

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ЛЕЖЕНКІН ІВАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 631.362.32/34:633.1

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ  
РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ СЕПАРАЦІЇ ОБЧІСАНОГО ВОРОХУ  
ПШЕНИЦІ**

05.05.11 – машини і засоби  
механізації сільськогосподарського виробництва

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Мелітополь – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Таврійському державному агротехнологічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: **Кюрчев Сергій Володимирович**

кандидат технічних наук, професор, Таврійський державний агротехнологічний університет, декан механіко-технологічного факультету

Офіційні опоненти: **Пастушенко Сергій Іванович**

доктор технічних наук, професор, ВП «Національний університет біоресурсів і природокористування України» «Бережанський агротехнічний інститут», завідувач кафедри енергетичних машин та технічного сервісу АПК

**Сербій Євген Костянтинович**

кандидат технічних наук, доцент, Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій імені Л. Погорілого, завідувач лабораторією дослідження конструкцій та провайдингу перспективних машин

Захист відбудеться «2» березня 2017 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 18.819.01 у Таврійському державному агротехнологічному університеті за адресою: 72310, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Таврійського державного агротехнологічного університету за адресою: 72310, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18.

Автореферат та дисертація розміщені за адресою в мережі Internet <http://www.tsatu.edu.ua/nauka/specializovani-vcheni-radu/>

Автореферат розісланий «27» січня 2017 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

С. О. Квітка

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В Україні зерновиробництво є провідною галуззю сільськогосподарства, при цьому його технічне оснащення знаходиться на низькому рівні, і в першу чергу це стосується зернозбиральної техніки. За чверть століття парк зернозбиральних комбайнів України скоротився майже в три рази, а посівні площі під зерновими збільшилися.

Це призвело до значного росту сезонного навантаження на один комбайн, і як наслідок до порушення агротехнічних строків збирання, що викликає збільшення втрат і зниження якості зерна. Усунути ці недоліки, як довів засновник мелітопольської школи обчислення рослин на корені проф. Шабанов П. А. дозволяє стаціонарна технологія, в основі якої лежить даний метод. Однак впровадження цієї технології стримується відсутністю технічних засобів сепарації обчисаного вороху.

Такий стан речей створює **народногосподарську проблему**, сутність якої полягає в низькій техніко-економічній ефективності виконання технологічного процесу сепарації обчисаного вороху зернових колосових існуючими технічними засобами.

Розв'язання цієї народногосподарської проблеми неможливо без рішення відповідної **науково-технічної задачі**, яка полягає в обґрунтуванні параметрів та режимів функціонування робочого органу для сепарації обчисаного вороху пшениці, що дозволить підвищити ефективність сепарації.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до «Державної цільової програми розвитку українського села на період до 2015 року», затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України №1158 від 19 вересня 2007 року, «Державної програми сталого розвитку сільських територій України», затвердженої Указом Президента України №500/2011, від науково-дослідної роботи «Розробка технології та технічних засобів для рослинництва в умовах зрошеного землеробства півдня України» № держреєстрації 01070008955, згідно тематичного плану НДР Таврійського державного агротехнологічного університету на 2011-2015 рр. і програми «Розробка і впровадження Мелітопольської технології та технічних засобів збирання зернових культур обчисанням на корені» № держреєстрації 0111U002550.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є підвищення ефективності процесу сепарації обчисаного вороху пшениці шляхом обґрунтування параметрів і режимів роботи сепаруючого робочого органу.

Для досягнення поставленої мети передбачено розв'язання наступних задач дослідження:

- дослідити фізико-механічні властивості обчисаного вороху пшениці, як об'єкта його сепарації;
- розробити математичну модель просіювання зерна крізь шари обчисаного вороху;
- розробити методику теоретичного обґрунтування параметрів і режимів роботи сепаруючого робочого органу;
- експериментально дослідити процес сепарації обчисаного вороху пшениці;
- провести виробничу перевірку ворохоочисника з експериментальними ро-

бочими органами і дати техніко-економічну оцінку його роботи.

*Об'єкт дослідження* – процес сепарації обчісаного вороху пшениці.

*Предмет дослідження* – закономірності впливу конструктивних і технологічних параметрів, а також кінематичних режимів функціонування робочого органу для сепарації обчісаного вороху пшениці на якісні та кількісні показники його роботи.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження виконані з використанням положень теоретичної механіки, диференціального й інтегрального числення, а також математичного моделювання. Результати експериментальних досліджень оброблені з використанням теорії ймовірностей і математичної статистики. Для визначення раціональних значень параметрів і режимів роботи використана методика планування багатофакторного експерименту.

#### **Наукова новизна одержаних результатів.**

Вперше отримано математичну модель ймовірності просіювання зерна крізь шар обчісаного вороху зернових, яка встановлює залежність між ймовірністю проходження зерна крізь ворох і відстанню між соломинами з урахуванням взаємного розташування соломин і відношенням розмірів зернівки до відстані між соломинами, що дозволяє вибрати критерії теоретичного обґрунтування параметрів і режимів функціонування робочого органу.

Удосконалено методику покомпонентної процедури аналізу функціонування робочого органу для сепарації обчісаного вороху пшениці, яка дає можливість теоретично обґрунтувати раціональні значення конструктивних параметрів і кінематичних режимів його роботи.

Отримано подальший розвиток дослідження рівнянь руху матеріальної точки (соломини) по похило-коливальній поверхні, які дозволяють моделювати її переміщення в залежності від зміни поєднань значень параметрів і режимів функціонування робочого органу.

На рівні новизни побудована математична модель у вигляді рівнянь регресії, яка встановлює залежність між технологічними та конструктивними параметрами, а також кінематичними режимами і показниками якості роботи робочого органу, що дало можливість експериментально обґрунтувати їх раціональні значення.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

Встановлено статистичні характеристики фракційного складу і біометрії кожного компонента обчісаного вороху пшениці, що дало можливість визначити ймовірність просіювання зерна крізь шари обчісаного вороху.

Визначено динамічний коефіцієнт тертя ковзання соломи по обчісаному вороху, обчісаного вороху по обчісаному вороху, соломи по металу і обчісаного вороху по металу, який був використаний при моделюванні руху соломини по решету.

Обґрунтовано раціональні значення технологічних і конструктивних параметрів, а також кінематичних режимів роботи сепаруючого робочого органу, які сприяли підвищенню ефективності його функціонування.

