

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



**Бойко Владислав Борисович**

УДК 631.331.85; 631.171

**ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ ГІДРОПНЕВМАТИЧНОГО АПАРАТА ТОЧНОГО  
ВИСІВУ НАСІННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР**

Спеціальність 05.05.11 – машини і засоби  
механізації сільськогосподарського виробництва

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Мелітополь – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Дніпровському державному аграрно-економічному університеті Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
**Улексін Василь Олексійович**,  
Дніпровський державний аграрно-економічний  
університет, доцент кафедри тракторів і  
сільськогосподарських машин.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
**Мельник Віктор Іванович**,  
Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка,  
проректор з наукової роботи

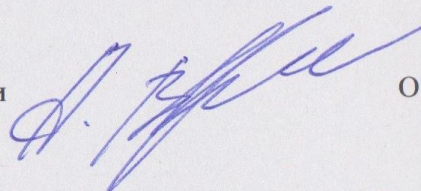
кандидат технічних наук, доцент  
**Петренко Дмитро Іванович**,  
Центральноукраїнський національний технічний  
університет, доцент кафедри сільськогосподарського  
машинобудування

Захист відбудеться «23» вересня 2021 р. о 10-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 18.819.01 в Таврійському державному агротехнологічному університеті імені Дмитра Моторного за адресою: 72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр-т Б.Хмельницького, 18, ауд. 1.111

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного за адресою: 72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр-т Б.Хмельницького, 18  
Автореферат та дисертація розміщені в мережі Internet за адресою  
<http://www.tsatu.edu.ua/nauka/n/specializovani-vcheni-radu/specializovanavchena-rada-d-18-819-01/>

Автореферат розісланий «20» серпня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О.Ю. Вовк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Останнім часом в усіх сферах діяльності людини, зокрема в сільськогосподарському виробництві, все гостріше постають взаємопов'язані проблеми енергозбереження та захисту довкілля. Перспективним напрямком розвитку механізації рослинництва, який забезпечує зменшення енерговитрат та покращення екологічності галузі, виступає система точного землеробства.

Відмінною рисою точного землеробства є ощадливе застосування добрив, отрутохімікатів та інших витратних матеріалів у відповідності до потреб рослин, що знаходяться в конкретних умовах конкретної ділянки поля і, за рахунок цього, зменшення техногенного навантаження на ґрунт та покращення екологічності кінцевої продукції. Максимальний ефект від застосування точного землеробства досягається при розміщенні рослин на полі за координатним принципом – у певному порядку, у заздалегідь визначених для цього точках поля з наперед заданими координатами, що дозволяє мінімізувати витрати на виконання операцій по догляду за рослинами. Для повноцінної реалізації точного землеробства необхідні засоби координації всіх застосовуваних робочих органів відносно поля і рослин. У системах точного землеробства на базі існуючих машин для цього застосовують засоби супутникової навігації, доповнені локальними системами місце визначення та системами розпізнавання рослин. Після впровадження перспективного «мостового» землеробства з координатно-транспортною системою, яке по своїй суті є точним, з'явиться можливість здійснення координації робочих органів без використання складних систем навігації [1].

Для реалізації висіву насіння за координатним принципом в точному землеробстві необхідні сівалки, особливість яких полягає у здійсненні висіву за сигналами навігаційної системи або інших засобів місцевизначення машини.

Аналіз наявної посівної техніки вказує на відсутність засобів сівби рослин за координатним принципом. Створення гідропневматичного висівного апарата, здатного реалізувати координатний висів пророслого насіння, дозволить вирішити задачі реалізації точного землеробства та підвищити ефективність рослинництва за рахунок інтенсифікації початку вегетації (проростання) культивованих рослин.

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

Робота виконувалася в період з 2006 по 2021 рр. у відповідності до щорічних планів наукової роботи кафедри «тракторів і сільськогосподарських машин» Дніпровського державного аграрно-економічного університету в рамках державної програми «Покращення паливно-економічних та екологічних показників сільськогосподарських енергетичних засобів шляхом удосконалення їх будови, застосування альтернативних матеріалів та впровадження прогресивних технологічних процесів» (номер державної реєстрації 0108U008380, 2008-2016 рр).

**Мета дослідження:** підвищення точності висіву пророслого насіння овочевих культур шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного апарата точного висіву

### **Завдання дослідження:**

- провести аналіз способів координації робочих органів в системі точного землеробства та апаратів точного висіву з метою вибору прототипів та розробки конструктивної схеми гідропневматичного апарата точного висіву;

- встановити закономірності розмірів та геометричних співвідношень елементів та деталей висівного апарата від розмірів насіння;
- виконати теоретичні та натурні дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері для встановлення меж варіювання конструктивно-технологічних параметрів, що впливають на точність висіву висівного апарата;
- виконати теоретичні та натурні дослідження заряджання насіння до насіннепроводу, для підвищення надійності роботи та точності висіву висівного апарату;
- дослідити гідродинамічні властивості насіння та встановити їх зв'язок з показниками кондиційності насінневого матеріалу;
- провести лабораторні дослідження та обґрунтувати бажані значення конструктивно-технологічних параметрів, для підвищення точності висіву гідропневматичним апаратом точного висіву;
- розробити та провести порівняльні виробничі випробування експериментальної сівалки з розробленими гідропневматичним апаратом точного висіву з серійною сівалкою Клен-1,8. Визначити техніко-економічну ефективність використання висівного апарата

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес висіву насіння гідропневматичним апаратом точного висіву насіння.

**Предметом дослідження** є закономірності впливу кінематичних, динамічних та конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного висівного апарату на якісні показники його роботи.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження процесів гідравлічного висіву насіння ґрунтуються на основних положеннях гідродинаміки, з використанням методів чисельного моделювання та математичних моделей багатофазної взаємодії. При цьому використовувалися методи диференційного числення.

Експерименти проведені на лабораторній установці з використанням фото і відео фіксації та розробленого вимірювально-реєстраційного комплексу контролю розподілення насіння. Дослідження проводились з використанням математичного методу планування експерименту. Обробка результатів здійснювалася з використанням положень теорії ймовірності та кореляційно-регресійного аналізу з використанням програмних пакетів Qbasic, Statistika-6.0, Star ССМ+, Mathcad, Excel.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

- вперше розроблено математичну модель процесу формування псевдозрідженого шару, яка дозволяє визначити кінематичні параметри руху насіння в забірній камері гідропневматичного апарату точного висіву;
- встановлено вплив концентрації насіння в забірній камері, частоти висівів, тиску наддуву на точність висіву гідропневматичним апаратом точного висіву;
- розроблено спосіб дозування насіння з псевдозрідженого шару забірної камери в насіннепровід, що дав змогу реалізувати координатний висів насіння гідропневматичним апаратом точного висіву;
- використовуючи програмний пакет Qbasic розроблено спосіб реєстрації проходження насіння та його розподілу по насіннепроводу з можливістю обробки

результатів для визначення статистичних показників: середньої відстані між насінинами, ступені неоднорідності, широти розподілення, дисперсії.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено конструктивну схему гідропневматичного апарата точного висіву нового типу, новизна якої захищена патентами на винахід України №90998, №99860, що дає можливість здійснювати точний (координатний) висів насіння. Результати теоретичних та експериментальних досліджень гідропневматичного апарата точного висіву дають підстави для обґрунтування раціональних конструктивних параметрів конструкції для реалізації точного (координатного) висіву насіння овочевих культур.

Виготовлена експериментальна сівалка на базі гідропневматичного апарата точного висіву, яка пройшла випробування у виробничих умовах на дослідному полі Дніпропетровської дослідної станції інституту овочівництва і баштанництва НААН України на посівах томату, та перцю. Використання гідросівалки забезпечило точний висів пророслого насіння з одночасним внесенням рідини з засобами захисту та стимуляції росту на початковому етапі вегетації рослин, що дозволило зменшити коефіцієнт варіації розподілення рослин в рядку на посівах томату на 10,6 %, перцю – 15,4 % в порівнянні з базовою сівалкою Клен-1,8. Польова схожість при цьому зросла на посівах томату на 12,4 %, перцю – 14,7%.

**Особистий внесок здобувача.** Автором особисто обґрунтовано конструктивну схему [16], розроблено математичні моделі основних технологічних процесів та натурні (фізичні) моделі гідропневматичного висівного апарата. Результати теоретичних і експериментальних досліджень, методики проведення експериментів і оцінки якісних показників опубліковано в вітчизняних фахових виданнях [6, 7, 10, 11, 13, 14] та у виданні, що індексується у Scopus [9].

**Апробація результатів дисертації.** Результати наукових досліджень були представлені на Міжнародній науково-практичній конференції «Аграрний форум-2006» (Суми СНАУ, 2006 р.); Науково-технічній конференції «Аграрна інженерія в умовах глобалізації» (Київ НАУ, 2008 р.); X міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Дніпропетровськ ДДАУ, 2009 р.); XI міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Київ, 2010 р.); XII міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Луганськ ЛНАУ, 2011 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Технічний прогрес АПК» (Харків ХНТУСГ 2008, 2011, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Вінниця ВНАУ, 2012 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Глеваха ІМЕСГ, 2013, 2015 р.).

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи опубліковано 16 наукових праць, з яких 13 статей в фахових виданнях України, 1 стаття у виданні, що індексується у Scopus, отримано 2 патенти України на винахід.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Обсяг основного тексту дисертації становить 161 сторінку, містить 87 рисунків, 24 таблиці. Список використаних джерел нараховує 122 найменування.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи та необхідність розробки і проведення досліджень висівного апарата, викладений зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження, наведена наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, а також представлено інформацію про їх апробацію.

