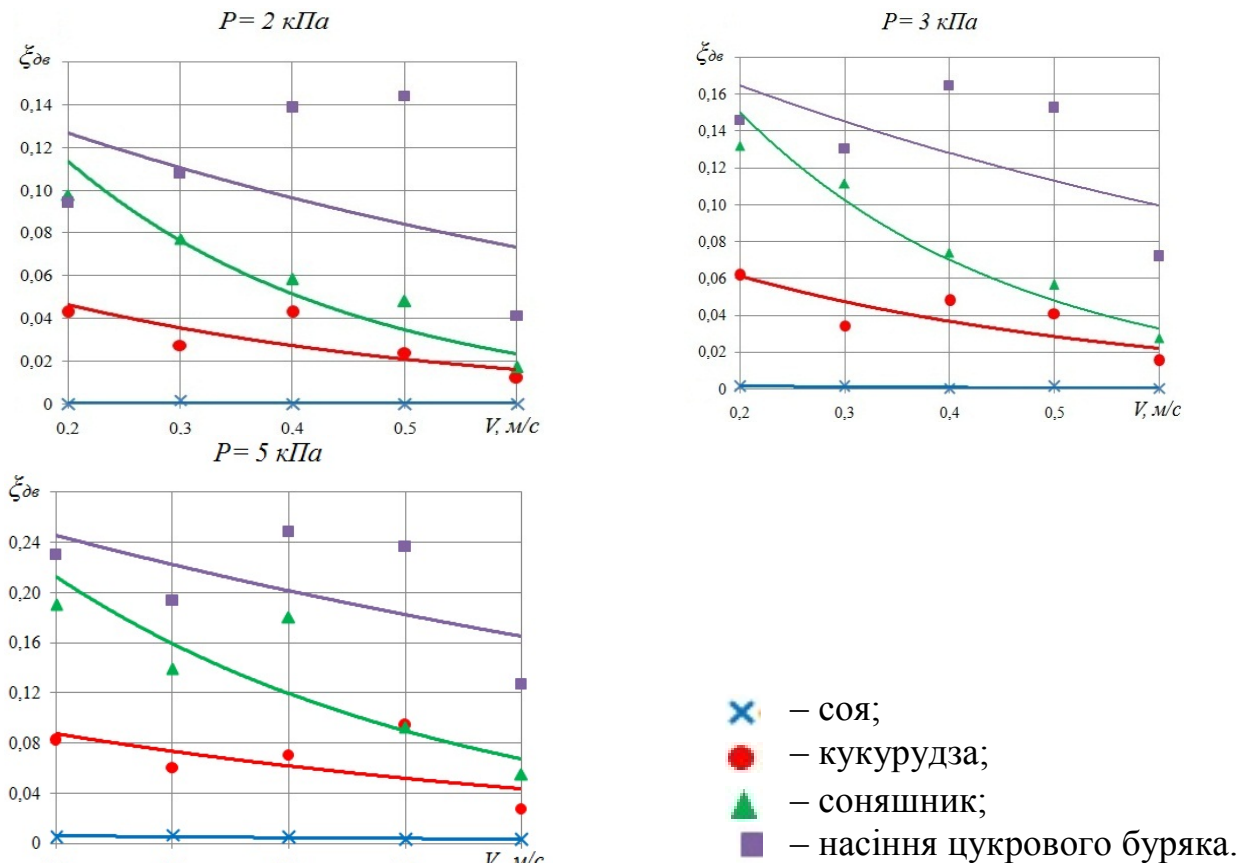


Рис. 13. Залежності ймовірностей появи двійників від швидкості переміщення дозуючого елемента при висіві насіння різних культур

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.

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». Загальний вигляд посівного машинно-тракторного агрегату показано на рис. 14.



Рис. 14. Загальний вигляд: а – машинно-тракторного посівного агрегату (трактор МТЗ-80+сівалка СТВТ-12/8М); б – висівні секції для проведення порівняльних досліджень роботи експериментального висівного апарата в польових умовах.