Розроблений робочий орган, встановлений на серійний ворохоочисник був впроваджений в аграрному приватному підприємстві ТЕРА ВОМ Мелітопольського району Запорізької області (акт проведення виробничих досліджень від

15.07.15 р.). Це дозволило поліпшити якість очищення обчісаного вороху, знизити втрати зерна зі сходових фракцій і підвищити технологічну надійність ворохоочисника.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи отримані здобувачем самостійно. У роботах, написаних у співавторстві, автору належить наступне: визначення та аналіз статистичних характеристик механіко-технологічних властивостей обчісаного вороху озимої пшениці [6, 15]; статистичний аналіз біометрії компонентів обчісаного вороху озимої пшениці [7]; отримання в польових умовах експериментальних даних, їх обробка та встановлення залежності продуктивності і якості роботи ворохоочисника скальператорного типу від подачі обчісаного вороху [9]; теоретичне обґрунтування кута нахилу експериментального решета [11]; аналіз регресійних моделей якісних показників функціонування сепаруючого робочого органу [10]; запропонована конструкція металника, обладнаного декою, який дозволяє здійснювати домолот обірваних колосків і тим самим поліпшити умови для подальшої сепарації обчісаного вороху. Дослідження проводилися в наукових лабораторіях ТДАТУ і в виробничих умовах навчально-дослідного господарства ТДАТУ «Лазурне», УкрНДІПВТТ ім. Л. Погорілого, а також на зернотоку приватного підприємства ТЕРА ВОМ Мелітопольського району, Запорізької області.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати роботи були заслухані та обговорені на:

1. XIII Міжнародній науковій конференції «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» присвяченої пам'яті академіка Леоніда Погорілого (сmt. Дослідницьке, Васильківський район, Київська обл., Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій ім. Леоніда Погорілого, 27-28 вересня 2012 року).

2. Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві» (м. Харків. Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, 21-22 березня 2013 року).

3. IX та X Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми, конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (м. Кіровоград, Кіровоградський національний технічний університет, 7-8 листопада 2013 року та 5-6 листопада 2015 року).

4. VI Міжнародній науково-технічній конференції «Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України присвяченої пам'яті академіка І. І. Мартиненка» (м. Мелітополь, Таврійський державний агротехнологічний університет, 10-14 червня 2015 року).

5. Всеукраїнських науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК півдня України» (м. Мелітополь, Таврійський державний агротехнологічний університет 2012-2015 роки).

6. Науково-технічній конференції науково-педагогічних працівників «Сучасні проблеми землеробської механіки» (м. Дніпропетровськ, Дніпропетровський державний аграрний університет, 25 лютого – 01 березня 2013 року).

**Публікації.** Результати наукових досліджень за темою дисертації опубліковані в 21 друкованій роботі (7,88 у.д.а.), у тому числі в 14 без співавторів (4,25 у.д.а.). У наукових фахових виданнях України опубліковано 12 статей (5,38 у.д.а.), у закордонних – 2 (0,69 у.д.а.). Результати досліджень представлені 4 тезами доповідей на конференціях (0,50 у.д.а.). За темою дисертації отримано 3 патенти України на корисну модель (1,31 у.д.а.).

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, 8 додатків і списку використаних джерел, викладена на 197 сторінках машинописного тексту, включає 99 рисунків і 39 таблиць. Список використаних джерел містить 118 найменувань з них 10 на іноземних мовах.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, вказано її зв'язок з науковими програмами, сформульовані цілі та завдання дослідження, викладені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** «Аналіз стану питань» виконано огляд робіт присвячених обґрунтуванню технології обчислення рослин на корені, теоретичні основи якої закладені проф. Шабановим П. А., досліджень фізико-механічних властивостей обчисаного вороху, а також аналіз конструкцій ворохоочисних машин і досліджень процесу сепарації зернових матеріалів.

Вагомий внесок у розробку основ сепарації внесли Горячкин В. П., Волик Р. М., Григор'єв С. М., Завгородній О. І., Заїка П. М., Кіреєв М. В., Ковальчук Ю. К., Кожуховский І. Е., Кроп Л. І., Кубишев В. А., Летошнев М. М., Михайлов Є. В., Павловський Г. Т., Пастушенко С. І., Тищенко Л. М., Ульріх М. М.

Розробці сепаруючих робочих органів і дослідженню технологічного процесу сепарації присвячені роботи Аблогіна М. М., Єрошенко Л. І., Михайлова Є. В., Сербія Є. К., Травіної Г. Є., Шкіндера В. М. та багатьох інших.

В ході огляду і аналізу робіт, виконаних іншими вченими були сформульовані мета і завдання досліджень.

У **другому розділі** «Статистичний аналіз механіко-технологічних властивостей обчисаного вороху пшениці» наведені програми і методики вивчення фракційного складу, біометрії окремих компонентів обчисаного вороху озимої пшениці, його щільності, динамічного коефіцієнта тертя ковзання, а також отримані результати досліджень.

При вивченні фракційного складу обчисаного вороху озимої пшениці встановлено, що він являє собою чотирьохкомпонентну суміш, в якій міститься вільного зерна 39...81%, солом'ястих частинок 12...54%, полови 5...14,1% і обірваних колосків 1,2...7,8%.

При дослідженні розмірних характеристик компонентів обчисаного вороху був проведений статистичний аналіз біометричних параметрів зернівки, соломин і обірваних колосків.

Виявлено, що щільність обчисаного вороху озимої пшениці знаходиться в діапазоні 80...178 кг/м<sup>3</sup>, при цьому її математичне очікування складає 129 кг/м<sup>3</sup>.

Встановлено, що розподілення значень змісту в обчисаному воросі кожного компонента, біометричних характеристик компонентів вороху, а також його

щільності підлягає нормальному закону розподілення випадкових величин.

В результаті експериментальних досліджень було визначено динамічний коефіцієнт тертя ковзання, який чисельно дорівнюється при терті соломи по обчисаному вороху 0,33, обчисаного вороху по обчисаному вороху 0,39, соломи по металу 0,26 і обчисаного вороху по металу 0,28.

У третьому розділі «Теоретичне обґрунтування робочого органу для сепарації обчисаного вороху» приведена математична модель просіювання зерна крізь шари обчисаного вороху і її дослідження, моделювання процесу переміщення солонини по робочому органу, а також теоретичне обґрунтування його параметрів і режимів роботи.

Виходячи з робочої гіпотези процес очищення обчисаного вороху можна виконати в два етапи. На першому етапі перерозподілити зернівки з верхніх шарів вороху в нижній, а на другому етапі відсепарувати попередньо сегрегований зерносоломістий матеріал. Таким чином, ворох розділиться на дві фракції: великі солом'ясті домішки змішані з обірваними колосками і вільне зерно з половиною і дрібними домішками.

Для забезпечення виконання даних операцій пропонується робочий орган, який складається з сегрегатора 1 і решета 2 рис. 1.

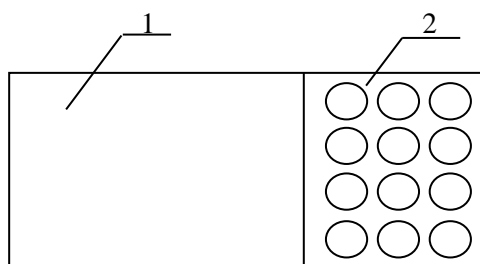


Рис. 1. Робочий орган для сепарації обчисаного вороху: 1 – сегрегатор; 2 – решето.