У першому розділі «Стан питання і завдання досліджень» розглянуто питання процесу висіву насіння в системі точного землеробства, приведено різні технологічні та конструктивні рішення для підвищення ефективності точного розміщення насіння на полі. Проведений аналіз апаратів точного висіву свідчить про постійну їх модернізацію, яка покращує якісні робочі показники.

Вивченню та дослідженню даної проблематики присвячені роботи Л.В. Погорілого, П.М. Василенка, Н.І. Глазьева, Б.І. Журавльова, Д.Г. Вальянова, С.А. Ма, Г.М. Бузенкова, В.П. Чичкіна, І.І. Синягіна, І.В. Якушкіна, В.Е. Комаристова, В.О.Улексіна, В.В. Тарасенка, В.І. Пастухова, М.В. Бакума, Е.Б. Алієва, М.С. Шведика та ін.

Одним із факторів, на який неможливо вплинути сучасними апаратами точного висіву, являється вологість насінневого ложе, що є актуальним для посушливих регіонів. Суттєвим недоліком в реалізації точного (координатного) землеробства являється залежність роботи висівних апаратів від привідного колеса сівалки.

З урахуванням переваг та недоліків існуючих висівних апаратів точного висіву запропоновано та розроблено конструкцію гідропневматичного апарату (рис.1), здатного реалізувати точний (координатний) висів пророслого насіння в задані точки на полі. Це дозволить підвищити польову схожість та валовий збір сільськогосподарської продукції за рахунок висіву пророслого насіння в зволожене насінневе ложе і адресного догляду за кожною рослиною на полі.

Гідропневматичний апарат точного висіву (ГПАТВ) працює наступним чином. При закритому крані 18 через відкриту кришку здійснюється заповнення бака 1 насінням та через гідравлічний клапан 8 з резервуара 7 – робочою рідиною. При цьому з бака 1 повітря видаляється через дренажний кран 19 і останній закривається. Заправка апарата завершується відкриттям крана 18 насіннепроводу і починається перемішування насіння з рідиною в забірній камері 12 циркуляційним насосом 5, який приводиться в дію регульованим електроприводом 14. Насос 5 створює циркуляцію робочої рідини, забираючи її через фільтр 6 з верхньої частини бака 1 і подаючи у нижню частину клиноподібної забірної камери 12 через захисну сітку 13 назустріч насінню, що опускається під власною вагою. Потік рідини піднімає насіння вгору.

Розміри забірної камери підбираються так щоб у зоні забору насіння до насіннепроводу 3 утворювався псевдозріджений шар (ПЗШ) з необхідною концентрацією насіння. Підтримання заданої концентрації насіння в зоні забору до насіннепроводу здійснюється за допомогою зміни витрати рідини циркуляційним насосом, за роботу якого відповідає блок 15. Висів здійснюється у два такти.

У першому такті блок керування 10 подає струм на електроклапан 8, який в результаті цього відкривається і пропускає робочу рідину під тиском з резервуара 7 у бак 1. Робоча рідина з насінням витісняється з забірної камери до насіннепроводу 16 і коли насіння проходить повз датчик 11 то виникає імпульс, який подається на

перший вхід V1 блока керування, електроклапан 8 вимикається і насіння з рідиною зупиняється в сопло-стволі 2.

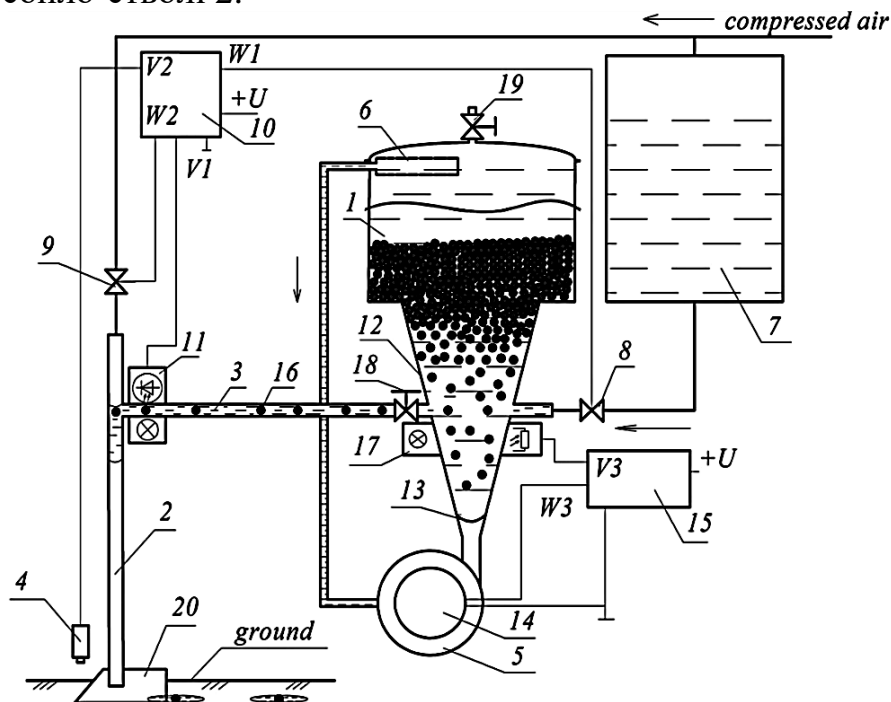


Рисунок 1 – Гідропневматичний апарат точного висіву:

- 1 – бак; 2 – сопло-ствол; 3 – насіннепровід; 4 – датчик переміщення;  
 5, 14 – насос з електроприводом; 6 – фільтр; 7 – резервуар; 8, 9 – електроклапан;  
 10 – блок керування; 11, 17 – оптичний датчик; 12 – забірна камера; 13 – захисна сітка; 15 – блок контролю (регулятор концентрації насіння); 16 – насіння;  
 18, 19 – кран; 20 – сошник.

У другому такті в заданому положенні сівалки відносно ґрунту датчик положення 4 формує сигнал, який подається на другий вхід V2 блока керування. Коротким імпульсом струму відкривається електроклапан 9, для подачі повітря від ресивера до сопла-ствола 2. Повітря в сопло-стволі розширюється і виштовхує насіння з рідиною в напрямку ґрунту. Після закінчення імпульсу струму на електроклапані 9 подається струм на електроклапан 8 і цикл повторюється.

Для реалізації запропонованої конструктивної схеми поставлена задача обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри гідропневматичного апарата точного висіву з можливістю висіву пророслого насіння в задані точки на полі.

У другому розділі «Теоретичні дослідження гідропневматичного апарата точного висіву» наведено дослідження процесу формування псевдозрідженого шару насіння в забірній камері висівного апарата з моделюванням процесу забору насіння з псевдозрідженого шару та подальшого руху по насіннепроводу. Встановлено граничні значення концентрації насіння в зоні забору та діапазони варіювання основних конструктивно-технологічних параметрів.

В забірній камері 2 (рис. 2) висівного апарата насіння піднімається потоком рідини, утворюючи псевдозріджений шар. Теоретичні дослідження процесу утворення псевдозрідженого шару з насіння та рідини виконано з урахуванням наукових напрацювань у галузі збагачення природних копалин.

На основі теоретичних досліджень обрано форму забірної камери у вигляді тригранної призми, поставленої на ребро зі змінним перерізом по висоті (рис. 2, а).

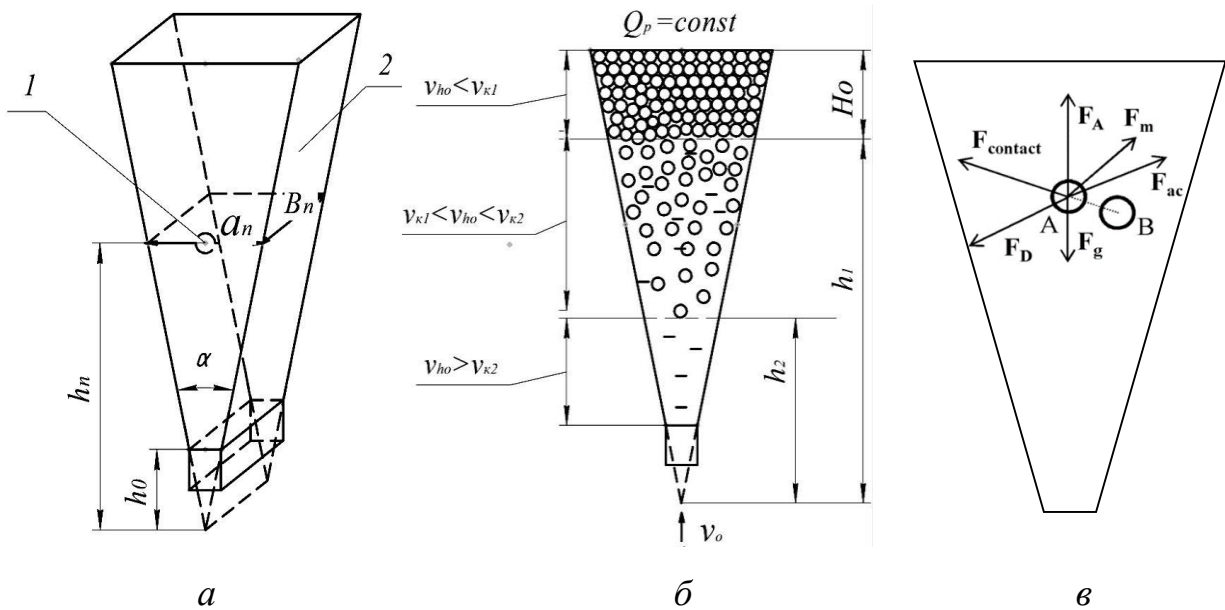


Рисунок 2 – Утворення псевдозрідженого шару в забірній камері:  
 а – геометричні співвідношення забірної камери; б – розподіл насіння; в – сили, які діють на насініну: 1 – вхід в насіннепровід; 2 – забірна камера.