Точність висіву оцінювалась згідно комплексного показника  $\xi_m$  запропонованого в роботах Л. В. Погорілого, В. С. Басіна, В. В. Брея, що включає добуток ймовірностей пропусків  $\xi_{np}$ , двійників  $\xi_{dv}$  і ймовірності відхилення положення насінини  $\xi \{ \eta \leq \pm h \}$ .

Результат розрахунку точностей висіву представлено в таблиці.

Таблиця

### Основні стохастичні показники роботи пневмомеханічних висівних апаратів

Висівний апарат	Показники роботи			
	Ймовірність пропусків	Ймовірність двійників	Ймовірність відхилення положення насінин	Ймовірність точності висіву
	$\xi_{np}$	$\xi_{dv}$	$\xi \{ \eta \leq \pm h \}$	$\xi_m$
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

Ймовірності  $\xi_{np}$  і  $\xi_{dev}$  є характеристиками роботи висівного апарата тому їх дані взято з результатів лабораторних досліджень, а ймовірності відхилень від заданої точки висіву  $\xi \{ \eta \leq \pm h \}$  отримано за результатами польових дослідів.

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.

У п'ятому розділі «Розрахункова техніко-економічна ефективність впровадження результатів досліджень» наведено розрахунки, які показують, що технічна ефективність роботи сівалки з запропонованим дозатором направленої дії обумовлена, насамперед, суттєвим зниженням пропусків від 1,2 до 3,3 разів. Це дає змогу підвищити врожайність та отримати загальний річний прибуток від впровадження модернізованого висівного апарата точного висіву для основних просапних культур (кукурудза, соняшник, соя, буряк), що складає 3862,84 грн на посіві одного гектару.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі висвітлено новий науковий підхід до підвищення точності посіву шляхом застосування дозаторів з направленим вектором дії присмоктуючої сили і запропоновано конструктивне рішення висівного апарата, що дозволяє підвищити точність висіву насіння основних технічних просапних культур пневмомеханічним способом. Досліджено та оптимізовано фази роботи висівного апарата. Визначено оптимальні значення кутів повороту комірки у всіх фазах роботи, які суттєво впливають на захват окремих насінин, що є важливим для створення регулярного однозернового потоку.

1. Загально визначеною 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 насінною і коміркою.

3. Тривалість процесу захвату насінин присмоктуючою коміркою торцевої направленої дії заростає по експоненціальному закону в залежності від відстані між коміркою і насінною. Цим розширюється зона впливу комірки на насінню 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 чверті руху дозатора при кутах його повороту  $92^{\circ} \leq \varphi \leq 110^{\circ}$ . При цьому раціональне значення кута орієнтації комірки складає  $\Theta = -10^{\circ}$ , а достатня гранична кутова швидкість дорівнює  $\omega_{zp} = 1,3 \text{ c}^{-1}$ .

5. Раціональним сектором скидання основної насінини слід вважати кут повороту дозуючого диска  $230^{\circ} \leq \varphi \leq 270^{\circ}$  і при положенні присмоктуючої комірки  $\Theta = \pm 10^{\circ}$ .

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  $0,2 \leq V \leq 0,6$  м/с встановлено спадаючі залежності зменшення ймовірностей пропусків при збільшенні 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.

9. Загальний річний приріст прибутку від впровадження модернізованого висівного апарата точного висіву для основних просапних культур: кукурудза, соняшник, соя, буряк складає 3862,84 грн на посіві одного гектару. На прикладі посіву однієї з культур найбільший економічний ефект дає кукурудза – 1,6 млн грн на рік, найменший – соняшник (268 тис. грн).

Результати досліджень прийнято до впровадження на ПАТ «Тодак» (м. Київ) та ПАТ «Червона зірка» (м. Кіровоград).