Сегрегатор являє собою суцільну металеву поверхню. На поверхні решета виконані круглі отвори для проходу зернових фракцій.

Ефективність очищення обчисаного вороху залежить від його сегрегації, яка напряму пов'язана з просіюванням зернівок крізь шари обчисаного вороху.

У теоретичному плані це завдання полягає у встановленні залежності між геометричними розмірами соломин і зернівок і ймовірністю проходження зернівки крізь шар соломи.

Для вирішення поставленого завдання використовувалась методика геометричного обчислення ймовірностей.

Побудова математичної моделі містила в собі розгляд трьох випадків:

– відстань між соломинами більше суми довжини зернівки і діаметра соломини тобто  $2\rho > 2l + 2r_c$ ;

– відстань між соломинами менше суми діаметру соломини і довжини зернівки, а також більше суми діаметру соломини і ширини зернівки тобто  $2r_c + 2r_s < 2\rho \leq 2l + 2r_c$ ;

– відстань між соломинами менше суми діаметру соломини і ширини зернівки, тобто  $2\rho < 2r_c + 2r_s$ ,

де  $2\rho$  – відстань між всіями соломинок;

$2l$  – довжина зернівки;

$2r_c$  – діаметр соломини;

$2r_s$  – ширина зернівки.

Для першого випадку при визначенні ймовірності непросіювання були враховані чотири можливих варіанти взаємного розташування соломин:

- соломини паралельні між собою;
- одна з соломин знаходиться під нахилом до іншої;
- обидві соломини знаходяться під нахилом по відношенню один до одного;
- соломини перетинаються.

Загальна ймовірність непросіювання зернівки крізь дві соломини для першого випадку визначиться з виразу

$$p^I = \left( \frac{r_c}{\rho} + \frac{r_c}{\tau_{[0,5;1]}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1)}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1)}\rho} \right) / 4 = \frac{r_c (\tau_{[0,5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0,5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0,5;1]} \tau_{(0;1)}\rho}, \quad (1)$$

де  $p^I$  – ймовірність непросіювання для першого випадку;

$\tau$  – параметр, який характеризує зміну  $\rho$ , при використанні параметра  $\tau$ , ймовірність являє собою середнє арифметичне ймовірностей в тих формулах, де використовувалися різні значення параметра  $\tau$ .

Згідно виразу (1) був проведений розрахунок ймовірності непросіювання для першого випадку, потім за виразом  $p = 1 - p^I$  була визначена ймовірність просіювання і побудований графік залежності повної ймовірності просіювання від відстані між соломинами (рис. 2).

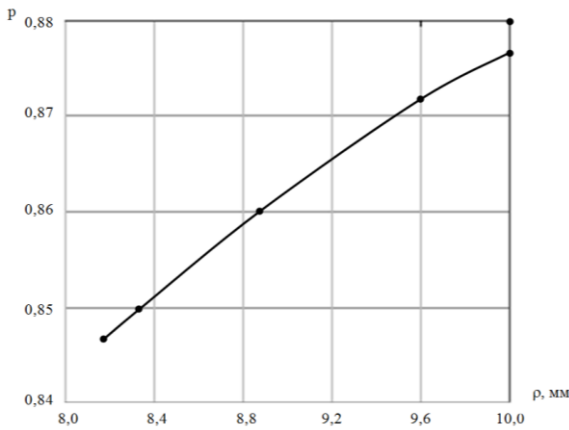


Рис. 2. Залежність повної ймовірності просіювання від відстані між соломинами для першого випадку.

При розгляді другого випадку були враховані два можливих варіанти:

– крива розподілу ймовірності непросіювання не перетинає пряму  $x = r_c$ , тобто

$$a < r_c + r_3 + (l - r_3) - \rho \leq \rho - r_c;$$

– крива розподілу ймовірності просіювання перетинає пряму  $x = r_c$ , тобто

$$a < r_c + r_3 + (l - r_3) - \rho \leq \rho - r_c.$$

Ймовірність непросіювання для обох варіантів другого випадку визначалася зі співвідношень

$$p^{II} = \left( \frac{r_c}{\rho} + \frac{r_c}{\tau_{[0,5;1]}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1)}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1)}\rho} \right) / 4 + \left( \frac{l - r_3}{\pi\rho} + \frac{l - r_3}{\pi\tau_{[0,5;1]}\rho} + \frac{l - r_3}{\pi\tau_{(0;1)}\rho} + \frac{l - r_3}{\pi\tau_{(0;1)}\rho} \right) \times \left[ \sqrt{1 - (\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I \right] / 4 = \quad (2)$$

$$= \frac{r_c (\tau_{[0,5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0,5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0,5;1]} \tau_{(0;1)}\rho} + \frac{(l - r_3) (\tau_{[0,5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0,5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0,5;1]} \tau_{(0;1)}\pi\rho} \left[ \sqrt{1 - (\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I \right],$$



$$\begin{aligned}
p''' = & \left( \frac{r_c}{\rho} + \frac{r_c}{\tau_{[0.5;1]}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1)}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1)}\rho} \right) / 4 + \left( \frac{l-r_3}{\pi\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{[0.5;1]}\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{(0;1)}\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{(0;1)}\rho} \right) \times \\
& \times \left[ \sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I - \sqrt{1-(\lambda^{II})^2} - \lambda^{II} \arccos \lambda^{II} \right] / 4 = \frac{r_c(\tau_{[0.5;1]}\tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]}\tau_{(0;1)}\rho} + \quad (3) \\
& + \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]}\tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]}\tau_{(0;1)}\pi\rho} \times \left[ \sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I - \sqrt{1-(\lambda^{II})^2} - \lambda^{II} \arccos \lambda^{II} \right],
\end{aligned}$$

де  $p''$  – ймовірність непросіювання зернівки для першого варіанту;

$p'''$  – ймовірність непросіювання зернівки для другого варіанту;

$\lambda^I$  – позначення, яке чисельно дорівнює  $\lambda^I = \frac{a-r_3}{l-r_3}$ ;

$\lambda^{II}$  – позначення, яке дорівнює  $\lambda^{II} = \frac{2a-r_3}{l-r_3}$ ;

$a$  – позначення, яке дорівнює  $\rho - r_c$ .

Використовуючи формули (2) і (3) була визначена ймовірність непросіювання, а потім за виразами  $P_{\text{прос}} = 1 - p''$  та  $P_{\text{прос}} = 1 - p'''$  обчислена ймовірність просіювання зернівки крізь дві соломини, і за отриманими результатами були побудовані графіки залежності ймовірності просіювання зернівки для другого випадку рис. 3 і рис. 4.

Для третього випадку ймовірність непросіювання зернівки дорівнює 1.