Розширення шару у псевдозрідженому стані характеризується зміною порозності  $\varepsilon$ . Відомо, що порозність нерухомого шару  $\varepsilon_0$  твердих часток становить 0,4. Висота зони існування псевдозрідженого шару повинна залежати від інтенсивності зміни швидкості, тобто, від кута між гранями призми  $\alpha$ : зі зменшенням цього кута зона ПЗШ розширюється. Пропорційно зменшенню швидкості практично лінійно зменшується і порозність, що приводить до зміни концентрації насіння (рис. 2, б).

Отже, по висоті ПЗШ забірної камери порозність буде лінійно зменшуватися від  $\varepsilon = 1$  при  $v_{ho} > v_{k2}$  та  $h < h_{II}$ , до  $\varepsilon = \varepsilon_0 = 0,4$  при  $v_{ho} < v_{k1}$  та  $h > h_I$ :

$$\varepsilon = h \cdot (1 - 0,4) / (h_I - h_2) = 0,6 \cdot h / (h_I - h_2), \quad (1)$$

де  $h$  – поточна висота, м;  $v_{ho}$  – значення швидкості висхідного потоку, м/с;  $v_{k1}$ ,  $v_{k2}$  – відповідно перша та друга критичні швидкості існування ПЗШ, м/с;  $h_I$  та  $h_2$  – вища та нижча висоти існування ПЗШ, м.

Зміну концентрації насіння  $k_H$  у ПЗШ по висоті забірної камери визначено наступним чином. Виділили псевдозріджений шар висотою  $\Delta h$ , що дорівнює діаметру насініни  $d_H$  (слід зауважити, що  $\Delta h \ll h_I - h_{II}$ ). Об'єм цього шару  $V_c$  залежить від висоти  $h$ , у забірній камері:

$$V_c = S_h \cdot \Delta h = 2 \cdot B_n \cdot h \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{2} \right) \cdot d_H, \quad (2)$$

де  $S_h$  – площа перерізу забірної камери на висоті  $h$ , м<sup>2</sup>;  $a_n$  – довжина забірної камери, м;  $\alpha$  – кут між поверхнями забірної камери;  $B_n$  – ширина забірної камери, м.

Зважаючи, що форма насіння наближена до форми кулі діаметром  $d_H$  і об'єм однієї насініни становить  $V_{HC} = \pi \cdot (d_H)^3 / 6$ , концентрацію насіння у межах ПЗШ  $h_{II} < h < h_I$ , за умови лінійної зміни швидкості і порозності по висоті ПЗШ визначаємо як:

$$k_H = \frac{n_1}{V_c} = \left( \frac{(1 - \varepsilon) \cdot V_c}{\pi \cdot (d_H)^3 / 6} \right) / V_c = \frac{(1 - \varepsilon)}{\pi \cdot (d_H)^3 / 6} = \frac{0,6 \cdot (h - h_2) / (h_I - h_2)}{\pi \cdot (d_H)^3 / 6}. \quad (3)$$



На висоті  $h \leq h_{II}$  насіння відсутнє ( $k_H \leq 0$ ), а при  $h \geq h_I$  насіння максимально заповнює виділений шар з порозністю 0,4 (при  $h > h_I$ , та при  $h < h_{II}$  має місце вихід за межі ПЗШ).

Основним чинником існування ПЗШ і підтримання заданої концентрації насіння є підтримання швидкості потоку  $v_{ho}$  в межах першої  $v_{K1}$  та другої критичних швидкостей  $v_{K2}$  існування ПЗШ. Згідно попередньо проведених теоретичних досліджень для насіння діаметром від 1 до 5 мм, значення критичних швидкостей повинно знаходитися в межах  $v_{K1} \approx 0,002-0,02$  м/с,  $v_{K2} \approx 0,057-0,162$  м/с.

Враховувавши теоретичні положення гідродинаміки отримали рівняння проміжного значення швидкості  $v_l$ , м/с за умови порозності ПЗШ в межах від  $\varepsilon = 0,4$  до  $\varepsilon = 1$ :

$$v_l = \frac{A_r \cdot \mu_l \cdot \varepsilon^{4,75}}{d_H \cdot \rho_p \cdot (18 + 0,61\sqrt{A_r \cdot \varepsilon^{4,75}})}, \quad (4)$$

де  $\mu_l$  – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини, Па·с;  $A_r$  – критерій Архімеда;  $\rho_p$  – щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>.

Висоту існування псевдозрідженого шару  $H$ , на рівні  $h_1$  та  $h_2$  визначимо з умови підтримання критичних швидкостей  $v_{K1}$ ,  $v_{K2}$  та порозності насіння  $\varepsilon$  в межах 0,8–0,98, які безпосередньо залежать від величини перерізу забірної камери:

$$h_1 = \frac{S_{h1}}{2 \cdot B_n \cdot tg \cdot (\alpha / 2)}, \quad (5) \quad \text{та} \quad h_2 = \frac{S_{h2}}{2 \cdot B_n \cdot tg \cdot (\alpha / 2)}, \quad (6)$$

де  $S_{h1}$ ,  $S_{h2}$  перерізи забірної камери відповідно на вищому та нижчому рівнях існування псевдозрідженого шару, м<sup>2</sup>. Згідно значення  $v_{K1}$  та  $v_{K2}$  відповідно отримаємо  $S_{h2min} = 67$  мм<sup>2</sup>,  $S_{h1max} = 331$  мм<sup>2</sup>.

Згідно проведених розрахунків нижній рівень ПЗШ знаходитиметься на висоті  $h_2=0,014$  м, а верхній рівень – на висоті  $h_1=0,07$  м. Висота існування псевдозрідженого шару знаходиться в межах 56...68 мм, за ширини забірної камери 15...18 мм та кута між сторонами забірної камери 15°...20°.

Наведені теоретичні положення актуальні для умов ламінарного сталого потоку в забірній камері. Цього достатньо, щоб визначитися з граничними значеннями розмірів забірної камери. Для більш детального вивчення процесу перемішування насіння тобто формування ПЗШ, розглянемо гідродинамічну модель руху рідини та насіння, по об'єму забірної камери ГПАТВ. Гідродинамічну модель реалізовано в програмному пакеті STAR-CCM+. Враховувавши всі сили (рис.2, в), що діють на насінину в процесі формування ПЗШ, та наступні припущення: насіння – жорсткі сфери радіусом 0,001-0,005 м, які не відрізняються одне від одного; відсутній теплообмін між насінням і середовищем; у зв'язку із великою швидкістю потоку рідини  $v_l = 0,4-0,6$  м/с дифузійний дрейф насіння відсутній; за несучий потік приймається потік рідини, що стаціонарно рухається у вертикальній забірній камері при ізотермічних умовах, отримуємо систему диференціальних рівнянь руху насінини в потоці рідини:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{4}{3} \pi a^3 \rho_n \frac{d \overline{v_p}}{dt} = \overline{F_g} + \overline{F_A} + \overline{F_{ac}} + \overline{F_m} + \overline{F_D} + \overline{F_{contact}}, \\ \frac{d \overline{S_p}}{dt} = \overline{v_p}, \\ \frac{d \overline{p}}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \overline{v_p} \cdot \overline{\nabla}. \end{array} \right. \quad (7)$$

де  $\overline{F_g}$  – сила тяжіння, Н;  $\overline{F_A}$  – сила Архімеда, Н;  $\overline{F_{ac}}$  – сила, що зумовлена зміною тиску, Н;  $\overline{F_m}$  – сила, еквівалентна впливу приєднаної маси, Н;  $\overline{F_D}$  – сила в'язкого

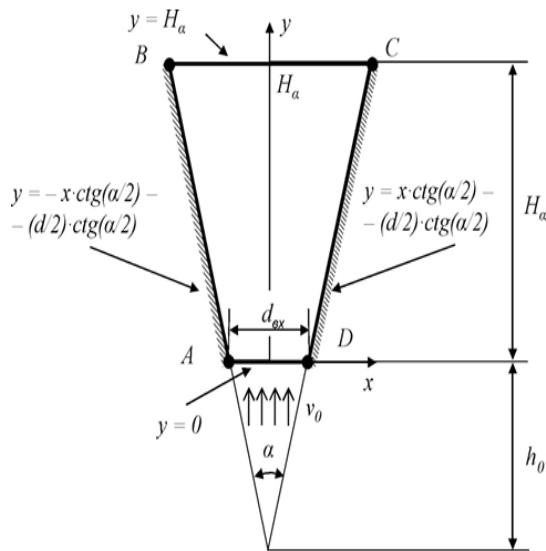


Рисунок 3 – Поперечний переріз забірної камери ГПАТВ

опору, Н;  $\overline{F_{contact}}$  – сумарна сила контактної взаємодії насінин між собою і стінкою забірної камери (тільки при умові зіткнення насінин), Н;  $a$  – радіус сферичної насінини, м;  $\rho_n$  – щільність насінини, кг/м<sup>3</sup>;  $\overline{v_p}$  – вектор швидкості руху насінини, м/с;  $\overline{S_p}$  – вектор переміщення насінини, м;  $\cdot \overline{\nabla}$  – оператор Гамільтона.

Розрахунок процесу формування ПЗШ в ємності гідропневматичного висівного апарата виконуємо при наступних граничних умовах (рис. 3).