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у наукових фахових виданнях України:

1. 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. – 2014.–Вип. 151. – С. 153–158. *(Здобувач провів експерименти та встановив закономірність зміни присмоктуючої сили від відстані між коміркою та насінною).*

2. 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 агроєкологічного університету. – 2014. – Вип. 2 (45). – Т. 4. – Ч. 1. – С. 258–263. *(Здобувач провів експерименти та встановив залежність зміни присмоктуючої сили від кута повороту диска при різних положеннях площини комірки).*

3. 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. – 2015. – Вип. 33. – С. 3–7. *(Здобувач встановив вплив швидкості переміщення дозуючого елемента на появи пропусків та двійників при висіві насіння).*

4. Бойко А. І. Вплив розрідження на ймовірність появи пропусків та двійників при дозуванні насіння пневмомеханічним висівним апаратом / А. І. Бойко, **П. С. Попик**, О. О. Банний // Конструювання, виробництво та експлуатація

сільськогосподарських машин. – 2015. – Вип. 45. – Ч. 2. – С. 36–41. *(Здобувач встановив вплив ступеня розрідження на появи пропусків та двійників при висіві насіння).*

**Статті у наукових фахових виданнях України,  
включених до міжнародної наукометричної бази даних:**

5. 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. – 2014. – Вип. 196. – Ч. 1. – С. 425–428.

6. 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. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2014. – Вип. 196. – Ч. 2. – С. 227–232. *(Здобувач розробив експериментальну установку для визначення основних показників точності висіву).*

7. 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. – 2014. – Вип. 196. – Ч. 3. – С. 74–82. *(Здобувач розробив методику проведення досліджень пневмомеханічних висівних апаратів).*

8. Бойко А. І. Дослідження впливу присмоктуючої сили на ефективність захвату окремих насінин / А. І. Бойко, **П. С. Попик**, О. О. Банний // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2014. – Вип. 241. – С. 177 – 181. *(Здобувач дослідив вплив присмоктуючої сили на ефективність захвату окремих насінин).*

**Стаття у науковому виданні іншої держави:**

9. 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.

**Тези наукових доповідей:**

10. 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: міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів. – К.: НУБіП України, 2014. – С. 98.

11. Попик П. С. Аналітичне дослідження дозування насінин пневмомеханічним апаратом з коміркою направленої дії / П. С. Попик // Перші наукові кроки – 2015: всеукраїнська науково-практична конференція студентів та молодих

науковців. – Кам'янець-Подільський: Подільський державний аграрно-технічний університет, 2015. – С. 119.

12. Попик П. С. Аналіз розвитку пневмомеханічних висівних апаратів сівалок точного висіву/ **П. С. Попик**, О. О. Банний // Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: XV міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів. – К.: НУБіП України, 2015. – С. 82–83.

13. Попик П. С. Висівні апарати точного висіву та недоліки їх конструкцій / П. С. Попик // Крамаровські читання: II міжнародна науково-технічна конференція. – К.: НУБіП України, 2015. – С. 118–119.

14. Попик П. С. Дозування насінин пневмомеханічним апаратом з коміркою направленої дії / П. С. Попик // Сучасні проблеми землеробської механіки: XVI Міжнародна наукова конференція. – К.: НУБіП України, 2015. – С. 90–91.

#### **Патенти:**

15. Патент на корисну модель № 84210 Україна, МПК А01С 7/04, А01С 17/00, А01С 19/00. Пневмомеханічний висівний апарат / А. І. Бойко, **П. С. Попик** // № у 2013 05473; заяв. 26.04.2013; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 19. *(Здобувач провів патентний пошук та сформулював формулу корисної моделі пневмомеханічного висівного апарата).*

16. Патент на корисну модель № 90890 Україна, МПК А01С 7/04, А01С 17/00, А01С 19/00. Пневмомеханічний висівний апарат з поворотною коміркою висівного диска / А. І. Бойко, **П. С. Попик**, О. О. Банний // № у 2014 00807; заяв. 29.01.2014; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11. *(Здобувач провів патентний пошук та сформулював формулу корисної моделі пневмомеханічного висівного апарата з поворотною коміркою висівного диска).*

#### **АНОТАЦІЯ**

**Попик П. С. Розробка пневмомеханічного апарата точного висіву з активною коміркою направленої дії.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2016.