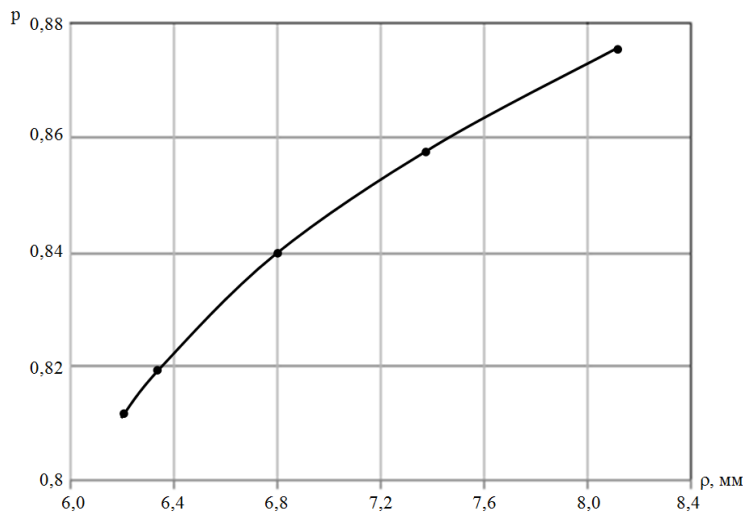


Рис. 3. Графік залежності ймовірності просіювання зернівки від відстані між соломини для другого випадку за умови, що крива С не перетинає пряму  $x = r_c$ .

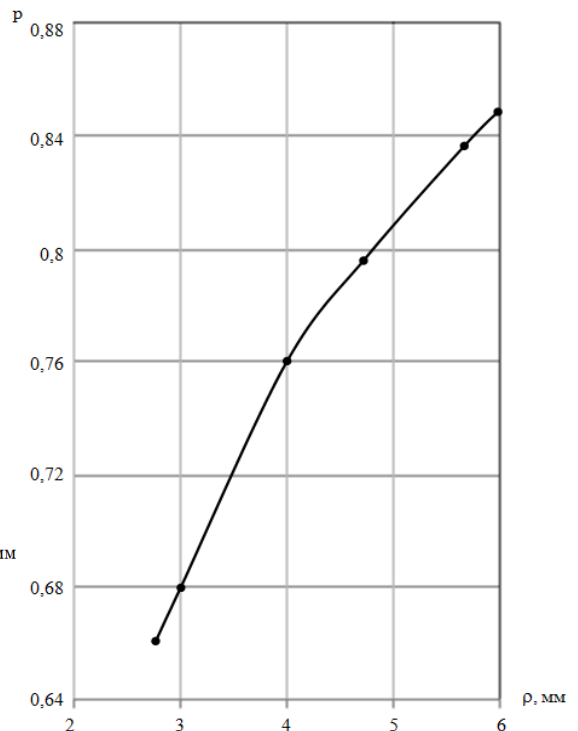


Рис. 4. Графік залежності ймовірності просіювання зернівки від відстані між соломини для другого випадку за умови, якщо крива С перетинає пряму  $x = r_c$ .

Підсумкова ймовірність непросіювання зернівки залежить від ймовірності появи того чи іншого випадку і підвипадку взаємного розташування соломин і визначається зі співвідношення

$$\begin{aligned}
 p_e = & \left( \frac{r_c (\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \rho} + \frac{r_c (\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \rho} + \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \pi \rho} \right) \times \\
 & \times \left[ \sqrt{1-(\lambda')^2} - \lambda' \arccos \lambda' \right] + \frac{r_c (\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \rho} + \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \pi \rho} \times \\
 & \times \left[ \sqrt{1-(\lambda')^2} - \lambda' \arccos \lambda' - \sqrt{1-(\lambda'')^2} - \lambda'' \arccos \lambda'' \right] + 1) / 4 = \left( \frac{3r_c (\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \rho} + \right. \quad (4) \\
 & + \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \pi \rho} \times \left[ 2\sqrt{1-(\lambda')^2} - 2\lambda' \arccos \lambda' - \sqrt{1-(\lambda'')^2} - \lambda'' \arccos \lambda'' \right] + 1) / 4 = \\
 & = \frac{(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{16\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \pi \rho} \times (3\pi r_c + (l-r_3)) \left[ 2(\sqrt{1-(\lambda')^2} - \lambda' \arccos \lambda') - \sqrt{1-(\lambda'')^2} - \lambda'' \arccos \lambda'' \right] + 0,25.
 \end{aligned}$$

Як видно з отриманої моделі і подальшого моделювання основним критерієм ймовірності просіювання зернівки крізь шар соломи є відстань між соломинами, і чим воно більше, тим ймовірність просіювання вище, і процес сегрегації йде інтенсивніше.

Робочий орган являє собою похилу коливачу поверхню, коливальний рух якої генерується ексцентриковим валом. За один оборот ексцентрикового вала соломини переміщуються вниз, а потім вгору. Повне переміщення соломини визначиться

$$\rho = 4rfsin(\alpha + \beta) + gt^2sin\alpha, \quad (5)$$

де  $\rho$  – повне переміщення соломини за один оборот ексцентрикового вала, м;

$r$  – амплітуда коливань, м;

$\alpha$  – кут нахилу робочого органу, град;

$\beta$  – кут направленості коливань, град;

$f$  – динамічний коефіцієнт тертя соломини;

$t$  – період повного обороту ексцентрикового валу, с;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Як видно з наведеної формули на процес переміщення соломини по робочому органу впливають чотири фактори: кут нахилу робочого органу  $\alpha$ , кут спрямованості коливань  $\beta$ , амплітуда коливань  $r$  і частота коливань  $\omega$ , яка пов'язана з періодом повного обороту співвідношенням  $\omega = \frac{2\pi}{t}$ .

Наведене рівняння було використано для моделювання процесу переміщення соломини по робочому органу. Метою моделювання було виявлення комбінацій значень параметрів і режимів функціонування робочого органу, які сприяють максимальному повному переміщенню соломини. Максимальне повне переміщення соломини матиме місце в тому випадку, якщо соломини вниз переміститися на максимальну відстань, а вгору – на мінімальну.

Теоретичне обґрунтування параметрів і режимів функціонування робочого органу виконувалося методами математичного аналізу, а саме дослідженням відомих рівнянь руху матеріальної точки (соломини) по похилій коливачій поверхні.

Дослідження показали, що найбільше значення функції  $\rho_{BH} = f(\alpha)$  спосте-

рігається при

$$\alpha_{\text{найб}} = \arctg \frac{2rf - 2r\sin\beta + \frac{gt^2}{2}}{2r\cos\beta + 2rf\sin\beta - \frac{gt^2}{2}f}. \quad (6)$$

Кут  $\alpha$  відповідний найменшим значенням функції  $\rho_{\text{вв}} = f(\alpha)$  знаходиться зі співвідношення

$$\alpha_{\text{найм}} = \arctg \frac{2r\sin\beta + 2rf\cos\beta + \frac{gt^2}{2}}{-2r\cos\beta + 2rf\sin\beta + \frac{gt^2}{2}f}. \quad (7)$$

Найбільше повне переміщення соломини має місце при

$$\alpha = \arctg \frac{4rf\cos\beta + gt^2}{4rf\sin\beta}. \quad (8)$$

Графічною інтерпретацією отриманих аналітично результатів є графік залежності переміщення соломини за один оборот ексцентрикового вала від кута нахилу робочого органу (рис. 5).