На бокових границях задаються жорсткі стінки, рівняння яких представлено у вигляді:

$$AB: y = x \cdot ctg \frac{\alpha}{2} - \frac{d_{ax}}{2} ctg \frac{\alpha}{2}, \quad (8) \quad BC: y = -x \cdot ctg \frac{\alpha}{2} - \frac{d_{ax}}{2} ctg \frac{\alpha}{2}. \quad (9)$$

Швидкість на боковій поверхні дорівнює 0 м/с,  $\overline{v_{AB}} = \overline{v_{BC}} = 0$ .

Нижня границя DA є прозорою із заданим постійним профілем швидкості на вході в забірну камеру  $v_0$ ,  $y=0$ .

На верхній границі BC – тиск на виході  $P_{BC} = 0$ ,  $y=H_a$ , де  $H_a$  – висота камери.

В зв'язку з складністю вирішення системи диференціальних рівнянь (7) аналітичним методом розрахунки проведено методом кінцевих елементів з врахуванням граничних та початкових умов, який реалізовано в програмному пакеті STAR-CCM+. При цьому використовувалися адаптивні регулярні розрахункові сітки із змінним розміром комірки (рис. 4). В якості фізичних моделей для чисельного моделювання були обрані наступні: k-ε модель турбулентності розділеної течії, поле

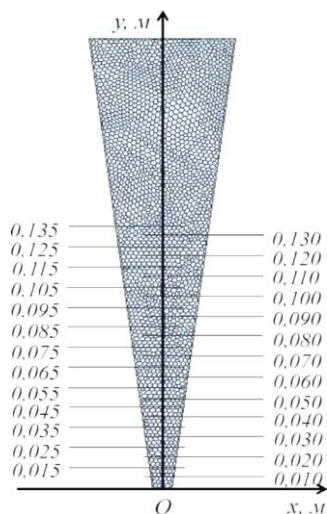


Рисунок 4 – Розрахункова сітка в STAR-CCM+

моделювання були обрані наступні: k-ε модель турбулентності розділеної течії, поле

сили тяжіння, постійна густина рідини, модель дискретних елементів, лагранжева багатофазність, модель багатофазної взаємодії.

За фактори чисельного моделювання були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри: об'ємна концентрація насіння в забірній камері  $n$ , кут між поверхнями забірної камери  $\alpha$  і швидкість на вході забірної камери  $v_0$ . Час проведення чисельного моделювання складав – 10 с.

Чисельне моделювання руху насіння в забірній камері було проведено за повним факторним експериментом із загальною кількістю дослідів –  $3^3 = 27$ . В результаті були отримані графічні інтерпретації траєкторії руху насіння в забірній камері (рис. 5)

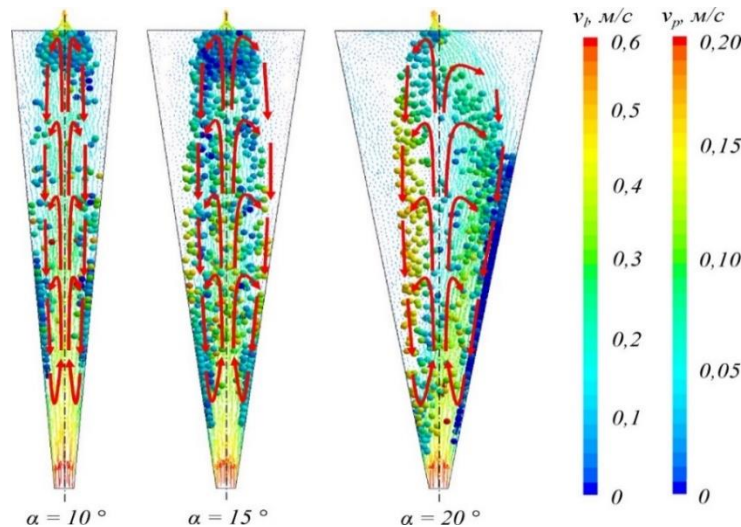


Рисунок 5 – Траєкторії руху насіння в об'ємі забірної камери для дослідів:

$$n = 0,32 \text{ л/мл}, v_0 = 0,6 \text{ м/с}$$

Об'ємна концентрація насіння в забірній камері розраховується за формулою:

$$n = \frac{4N\pi a^3}{3V_k}, \quad (10)$$

де  $N$  – кількість насіння в забірній камері;  $a$  – радіус насіння, м;  $V_k$  – об'єм забірної камери (згідно рисунку 3), мл:

$$V_k = B_n \cdot (H_a^2 - h_0^2) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (11)$$

де  $B_n$  – ширина забірної камери, м;  $H_a$  – висота забірної камери, м;  $h_0$  – рівень вхідного отвору забірної камери, м;

В якості критерію оцінки процесу формування псевдозрідженого шару було обрано ймовірність появи двох і більше насіння в області забірної камери розташованої по осі насіннепроводу, яка визначається за формулою:

$$P = \frac{N_{>1}}{N_1 + N_{>1}}, \quad (12)$$

де  $N_{>1}$  – кількість моментів часу, коли в заданій області спостерігаються більше 1 насіння;  $N_1$  – кількість моментів часу, коли в заданій області спостерігається 1 насіння;  $N_n$  – кількість моментів часу, коли в заданій області спостерігається  $n$  насіння.

При кожному розрахунку фіксувалися значення кількостей моментів часу, коли в заданій циліндричній області спостерігається 1 і більше насінин див. рисунок 6, а. За формулою (12) розраховано ймовірність появи двох і більше насінин для заданої циліндричної області (див. графік рис. 6, б).

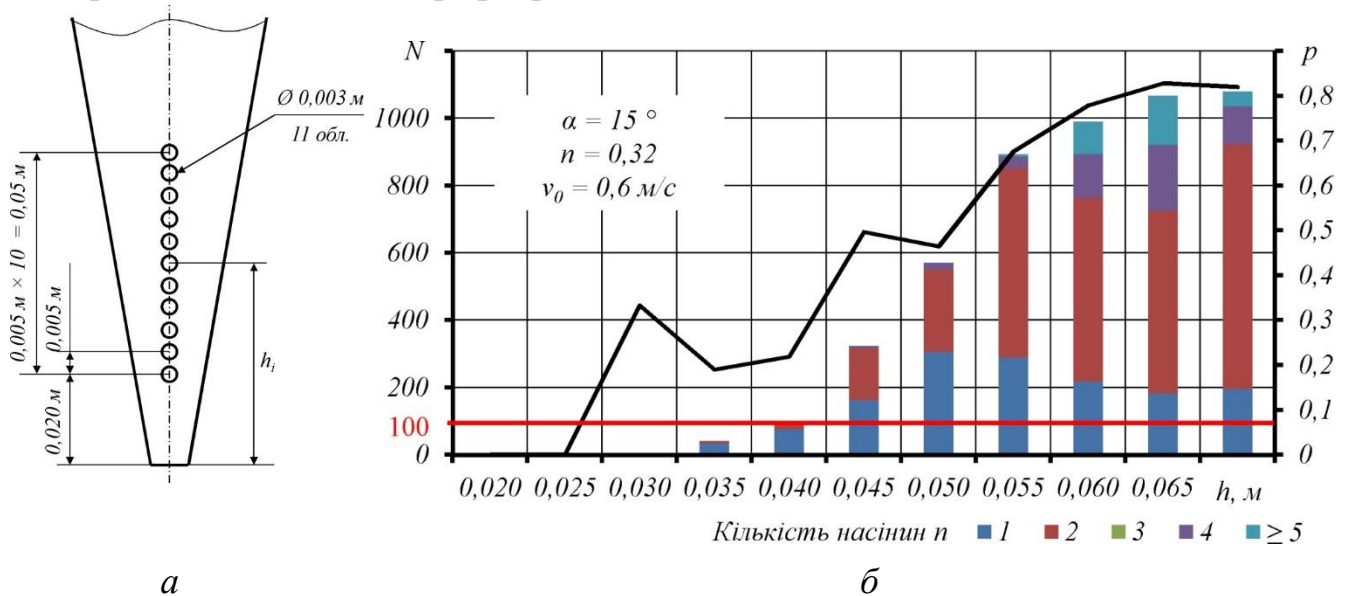


Рисунок 6 – Залежність кількості моментів часу  $N$  та ймовірності появи двох і більше насінин  $p$  від висоти розміщення насіннепроводу  $h_n$

З використанням програмного пакету Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних у вигляді рівняння регресії, в результаті якої встановлено залежність висоти розміщення насіннепроводу від значущих факторів чисельного моделювання:

$$h_n = -0,04694 + 0,625v_0 - 0,3333v_0^2 - 0,007667\alpha - 0,015v_0\alpha + 0,0003667\alpha^2. \quad (13)$$

За результатами рівняння (13) отримано графічну залежність висоти розміщення насіннепроводу  $h_n$  від кута між поверхнями забірної камери  $\alpha$  і швидкості на її вході  $v_0$ , представлену на рисунку 7.

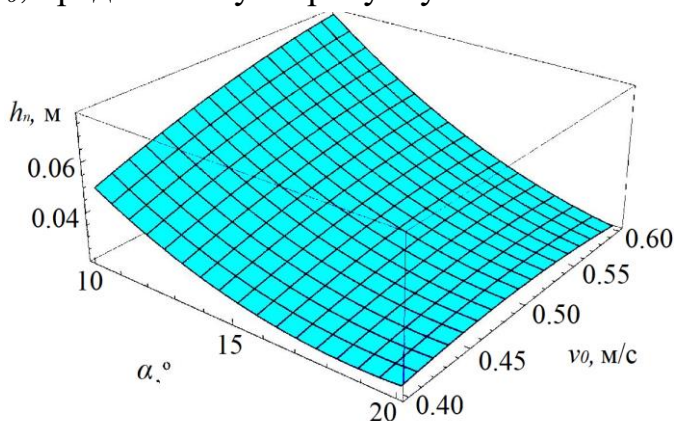


Рисунок 7 – Залежність висоти розміщення насіннепроводу  $h_n$  від кута між поверхнями забірної камери  $\alpha$  і швидкості на її вході  $v_0$

Аналізуючи графічну залежність можна стверджувати, що зі зміною кута між поверхнями забірної камери і швидкості на її вході необхідно проводити коригування висоти розміщення насіннепроводу. Це необхідно для усунення закупорювання при потраплянні одночасно двох і більше насінин до входу насіннепроводу ГПАТВ. Враховуючи попередньо визначені та прийняті конструктивні і технологічні параметри забірної камери розміщення насіннепроводу доцільно здійснювати на висоті 0,022...0,036 м.