Робота присвячена проблемі підвищення точності висіву насіння основних технічних просапних культур шляхом введення в конструкцію пневмомеханічного висівного апарата дозатора з направленим вектором дії.

В результаті використання нового конструктивного рішення дозатора, підвищено точність виконання технологічного процесу формування регулярного однозернового потоку. Встановлено зв'язок між відстанню до частинки і силою її присмоктування коміркою. Одержано рівняння динаміки руху частинки і часу експозиції насінини з коміркою та проведено аналіз зусиль, що діють на насінини при переміщенні їх дозатором з орієнтованою коміркою.

Обґрунтовано раціональні фази роботи висівного апарата з дозатором направленої дії і визначено параметри його роботи. Встановлено закономірності

появи пропусків і двійників в залежності від основних технологічних параметрів роботи висівного апарата: швидкості руху дозуючого елемента і ступеня розрідження у вакуумній камері. Визначено значення стохастичних показників точності виконання технологічного процесу висіву, якими підтверджено переваги апарата з дозатором направленої дії в порівнянні з серійним.

**Ключові слова:** пневмомеханічний висівний апарат, насінина, комірка, технологічний процес, дозатор з направленим вектором дії, точність висіву.

## АННОТАЦИЯ

**Попик П. С. Разработка пневмомеханического аппарата точного высева с активной ячейкой направленного действия.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2016.

Работа посвящена проблеме повышения точности высева семян основных технических пропашных культур, с использованием в конструкции пневмомеханического высевающего аппарата дозирующего элемента направленного вектора действия.

В аналитическом обзоре проанализированы конструкции существующих пневмомеханических высевающих аппаратов современных сеялок точного высева, определены их недостатки и преимущества. Исходя из этого изысканно новое конструктивное решение высевающего аппарата, отличающееся направленным вектором присасывания семян.

Установлено влияние расстояния между частицей и ячейкой на силу её присасывания. Выявлено, что присасывающая сила изменяется обратно пропорционально квадрату этого расстояния.

Получены уравнения динамики движения частицы во всех фазах дозирования семян и определено время экспозиции семени при захвате, а также проведен анализ действующих усилий, при перемещении их дозатором с ориентированной ячейкой.

По результатам теоретических исследований разработана программа и методика экспериментальных исследований для установления и вычислений параметров надежности выполнения аппаратом технологического процесса высева.

Для проведения исследований разработан пневмомеханический аппарат с ячейками, которые изменяют свое положение с целью лучшей ориентации относительно дозируемых семян.

Установлено, что путь пройденный семенем за единицу времени при захвате присасывающей ячейкой, экспоненциально возрастает с увеличением общей продолжительности процесса, расширяя зону взаимодействия ячейки с семенем.

Обоснованы рациональные фазы работы высевающего аппарата с дозатором направленного действия и определены параметры его работы. Выявлено, что сброс лишних семян целесообразно выполнять во второй четверти движения дозатора при углах его поворота  $92^{\circ} \leq \varphi \leq 110^{\circ}$ . При этом рациональное значение угла ориентации ячейки составляет  $\Theta = -10^{\circ}$ , а достаточная предельная угловая скорость равна  $\omega_{zp} = 1,3c^{-1}$ . Выяснено, что рациональным сектором сброса основного семени следует считать угол поворота дозирующего диска  $230^{\circ} \leq \varphi \leq 270^{\circ}$  при положении присасывающей ячейки  $\Theta = \pm 10^{\circ}$ .