Рух соломини вниз показано кривими 1, 3 і 5, кожна з кривих відображає рух соломини вниз при різних частотах. Ці криві монотонно зростають і найбільше значення мають при  $\alpha = 7^\circ$ . Рух соломини вгору показано кривими 2, 4, 6, які монотонно зменшуються і досягають найменшого значення при  $\alpha = 7^\circ$ . Повне переміщення соломини зображено кривими 7, 8 і 9. Найменше значення спостерігається при  $\alpha = 3^\circ$ , а найбільше при  $\alpha = 7^\circ$ .

Слід зазначити, що графічні результати повністю збігаються з розрахунковими, отриманими за формулами (6, 7, 8).

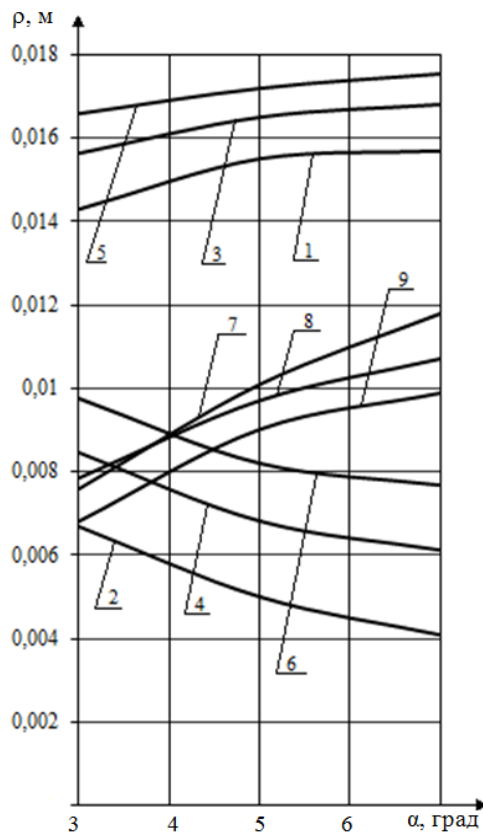


Рис. 5. Залежність переміщення соломини за один оборот ексцентрикового вала при різних частотах його обертання, від кута нахилу робочого органу.

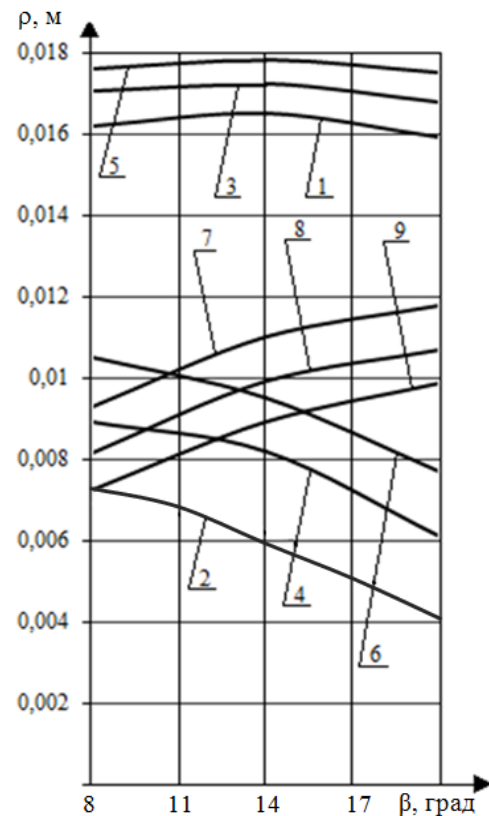


Рис. 6. Залежність переміщення соломини за один оборот ексцентрикового вала, при різних частотах його обертання, від кута спрямованості коливань,  $\beta$ .

Як видно з графіків найбільше повне переміщення соломини спостерігається при куті нахилу  $\omega = 45 \text{ c}^{-1}$ , зі збільшенням частоти коливань має місце тенденція до його зменшення.

Використовуючи аналітичну методику було досліджено вплив кута спрямованості коливань  $\beta$  на переміщення соломини. Результати розрахунків показали, що найбільше повне переміщення соломини має місце при  $\beta = 20^\circ$ . Були побудовані графіки залежностей  $\rho_{\text{вн}} = f(\beta)$ ,  $\rho_{\text{вв}} = f(\beta)$  та  $\rho = f(\beta)$ , які наведені на рис. 6.

При русі соломини вниз (криві 1, 3, 5) її переміщення змінюється в залежності від збільшення кута  $\beta$  незначно при всіх частотах обертання ексцентрикового вала.

Рух соломини вгору представлено кривими 2, 4, 6 – вони монотонно зменшуються при збільшенні кута спрямованості коливань і досягають свого найменшого значення при  $\beta = 20^\circ$ .

Графіки функції  $\rho = f(\beta)$ , яка характеризує повне переміщення соломини, наведені на кривих 7, 8, 9. Ці криві монотонно зростаючі досягають найбільшого значення при  $\beta = 20^\circ$ . При частоті обертання ексцентрикового вала  $\omega_1 = 45 \text{ c}^{-1}$  повне переміщення соломини за один оборот ексцентрикового вала дорівнює 0,012 м, при  $\omega_2 = 50 \text{ c}^{-1}$   $\rho = 0,011$  і нарешті при  $\omega_3 = 55 \text{ c}^{-1}$   $\rho = 0,0099$  м, тобто зі збільшенням частоти обертання ексцентрикового вала йде зменшення переміщення. Тому найбільш сприятливий для сегрегації, режим роботи при  $\beta = 20^\circ$  і частоті обертання ексцентрикового вала  $\omega = 45 \text{ c}^{-1}$ .

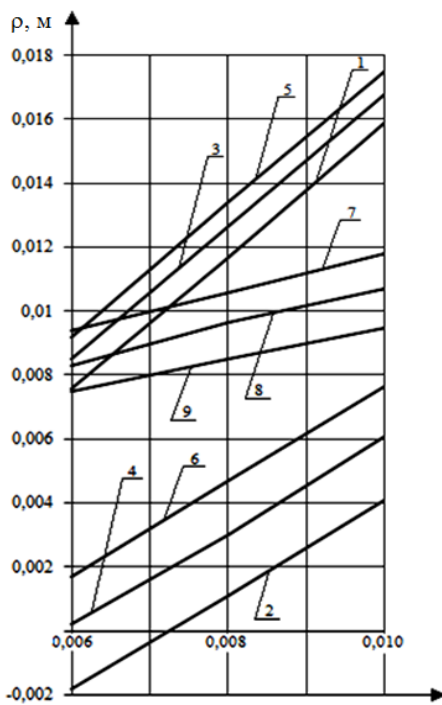


Рис. 7. Залежність переміщення соломини від амплітуди коливань за один оборот ексцентрикового вала, при різних частотах обертання.