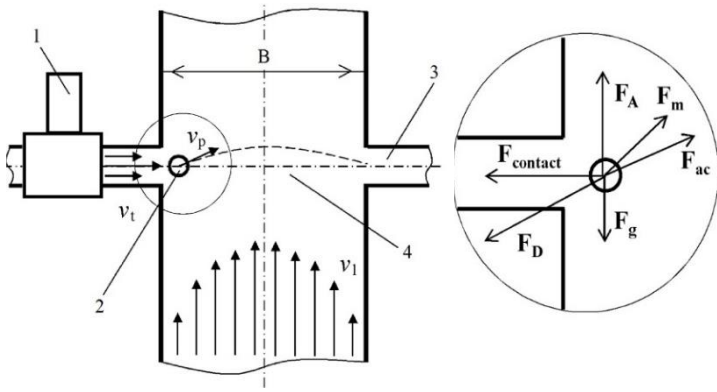


Рисунок 8 – Розрахункова схема процесу забору насінини в насіннепровід

Процес забору насіння відбувається в період відкритого стану гідроклапану 1 (рис.8). Через відкритий клапан потік рідини потрапляє в забірну камеру і витісняє рідину з насінням 2 до насіннепроводу 3. Розглянемо систему диференціальних рівнянь руху насінини в потоці рідини з забірної камери до насіннепроводу:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d_p \bar{v}_p}{dt} &= \frac{2(\rho_n - \rho_p)}{2\rho_n + \rho_p} \bar{g} + \frac{3\rho_p}{2\rho_n + \rho_p} \frac{d_l(\bar{v}_l + \bar{v}_t)}{dt} + \\ &+ \frac{3\rho_p f_M(Re)}{4a(2\rho_n + \rho_p)} (\bar{v}_l + \bar{v}_t - \bar{v}_p) \cdot |\bar{v}_l + \bar{v}_t - \bar{v}_p| + \bar{F}_{contact}, \\ \bar{F}_{contact} &= \begin{cases} \bar{F}_n + \bar{F}_t, & \bar{S}_{pA} = \bar{S}_{pB}, \\ 0, & \bar{S}_{pA} \neq \bar{S}_{pB}, \end{cases} \\ \frac{d_p \bar{S}_p}{dt} &= \bar{v}_p, \\ \frac{d_p}{dt} &= \frac{\partial}{\partial t} + \bar{v}_p \cdot \bar{\nabla}, \end{aligned} \right. \quad (14)$$

де  $\bar{v}_p$  – векторне поле швидкостей рідини в насіннепроводі, м/с;  $f_M(Re)$  – коефіцієнт в'язкого опору;  $\bar{F}_n$  – нормальна складова сили, Н;  $\bar{F}_t$  – тангенціальна складова сили, Н;  $\bar{v}_l$  – векторне поле швидкостей рідини, м/с;  $\bar{v}_t$  – вектор швидкості потоку рідини після гідроклапана, м/с;  $\rho_p$  – щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>;  $\bar{S}_p$  – вектор переміщення насінини, м.

Систему диференціальних рівнянь (14) вирішуємо за допомогою програмного пакета STAR-CCM+ з врахуванням граничних та початкових умов. За фактори чисельного моделювання приймаємо наступні конструктивно-технологічні параметри: ширина забірної камери  $B_{II}$  в межах від 0,010-0,025 м, і швидкість на вході забірної камери  $v_o$  в межах від 0,4-0,6 м/с. Чисельне моделювання було проведено за повним факторним експериментом із загальною кількістю дослідів –  $4 \times 5 = 20$ . В результаті була отримана графічна інтерпретація процесу переміщення насінини з об'єму псевдозрідженого шару забірної камери в насіннепровід (рис. 9).

За результатами чисельного моделювання і апроксимації отриманих даних отримано залежність мінімальної початкової швидкості потоку рідини через гідроклапан  $v_t$  від факторів чисельного моделювання:

$$v_t = -0,6398 + 16,26 B_{II} + 2,06829 v_o + 17,2 B_{II} v_o. \quad (15)$$

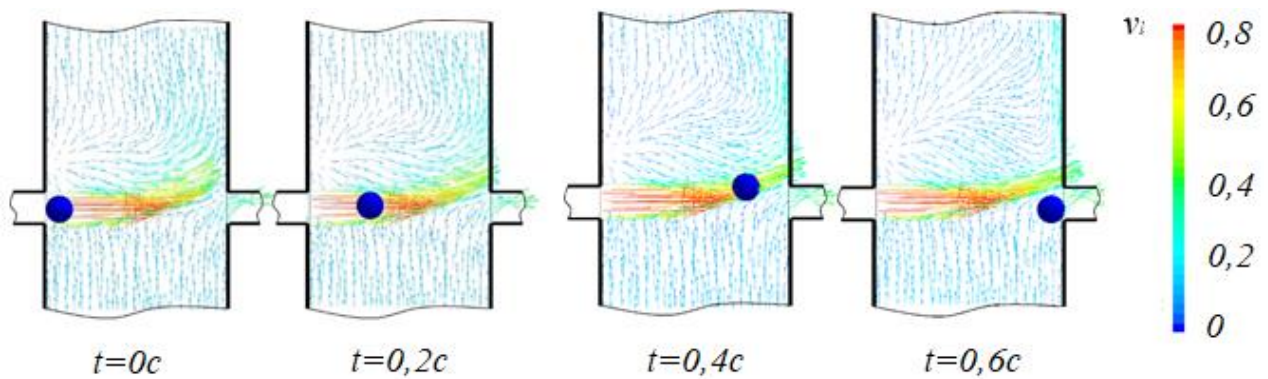


Рисунок 9 – Процес переміщення насінини з об'єму забірної камери в насіннепровід:  $n = 0,32$ ,  $\alpha = 15^\circ$ ,  $v_o = 0,6$  м/с

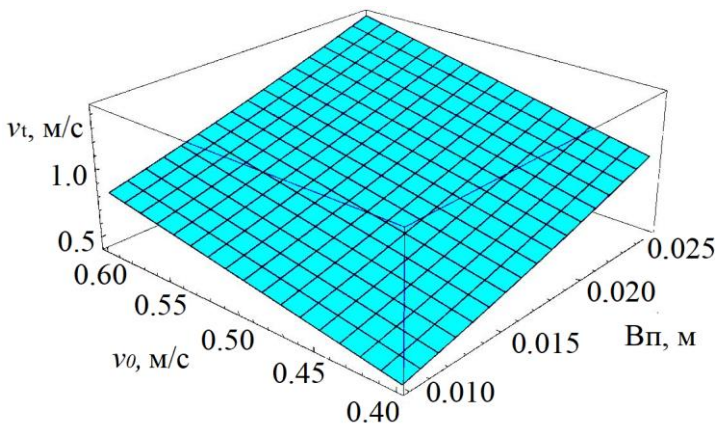


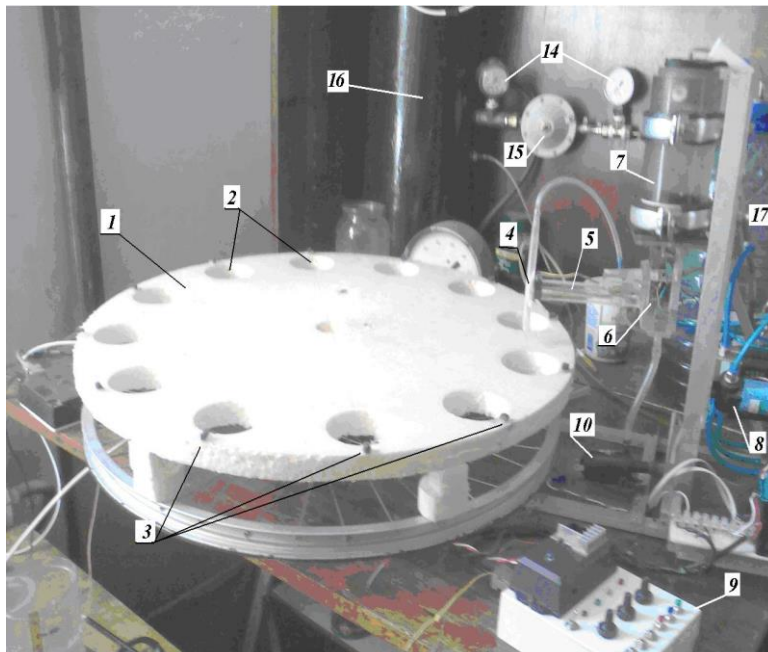
Рисунок 10 – Залежність мінімальної швидкості потоку рідини на виході з гідроклапана  $v_t$  від ширини забірної камери  $B_{п}$  і швидкості на її вході  $v_o$

Чисельне моделювання технологічного процесу заряджання насінини в насіннепровід з використанням програмного пакета STAR-CCM+ дозволило отримати графічну залежність мінімально допустимої початкової швидкості потоку рідини через гідроклапан  $v_t$  (рис. 10) та встановити її значення (0,42...1,45 м/с), що гарантує надійне заряджання насіння до насіннепроводу гідропневматичного апарата точного висіву

У третьому розділі «Програма і методика експериментальних досліджень» представлено завдання, програму та методику проведення експериментальних досліджень, запропонованого гідропневматичного апарата точного висіву. Для цього розроблено лабораторну установку (рис.11) для перевірки роботи ГПАТВ. Корпус висівного апарата виконано з прозорого матеріалу для візуального дослідження процесів (формування ПЗШ, забору та висіву) з використанням засобів фото та відеофіксації. Контроль тиску здійснюється за допомогою манометрів 14, витрати насоса – ротаметром 13.