Исследованиями также установлено, что не плотность прилегания семени к поверхности дозирующей ячейки вызывает необходимость развивать дополнительное усилие для сдвига, перемещения и удержания семян, величина которого определяется как разница между общей силой присасывания и расчетной силой необходимой для удержания семени в случае его плотного прилегания.

Найдены закономерности появления пропусков и двойников в зависимости от основных технологических параметров работы высевающего аппарата: скорости движения дозирующего элемента и степени разрежения в вакуумной камере.

Для семян всех исследованных культур (соя, кукуруза, подсолнечник, сахарная свекла) и выбранных скоростей перемещения дозирующего элемента  $0,2 \leq V \leq 0,6 \text{ м/с}$  установлены спадающие зависимости уменьшения вероятности пропусков при увеличении степени разрежения в вакуумной камере.

Выявлено, что прирост разрежения уменьшает разницу в вероятностях пропусков между семенами различных культур.

Исследованиями обнаружено, что семена сои практически не образуют двойников и вероятность их возникновения близка к нулю.

Определены значения стохастических показателей точности выполнения технологического процесса высева, которыми подтверждены преимущества аппарата с дозатором направленного действия по сравнению с серийным.

Для оценки эффективности работы высевающих аппаратов целесообразно использовать комплексный показатель вероятности точности высева, который включает вероятность появления пропусков, вероятность образования двойников и вероятность отклонения семени от заданной точки высева при практически отсутствующей инверсии.

В результате использования нового конструктивного решения дозатора, повышена точность выполнения технологического процесса формирования регулярного однозернового потока.

Вероятность точности высева опытного аппарата, как комплексный показатель повышения эффективности его использования, на 0,1 больше чем у серийного СТВТ-12/8М.

Выявлено, что техническая эффективность работы сеялки с дозатором направленного действия обусловлена, прежде всего, существенным снижением пропусков от 1,2 до 3,3 раза в сравнении с серийным.

Подсчитано, что общий годовой прирост прибыли от внедрения модернизированного высевающего аппарата точного высева для основных технических пропашных культур: кукуруза, подсолнечник, соя, сахарная свекла составляет 3862,84 грн на посеве одного гектара.

**Ключевые слова:** пневмомеханический высевающий аппарат, семя, ячейка, технологический процесс, дозатор направленного действия, точность высева.

## ANNOTATION

**Popyk P. S. Development of pneumomechanical apparatus of precision seeding with an active cell of directed action.** – Manuscript.

Thesis on competition the scientific degree of candidate of technical sciences on specialty 05.05.11 –Machines and Means of Mechanization of Agricultural Production. – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2016.

The work is devoted to a problem of increasing of seeds sowing precision of main technical cultivated cultures by introduction to a design of the pneumomechanical seeding apparatus of doser with directed action vector.

As a result of use of the new constructive solution of the doser, it is increased the precision of technological process performance of formation of a regular one-grain stream. The connection between distance to a particle and force of its suction by a cell is done. The equations of dynamics of a particle movement and time of seeds exposition from a cell are received and analysis of the efforts operating on seeds when moving by them of the doser with the oriented cell is carried out.

The reasonable rational phases of sowing apparatus operation with the doser of directed action and certain parameters of its work are given. The regularities of appearance of omissions and doubles depending on the main technological parameters of operation of the sowing apparatus: speeds of the dosing element movement and depression degree in a vacuum chamber are determined. The values of stochastic indicators of precision of sowing technological process performance which have confirmed advantages of apparatus with the doser of directed action in comparison with the serial are defined.

**Key words:** pneumomechanical seeding apparatus, seed, cell, technological process, doser with a directed action vector, precision seeding.



Підписано до друку 18.04.2016. Формат 60×84 1/16.  
Папір Maestro Print. Друк офсетний. Гарнітура Times New  
Roman. Друк. арк. 0,9. Ум.-друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим.  
Зам. № 8474 від 27.04.2016.

Редакційно-видавничий відділ НУБіП України  
03041, Київ, вул. Героїв Оборони, 15. т. 527-80-49, к. 117