При дослідженні впливу амплітуди коливань на переміщення соломини були продиференційовані функції  $\rho_{\text{вн}} = f(\beta)$ ,  $\rho_{\text{вв}} = f(\beta)$  та  $\rho = f(\beta)$  за амплітудою  $r$ , за умови, що  $\alpha$ ,  $\beta$  та  $t$  постійні, в результаті було отримано

$$\frac{d\rho_{\text{вн}}}{dr} = 2 \cdot [\cos(\alpha + \beta) + f \sin(\alpha + \beta)] = \text{const}, \quad (9)$$

$$\frac{d\rho_{\text{вв}}}{dr} = 2[\cos(\alpha + \beta) - f \sin(\alpha + \beta)] = \text{const}, \quad (10)$$

$$\frac{d\rho}{dr} = 4f \sin(\alpha + \beta) = \text{const}. \quad (11)$$

У всіх випадках функція переміщення лінійна і монотонно зростаюча.

Графіки залежності переміщення соломини від амплітуди коливань наведені на рис. 7. Як видно з рисунка 8 найбільше повне переміщення соломини має місце при амплітуді  $r = 0,01$  м і частоті коливань  $\omega = 45 \text{ c}^{-1}$ .

Таким чином в результаті теоретичних досліджень було виявлено, що найбільш сприятливі для сегрегації обчисаного вороху умови при яких:

– кут нахилу сепаруючого робочого органу  $\alpha = 7^\circ$ ;

- кут спрямованості коливань  $\beta = 20^\circ$ ;
- амплітуда коливань  $r = 0,01$  м;
- частота коливань  $\omega = 45$  с<sup>-1</sup>.

У четвертому розділі «Програма і методика експериментальних досліджень» представлена програма експериментальних досліджень, а також методика проведення повнофакторного експерименту і проведення виробничої перевірки ворохоочисника з експериментальним сепаруючим робочим органом.

Лабораторні дослідження проводилися на експериментальній установці загальний вигляд якої наведено на рис. 8, а її конструктивно-технологічна схема на рис. 9.

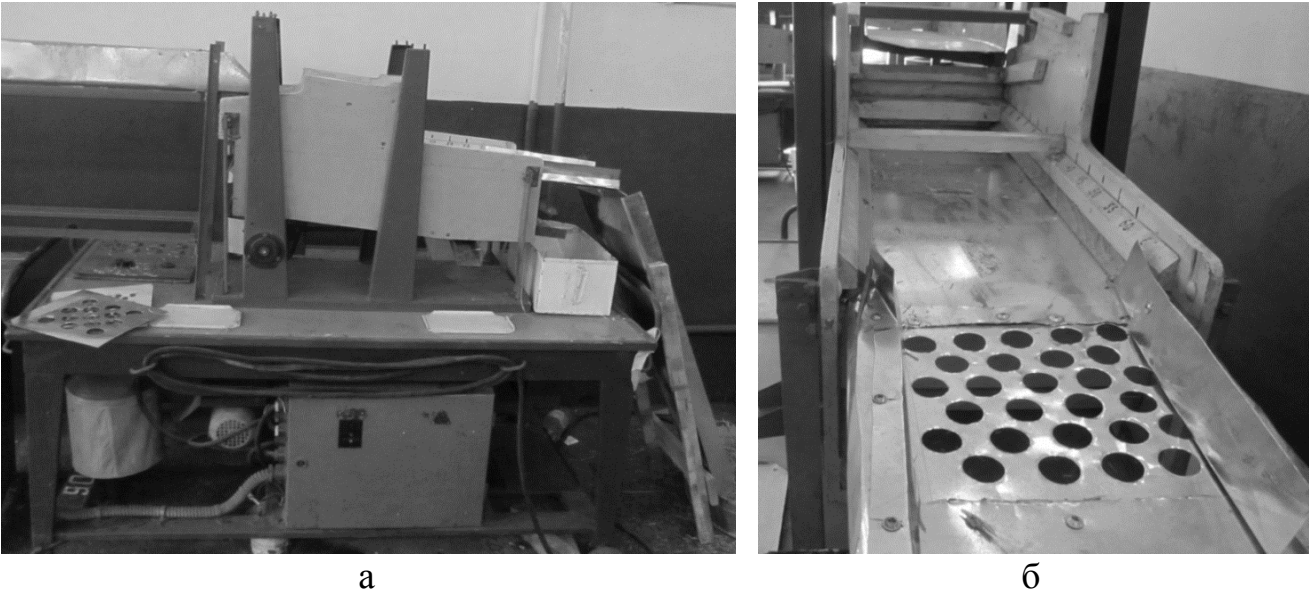


Рис. 8. Загальний вигляд експериментальної лабораторної установки: а – вид збоку; б – вид зверху.

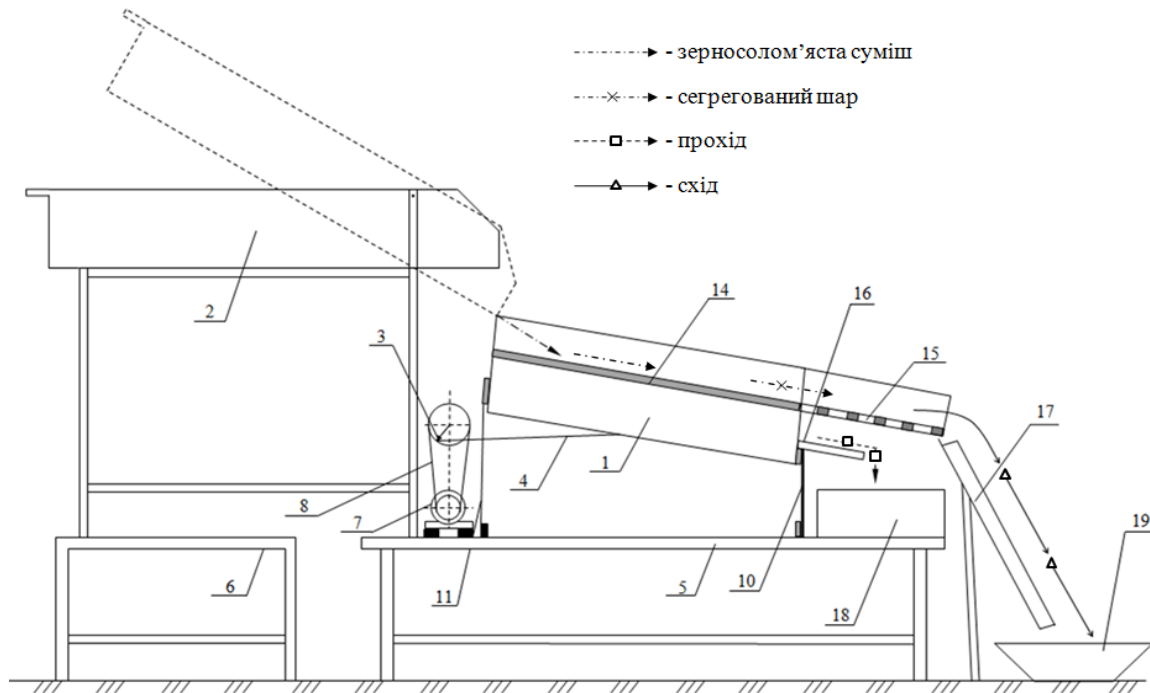


Рис. 9. Конструктивно-технологічна схема лабораторної установки. Робочий процес лабораторної установки здійснюється наступним чином.