Для дослідження процесу розподілення насіння в насіннепроводі розроблено вимірювально-реєстраційний комплекс на базі ПЕОМ з використанням оптичних датчиків.

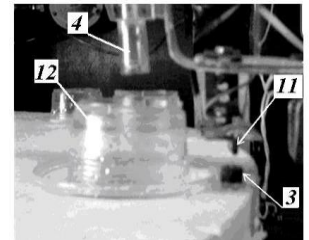
З метою визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів роботи гідропневматичного апарата точного висіву, а саме концентрації насіння  $k_n$  з рівнем варіації 0,25, 0,45, 0,65 1/мл, частоти висівів  $f_e$  з рівнем варіації 2, 6, 10 Гц, тиску наддуву  $P_{над}$  з рівнем варіації 0,027, 0,03, 0,033 МПа, розроблено методику проведення багатofакторного експерименту за планом  $3 \times 27$ . За критерій оптимізації висівного апарата обрано точність висіву.



а



б



в

Рисунок 11 – Загальний вигляд лабораторної установки для дослідження ГПАТВ:  
 а – лабораторна установка; б – ГПАТВ; в – висіваюча частина; 1 – барабан;  
 2 – гнізда для насіннеуловлювачів; 3 – мітки; 4 – сопло-ствол; 5 – насіннепровід;  
 6 – забірна камера; 7 – корпус; 8 – блок електроклапанів; 9 – блок керування;  
 10 – циркуляційний насос; 11 – датчик положення; 12 – насіннеуловлювач;  
 13 – ротаметр; 14 – манометри; 15 – редуктор; 16 – ресивер; 17 – резервуар для рідини.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» наведено результати експериментальних досліджень: гідродинамічних властивостей насіння овочевих культур, процесу формування ПЗШ, точності висіву ГПАТВ в лабораторних умовах.

Дослідження гідродинамічних властивостей насіння проводилися на гідросепараторі конструкцію якого розроблено в ДДАЕУ. За результатами дослідження насіння капусти «Топорані», томату «Астероїд», перцю «Богатир», встановлено, що сепарація дозволяє провести розподіл його на групи з однаковими гідродинамічними властивостями (вологістю, парусністю) та відділити проросле насіння в окрему групу. Дослідженнями встановлено залежність схожості насіння, енергії проростання від проведеної класифікації. Так лабораторна схожість пророслого насіння капусти становить  $100\% \pm 1$ , томату  $100\% \pm 1$ , перцю  $98\% \pm 2$ , що перевищило показники сухого методу посіву капусти на 12,3 %, томату 16,7 %, перцю на 19,2 %. Встановлено, що в результаті замочування сухого насіння овочевих культур відбувається збільшення об'єму в 1,45...1,96 разів, що враховано при виборі розміру бака. Порозність шару практично не залежить від набухання насіння і становить 0,39...0,41.

Попередньо проведеними дослідженнями процесу формування псевдозрідженого шару з насіння та рідини встановлено, що основним його показником являється концентрація насіння на одиницю об'єму  $k_n$ , яка залежить від рівня заповнення бака для насіння  $L$ , швидкості висхідного потоку рідини  $v_1$  значення якої залежить від витрати насоса  $Q_n$ , та площі перерізу забірної камери  $S_k$ .

Згідно теоретичних досліджень формування псевдозрідженого шару в забірній камері переріз в нижній частині камери встановлено  $S_{h2min} = 67 \text{ мм}^2$ , в верхній частині  $S_{h1max} = 333 \text{ мм}^2$ , в зоні розміщення насіннепроводу  $S_A = 125 \text{ мм}^2$ . На першому етапі досліджень визначаємо залежність концентрації насіння  $k_n$  та швидкості висхідного потоку рідини  $v_l$  від витрати насоса при постійному значенні рівня заповнення бака  $L$ . Результати дослідження представлено на рисунку 12. Візуальними спостереженнями встановлено граничні значеннями концентрації насіння  $k_n$ . Для надходження насіння до насіннепроводу без закупорювання максимальне значення концентрації не повинно перевищувати  $k_{nmax} = 0,65 \text{ 1/мл}$ . Мінімальне значення концентрації насіння при якому ще відбувається забір до насіннепроводу становить  $k_{nmin} = 0,21 \text{ 1/мл}$ . За такого значення значно знижується продуктивність ГПАТВ.

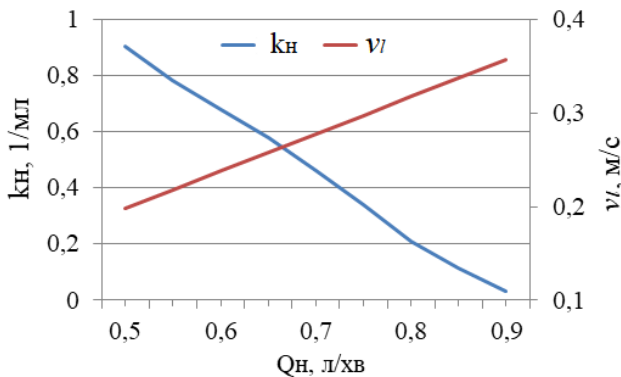


Рисунок 12 – Залежність концентрації насіння від витрати рідини насоса

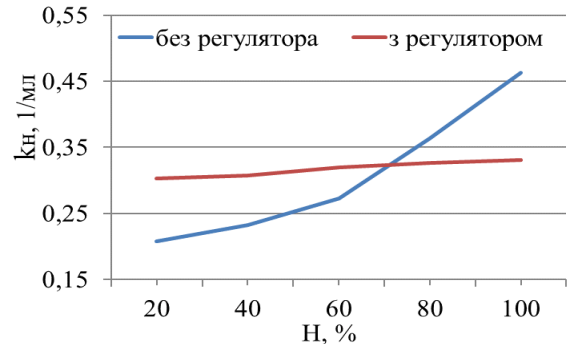


Рисунок 13 – Залежність концентрації насіння від рівня заповнення бака

На другому етапі досліджень встановлено залежність концентрації насіння  $k_n$  від рівня заповнення бака насінням  $L$ . Дослідження проведено для двох випадків: без використання регулятора витрати рідини за умови  $Q_n = 0,75 \text{ л/хв}$ , та з регулятором. Результати досліджень представлено на рисунку 13. Отримані результати доводять ефективність використання регулятора витрати рідини. Так значення концентрації насіння практично не залежить від рівня заповнення бак насінням і знаходиться в межах  $k_n = 0,3\text{--}0,33 \text{ 1/мл}$ .

Для визначення впливу конструктивно-технологічних параметрів на точність висіву  $\tau_v$  ГПАТВ проведено повний факторний експеримент за планом  $3 \times 27$ .

Дослідження виконано з використанням лабораторної установки (рис. 11). Обробку результатів виконано за допомогою математичного пакета Statistika-6.0 та отримано регресійні рівня визначення точності висіву ГПАТВ в розкодованому вигляді:

$$\begin{aligned} \tau_v = & -195,85 + 1,653 \cdot f_g + 248,65 \cdot k_n + 15445,85 \cdot P_{над} - 0,4406 \cdot f_g \cdot k_n \\ & + 3,68 \cdot f_g \cdot P_{над} + 93,05 \cdot k_n \cdot P_{над} - 0,26 \cdot f_g^2 - 267,04 \cdot k_n^2 - 2535185 \cdot P_{над}^2 \end{aligned} \quad (16)$$

Адекватність математичної моделі перевіряли за критерієм Фішера. Для цього порівняли розрахункове значення даного критерію  $F_p$  з табличним значенням  $F_{таб}$ .  $F_p = 1,09 < F_{таб} 3,19$ , що підтверджує адекватність математичної моделі.

Відтворюваність досліду перевіряли за критерієм Кохрена,  $G_p = 0,098 < G(0,05, 27, 2) = 0,2167$  умова виконується.

За рівнянням (16) використовуючи математичний пакета Statistika-6.0 отримано поверхні відгуків рисунок 14 та бажані значення факторів рисунок 15.



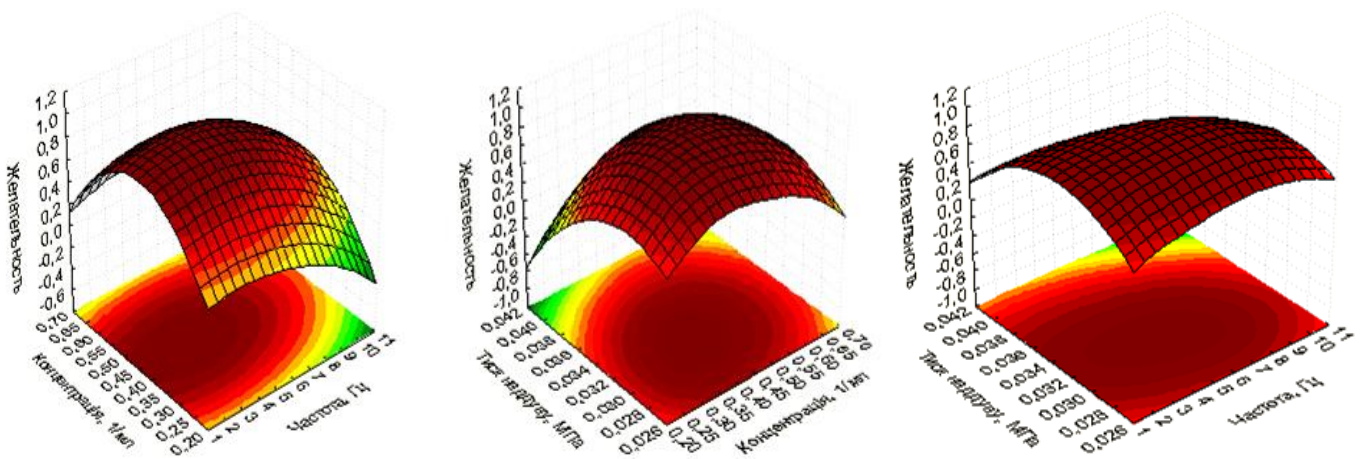


Рисунок 14 – Поверхні та контури бажаності факторів

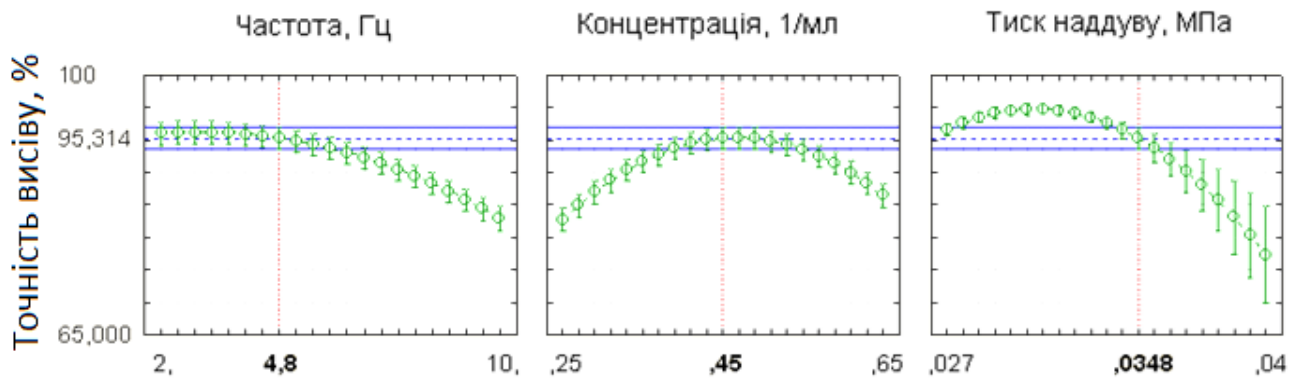


Рисунок 15 – Функції бажаності факторів

За результатами багатфакторного експерименту та вирішення компромісної задачі встановлено максимальну точність висіву на рівні 95,3 % за умови зменшення кількості двійників і пропусків насіння під час висіву ГПАТВ. При цьому конструктивно-технологічні параметри повинні мати наступні значення: частота висівів  $f_e = 4,8$  Гц, тиск наддуву  $P_{над} = 0,348$  МПа, концентрація насіння  $k_n = 0,45$  1/мл.

У п'ятому розділі «Економічна оцінка ефективності ГПАТВ та його виробнича апробація» представлені результати виробничих випробувань експериментальної сівалки з ГПАТВ, проведені протягом 2020-2021 рр. на дослідному полі Дніпропетровської дослідної станції інституту овочівництва і баштанництва НААН України на посіві в відкритий ґрунт насіння томату «Астероїд». Лабораторна схожість насіння становила 93 %, вологість замоченого насіння 38 %, лабораторне значення енергії проростання 69 %.

Аналіз результатів дослідження розподілу інтервалів між сходами показав, що при висіві експериментальною сівалкою з ГПАТВ 77 % сходів розташовані в інтервалі  $0,3 \pm 0,03$  м, що з достатньою точністю відповідає встановленому значенню 0,3 м згідно з схемою посіву. Зростання значення присутності інтервалів між сходами томатів свідчить про вірогідність пропусків під час висіву та не проросле насіння. Польова схожість за використання експериментальної сівалки склала 93 %, що на 12,4 % перевищило базовий варіант з використанням посівної секції Клен-1,8. Підвищення польової схожості та рівномірності висіву (коефіцієнт варіації розподілення насіння в рядку експериментальної сівалки склав 15,2 %, в порівнянні з базовою 22,1 %) дало змогу отримати приріст врожайності до 66 ц/га. Загальний економічний ефект на посівах томату склав 11,3 тис. грн/га

## ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено наукове завдання реалізації висіву пророслого насіння в задані точки на полі за допомогою розробленого гідропневматичного апарата точного висіву, що дозволило підвищити ефективність точного землеробства.

За результатами проведеної роботи сформульовано наступні висновки:

1. Для повноцінної реалізації точного землеробства необхідні посівні машини здатні реалізувати висів насіння в задані точки на полі згідно складеної координатної сітки. Аналіз наявної посівної техніки вказує на відсутність засобів сівби рослин за координатним принципом. Розроблена конструкція гідропневматичного апарата точного висіву дозволить підвищити ефективність точного землеробства за рахунок персоналізованого адресного підходу та інтенсифікації початку вегетації (проростання) культивованих рослин.

2. За результатами теоретичних досліджень процесу формування псевдозрідженого шару з насіння діаметром 1...5 мм в забірній камері висівного апарату, встановлено значення швидкості висхідного потоку 0,02...0,2 м/с для підтримання насіння в зваженому стані, відповідно переріз забірної камери в верхній частині повинен становити 331 мм<sup>2</sup> в нижній частині 67 мм<sup>2</sup>. Висота існування псевдозрідженого шару знаходиться в межах 56...68 мм за ширини забірної камери 15...18 мм та кута між сторонами забірної камери 15°...20°.

Розроблено фізико-математичну модель процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері, яка дозволяє встановлювати кінематичні параметри руху насінин (вектори переміщення, швидкості і прискорення). В результаті чисельного моделювання процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері з використанням програмного пакета STAR-CCM+ встановлено залежність висоти розміщення насіннепроводу  $h$  від кута між її поверхнями  $\alpha$  і початкової швидкості рідини  $v_0$ . Враховуючи попередньо визначені та прийняті конструктивно-технологічні параметри забірної камери розміщення насіннепроводу здійснюється на висоті 0,022...0,036 м.

Чисельне моделювання технологічного процесу заряджання насінини в насіннепровід з використанням програмного пакета STAR-CCM+ дозволило отримати значення мінімально допустимої початкової швидкості потоку рідини через гідроклапан  $v_t$  (0,42...1,45 м/с), що гарантує надійне заряджання насіння до насіннепроводу гідропневматичного апарата точного висіву.

Встановлено діапазони варіювання основних конструктивно-технологічних факторів, що впливають на точність висіву насіння: кута між поверхнями забірної камери  $\alpha=10...20^\circ$ , швидкості на вході забірної камери  $v_0 = 0,4...0,6$  м/с, ширини забірної камери  $B_{II}$  в зоні розміщення насіннепровода  $B_{II}= 0,010...0,025$  м, тиску наддуву  $P_{над} = 0,027...0,033$ , частоти висівів  $f_s = 2...10$  Гц

3. За результатами дослідження гідродинамічних властивостей насіння овочевих культур (парусність, вологість) встановлено, їх вплив на схожість насіння, енергію проростання та зміну об'єму. Так лабораторна схожість пророслого насіння капусти становить 100 %  $\pm 1$ , томату 100%  $\pm 1$ , перцю 98%  $\pm 2$ , що перевищило показники сухого методу посіву капусти на 12,3 %, томату 16,7 %, перцю на 19,2 %. Встановлено, що в результаті замочування сухого насіння овочевих культур

відбувається збільшення об'єму в 1,45...1,96 разів, що враховано при виборі розміру бака. Порозність шару практично не залежить від набухання насіння і становить 0,39...0,41.

4. За результатами дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в збірній камері встановлено, що для забезпечення надійної роботи висівного апарата концентрація насіння повинна становити 0,21...0,65 1/мл, що забезпечить надійну подачу насіння до насіннепроводу без закупорювання та простоїв висівного апарата. Використання регулятора витрати циркуляційного насоса дозволяє забезпечити підтримання заданого значення концентрації насіння не залежно від рівня заповнення ним бака.

5. За результатами багатofакторного експерименту та вирішення компромісної задачі встановлено максимальну точність висіву на рівні 95,3 % за умови зменшення кількості двійників і пропусків насіння під час висіву ГПАТВ. При цьому конструктивно-технологічні параметри повинні мати наступні значення: частота висівів  $f_s = 4,8$  Гц, тиск наддуву  $P_{над} = 0,348$  МПа, концентрація насіння  $k_n = 0,45$  1/мл.