Штучно приготована суміш завантажувалася на транспортер 2. Звідки вона надходила на сегрегатор 14, який разом з решетним станом здійснював коливальний рух. За рахунок коливань солом'ясті частки переміщуючись утворювали порожнечі крізь які просіювалось зерно вниз і збиралося в нижній частині зерносолом'ястого шару. Сегрегований шар надходив на решето 15, де розділявся на дві фракції. Великі солом'ясті домішки і обірвані колоски йшли сходом з решета і по похилому лотку 17 потрапляли в пробовідбірник 19.

Зерно проходило крізь отвори решета і по похилому лотку 16 потрапляло в пробовідбірник 18. Таким чином, зерносолом'ятий матеріал розділявся на дві фракції сходову і проходову.

**У п'ятому розділі** «Результати експериментальних досліджень робочого органу для сепарації обчисаного вороху пшениці і його техніко-економічна оцінка», наведені моделі регресії процесу сепарації обчисаного вороху пшениці, аналіз поверхонь відгуку якісних показників робочого органу, експериментальні залежності якісних показників його функціонування від технологічних, конструктивних і кінематичних параметрів, а також результати виробничої перевірки ворохоочисника з експериментальними робочими органами та розрахунок техніко-економічних показників.

В результаті реалізації плану Боксу-Бенкіна була отримана математична модель у вигляді рівнянь регресії другого ступеню

$$y_1 = 0,614 - 0,158x_1 - 0,093x_2 + 0,132x_3 - 0,00175x_2x_3 + 0,061x_1^2 - 0,041x_2^2 - 0,0665x_3^2 \quad (12)$$

$$y_2 = 0,6 - 0,105x_1 - 0,104x_2 - 0,054x_3 + 0,015x_1x_2 + 0,03x_1x_3 + 0,01x_2x_3 - 0,046x_1^2 + 0,049x_2^2 - 0,009x_3^2,$$

де  $x_1$  – питома подача зерносолом'ястого матеріалу на робочий орган;

$x_2$  – частота коливань робочого органу;

$x_3$  – діаметр отворів решета;

$y_1$  – функція відгуку, що характеризує зміну коефіцієнта сепарації залежно від змін факторів;

$y_2$  – функція відгуку, яка описує характер зміни коефіцієнта ефективності виділення домішок.

Перевірка адекватності отриманої моделі за критерієм Фішера показала, що обидва рівняння адекватно описують процес сепарації зерносолом'ястого вороху.

Подальший аналіз рівнянь регресії полягав у проведенні їх досліджень на найбільше і найменше значення, в результаті чого були визначені значення факторів, при яких функції відгуку приймають найбільше значення, а потім були побудовані поверхні відгуку. Аналіз впливу зміни факторів на якість роботи сепаруючого робочого органу виконувався шляхом моделювання.

Методика моделювання була наступною. У рівняння (12) підставлялися фіксовані значення факторів  $x_2$  і  $x_3$ , при яких функції відгуку мають найбільше значення. Для першого рівняння регресії  $x_2 = -1$  і  $x_3 = 1$ , а для другого рівняння  $x_2 = -1$  і  $x_3 = -1$ . В результаті були отримані дві функції, які залежать тільки від одного фактора  $x_1$  тобто питомої подачі

$$y_1 = 0,733 - 0,158x_1 + 0,061x_1^2, \quad (13)$$

$$y_2 = 0,808 - 0,15x_1 - 0,046x_1^2.$$

Далі в кожне з рівнянь підставлялися значення питомої подачі в межах -1

до 1. А потім були побудовані графіки (рис. 10...11), які характеризують зміну якісних показників решіт від питомої подачі. Для зручності роботи з графіком кодовані значення фактора  $x_1$  переведені в натуральні.

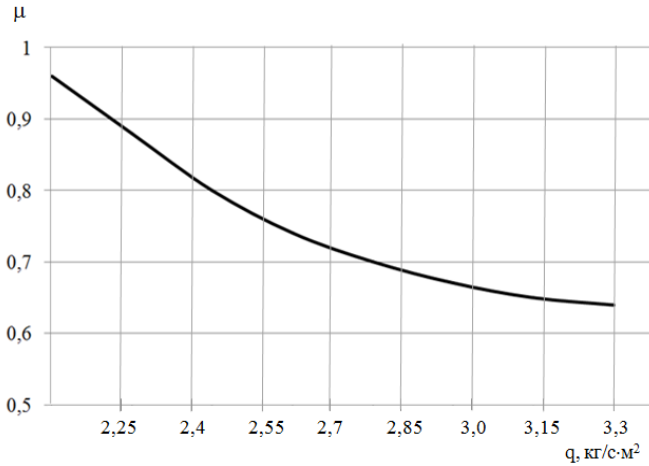


Рис. 10. Графік залежності коефіцієнта сепарації від питомої подачі.

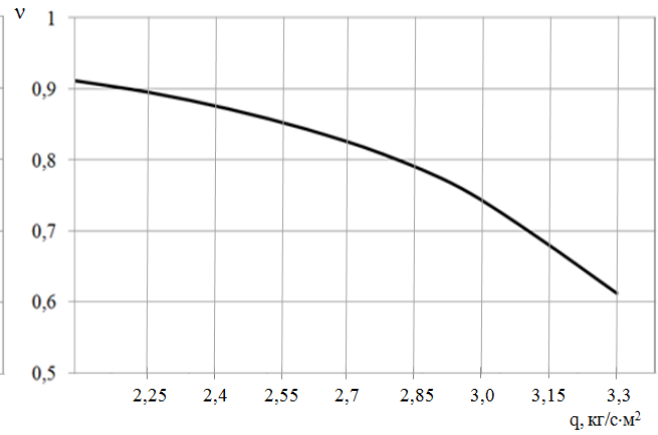


Рис. 11. Графік залежності коефіцієнта ефективності виділення домішок від питомої подачі.