6. За результатами польових дослідженнями на посіві томату «Астероїд», коефіцієнт варіації розподілення насіння в рядку склав 15,2 %, а розподілення рослин в рядку – 23,6%, що менше в порівнянні з базовою сівалкою Клен-1,8 при посів на 6,9%, по сходам на 10,6%. Використання висіву пророслого насіння підвищило польову схожість насіння на 12,4 % в порівнянні з сухим методом посіву та прискорило появу сходів 9...11 днів . Як результат зростання схожості насіння до 93% та приріст врожаю томатів на 66 ц/га, що підтверджує гіпотезу впливу висіву пророслого насіння на інтенсифікацію початку вегетації та послідує зростання врожайності овочевих культур. Економічний ефект від використання сівалки з розробленим ГПАТВ на посіві томату «Астероїд» склав 11,3 тис.грн/га.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Улексін В.О., Бойко В.Б. Сівалка для мостового землеробства. Механізація та автоматизація виробничих процесів. Вісник СНАУ. Суми. 2006. Вип. 9(15). С. 154-158. *(Здобувачем проведено аналіз висівних апаратів та запропоновано схему гідравлічної сівалки для координатного точного землеробства).*

2. Улексін В.О., Бойко В.Б., Брижа М.Р. Дослідження гідропневматичного висівного апарата. Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов ИГТМ. Днепропетровск. 2008. Вып.75. С.228-232 *(Здобувачем проведено дослідження основних елементів гідропневматичного апарата точного висіву).*

3. В.Б. Бойко. Дослідна установка гідросепаратора для вивчення гідродинамічних властивостей насіння овочевих культур. Техніка і енергетика АПК. Науковий вісник НУБіП України. Київ. 2010. Вип. 144, ч. 2. С.192-199. *(Здобувачем розроблено гідросепаратор для вивчення гідродинамічних властивостей насіння).*

4. Улексін В.О., Бойко В.Б. Циркуляційний насос для гідропневматичного висівного апарата. Промислова гідравліка і пневматика. Всеукраїнський науково-технічний журнал. Вінниця. 2012. Вип. 3 (37). С. 91-94. *(Здобувачем наведено результати конструювання та дослідження циркуляційного насоса для гідропневматичного висівного апарата).*

5. Бойко В.Б., Улексін В.О. Дозатор для однонасінневого висіву у гідропневматичному висівному апараті. Механізація та електрифікація сільського господарства. Загальнодержавний збірник ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха. 2013. Вип. 98. Т.1. С. 442-446. *(Здобувачем запропоновано конструктивну схему дозатора насіння для реалізації однонасінного точного висіву ГПАТВ).*

6. Бойко В.Б., Алієв Е.Б. Теоретичні дослідження руху рідини в ємності гідропневматичного висівного апарата. Інженерія природокористування. Харків. 2015. № 2 (4). С.78-84. *(Здобувачем за допомогою програмного пакету STAR-CCM+ отримано фізико-математичну модель руху рідини в порожнинах ГПАТВ)*

7. Бойко В.Б. Теоретичні дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в гідро-пневматичному висівному апараті. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Всеукр. наук.-техн. журнал ВНАУ. Вінниця. 2015. Вип. 3. С. 10-16. *(Здобувачем проведено теоретичне дослідження процесу формування псевдозрідженого шару та встановлено вплив на нього основних конструктивно-технологічних параметрів)*

8. Бойко В.Б., Улексін В.О., Сергеев О.П., Сич С.В. Пневмосистема гідропневматичного висівного апарата. Землеробська механіка. Вісник ДДАЕУ. Дніпро. 2016. №2. С. 37-41. *(Здобувачем проведено дослідження роботи агрегатів розробленої пневмосистеми гідропневматичного висівного апарата )*

9. Pastukhov V., Boiko V., Tesliuk H., Ulexin V., Kyrychenko R. Study of seed agitation in the fluid of a hydropneumatic precision seeder. European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol 5, No 1 (107). P 36-43. DOI/10.15587/1729-4061.2020.212517. *(Здобувачем досліджено процес перемішування насіння в рідині гідропневматичної сівалки точного висіву та встановлено основні фактори, які на нього впливають)*

*Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

10. Бойко В.Б. Експериментальне визначення рівномірності висіву насіння гідросівалкою. Технічні науки: Збірник наукових праць ВНАУ. Вінниця. 2012. Вип. 11. Т.1 (65). С. 89-94. *(Здобувачем проведено дослідження рівномірності розподілення насіння по насіннепроводу гідросівалки).*

11. Бойко В.Б. Процес утворення пульпи в координатному гідропневматичному висівному апараті. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2014. Вип. 148. С. 48-55. *(Здобувачем описано теоретичні залежності процесу формування пульпи в забірній камері ГПАТВ).*

12. Улексін В.О., Бойко В.Б. Обґрунтування параметрів дозатора для гідропневматичного висівного апарата. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2015. Вип. 156. С. 52-60. *(Здобувачем встановлено та обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри дозатора насіння для реалізації однонасінного точного висіву).*

13. Бойко В.Б. Дослідження процесу заряджання насінини в насіннепровід координатного гідропневматичного висівного апарата. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник КНТУ. Кіровоград. 2015. № 45 (1). С. 291-297. *(Використовуючи чисельне моделювання здобувачем встановлено значення мінімальної швидкості потоку на виході з гідроклапану, за якого відбувається надійне заряджання насіння до насіннепроводу).*

14. Бойко В. Б. Дослідження точності висіву насіння овочевих культур координатним гідро-пневматичним висівним апаратом. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2018. Вип. 190. С. 45-52. *(За результатами багатofакторного експерименту здобувачем встановлено бажані значення конструктивно-технологічних параметрів ГПАТВ).*

*Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації:*

15. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння та пристрій для його реалізації: пат. 90998 Україна: МПК А01С7/04. № а 200601288; заявл. 09.02.2006; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12 *(Здобувачем зроблено опис особливостей способу та пристрою для його реалізації).*

16. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння та пристрій для його реалізації: пат. 99860 Україна: МПК А01С7/04. № а 201014565; заявл. 06.12.2010; опубл. 10.10.2012, Бюл. № 19. *(Здобувачем зроблено опис особливостей способу та пристрою для його реалізації).*

## АНОТАЦІЯ

**Бойко В.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного апарата точного висіву насіння овочевих культур. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва (13 – механічна інженерія). – Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Мелітополь, 2021.

У дисертації вирішено наукове завдання, яке направлене на підвищення точності висіву та інтенсифікації початку вегетації овочевих культур шляхом розробки конструкції та обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного апарата точного висіву. Висівний апарат дозволяє здійснити висів пророслого насіння за сигналами системи позиціонування в задані точки на полі. Розроблено математичні моделі процесів формування псевдозрідженого шару та забору з нього насіння для подальшого висіву. Це дозволило встановити бажані значення параметрів, що впливають на якісні показники роботи висівного апарата. ГПАТВ, встановлений на рамі базової сівалки Клен-1,8, пройшов виробничу апробацію, а розроблена нормативно-технічна документація передана для виробництва. Реалізація точного висіву пророслого насіння дозволила отримати коефіцієнт варіації розподілення насіння в рядку не більше 15,2%. Економічний ефект від використання ГПАТВ на посіві томату «Астероїд» склав 11,3 тис. грн/га.

**Ключові слова:** точне землеробство, гідропневматичний апарат точного висіву, точний висів, координатний висів, псевдозріджений шар, проросле насіння.

## АННОТАЦИЯ

**Бойко В.Б. Обоснование конструктивно-технологических параметров гидропневматического аппарата точного высева семян овощных культур. - На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 - машины и средства механизации сельскохозяйственного

производства (13 – механическая инженерия). – Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, Мелитополь, 2021.

В диссертации решено научное задание, которое направлено на повышение точности высева и интенсификации начала вегетации овощных культур путем разработки конструкции и обоснование конструктивно-технологических параметров гидропневматического аппарата точного высева. Высевающий аппарат позволяет осуществить высев проросших семян по сигналам системы позиционирования в заданные точки на поле. Разработаны математические модели процессов формирования псевдооживленного слоя и забора из него семян для дальнейшего посева. Это позволило установить желаемые значения параметров, влияющих на качественные показатели работы высевающего аппарата. ГПАТВ, установленный на раме базовой сеялки Клен-1,8, прошел производственную апробацию, а разработанная нормативно-техническая документация передана для производства. Реализация точного высева проросших семян позволила получить коэффициент вариации распределения семян в ряду не более 15,2%. Экономический эффект от использования гидропневматического аппарата точного высева на посеве томата «Астероид» составил 11,3 тыс. грн / га.

**Ключевые слова:** точное земледелие, гидропневматический аппарат точного высева, точный высев, координатный высев, псевдооживленный слой, проросшие семена.

#### ABSTRACT

**Boyko V.B. Substantiation of constructive-technological parameters of the hydropneumatic device of exact sowing of seeds of vegetable cultures. - On the rights of the manuscript.**

The dissertation for competition of the degree of candidate of technical sciences, speciality 05.05.11 - Machines and mechanization of agricultural production (13 – mechanical engineering). – Dnipro State Agrarian and Economic University, Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnologicalical University, Melitopol, 2021.

In the dissertation the scientific problem which is directed on increase of accuracy of seeding and intensification of the beginning of vegetation of vegetable cultures by development of a design and a substantiation of constructive-technological parameters of the hydropneumatic device of exact seeding is solved. The sowing device allows to carry out sowing of the germinated seeds on signals of system of positioning in the set points on the field. Mathematical models of the processes of formation of the fluidized bed and collection of seeds from it for further sowing have been developed. This allowed us to set the desired values of the parameters that affect the quality of the sowing machine. The hydropneumatic device of exact seeding established on a frame of the basic seeder of Klen-1,8, passed production approbation, and the developed technical documentation is transferred for production. The implementation of accurate sowing of germinated seeds allowed to obtain a coefficient of variation of seed distribution in a number of not more than 15,2%. The economic effect from the use of hydropneumatic apparatus on the sowing of tomato "Asteroid" amounted to 11,3 thousand. UAH / ha.

**Key words:** precision farming, hydropneumatic precision seeding apparatus, precision seeding, coordinate seeding, fluidized bed, germinated seeds.

Підписано до друку 17.08.2021 р.  
Формат 60×80/16. Папір офсетний.  
Друк – різнографія. Обсяг 0,9 ум. друк. арк.  
Наклад. 100 прим. Зам. № 45/2021.

---

Типографія Дніпропетровського державного аграрно-економічного  
університету, 2021  
49600, м. Дніпро, вул. Сергія Єфремова 25,  
тел. (056) 744-81-32