Як видно з наведених графіків, найбільш ефективним режимом роботи сепаруючого робочого органу є питома подача  $2,1 \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$ , при її збільшенні коефіцієнт сепарації знижується і при  $3,3 \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$  досягає свого найменшого значення  $0,636$  і коефіцієнт ефективності виділення домішок також знижується до рівня  $0,612$ .

Аналіз впливу частоти коливань робочого органу на ефективність його роботи проводився за вищевикладеною методикою. Були отримані дві функції, аргументами в яких була частота коливань

$$\begin{cases} y_1 = 0,899 - 0,095x_2 - 0,041x_2^2 \\ y_2 = 0,734 - 0,129x_2 + 0,049x_2^2. \end{cases} \quad (14)$$

Використовуючи ці рівняння були побудовані графіки залежностей коефіцієнта сепарації (рис. 12) і коефіцієнта ефективності виділення домішок (рис. 13) від частоти коливань сепаруючого робочого органу.

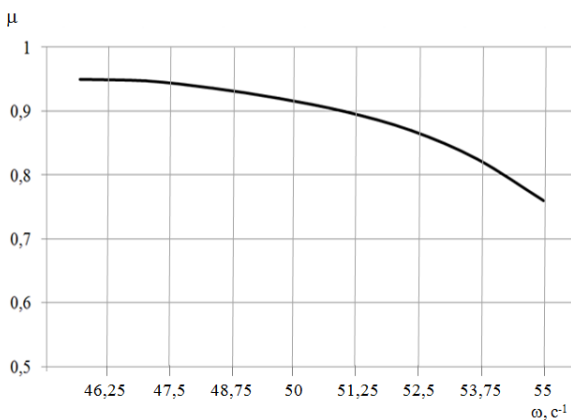


Рис. 12. Графік залежності коефіцієнта сепарації від частоти коливань робочого органу.

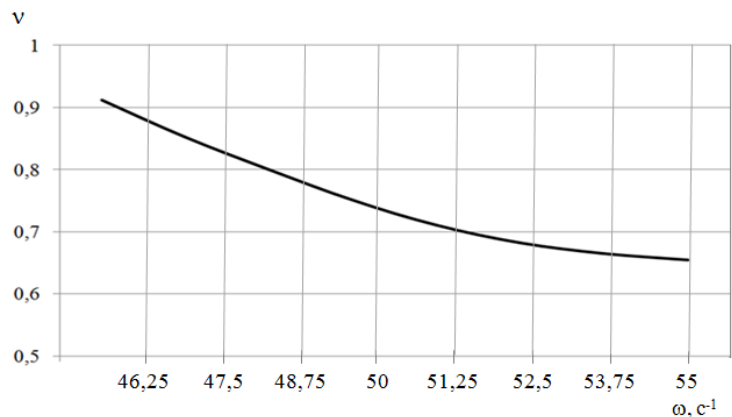


Рис. 13. Графік залежності коефіцієнта ефективності виділення домішок від частоти коливань робочого органу.



Як видно з наведеного графіка (рис. 12) коефіцієнт сепарації зменшується зі збільшенням частоти коливань. Найбільше значення коефіцієнта сепарації 0,95 спостерігається при частоті коливань робочого органу  $45\text{с}^{-1}$ , а найменше значення коефіцієнта сепарації 0,76 буде при частоті  $55\text{с}^{-1}$ . Характер протікання графіка залежності коефіцієнта ефективності виділення домішок свідчить про те, що функція монотонно спадаюча.

Найбільше значення 0,912 ця функція має при частоті коливань робочого органу  $45\text{с}^{-1}$ , а найменше 0,654 при частоті  $55\text{с}^{-1}$ . Отже, можна зробити такий висновок, найбільш раціональним кінематичним режимом функціонування робочого органу є його частота коливань, яка дорівнює  $45\text{с}^{-1}$ .

Третій етап моделювання був пов'язаний з дослідженням впливу діаметра отворів решіт на якісні показники їх роботи. Аналогічним чином були отримані дві функції, які залежать від діаметра решіт і по ним були побудовані графіки (рис. 14)

$$\begin{aligned} y_1 &= 0,885 + 0,134x_3 - 0,0665x_3^2, \\ y_2 &= 0,827 - 0,094x_3 - 0,009x_3^2. \end{aligned} \quad (15)$$

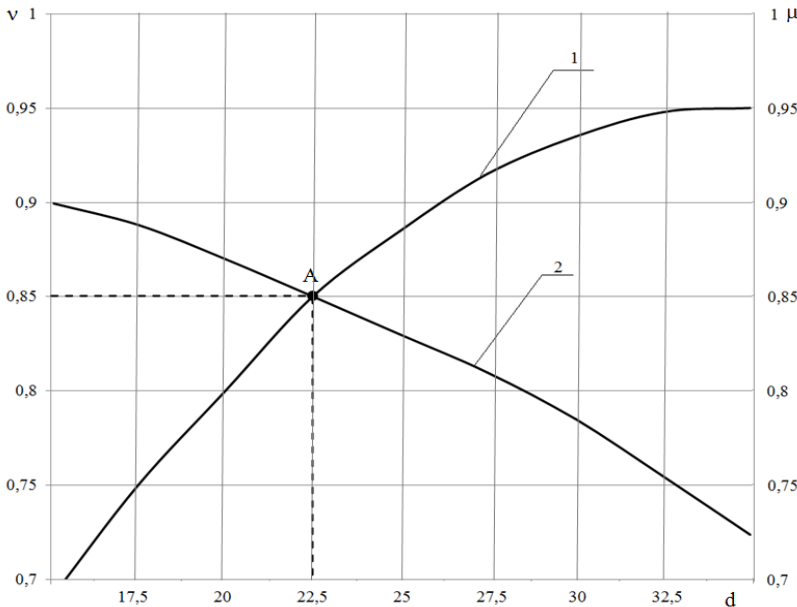


Рис. 14. Графік залежності якісних показників роботи решіт від діаметра їх отворів.

Як видно з рис. 14 крива 1, яка характеризує зміну коефіцієнта сепарації монотонно зростає зі збільшенням діаметра отворів решіт, а крива 2, яка є графіком залежності коефіцієнта ефективності виділення домішок, при цьому монотонно убуває. Крива 1 і крива 2 перетинаються в точці А, ця точка є такою, що задовольняє однієї й іншій кривій. Точка А має координати на осі абсцис 22,5, а на осі ординат 0,85.

Таким чином, при діаметрі отворів решіт рівному 22,5 мм коефіцієнт сепарації дорівнює 0,85 і коефіцієнт ефективності виділення домішок дорівнює також 0,85.

В результаті проведеного моделювання встановлено, що найбільш прийнятним діаметром отворів решета є діаметр 22,5 мм. З метою спрощення виготовлення решіт можна прийняти діаметр, який дорівнює 23 мм.

Для якісної і кількісної оцінки функціонування сепаруючого робочого органу були проведені виробничі випробування. Робочий орган був змонтований на ворохоочиснику. Програма випробувань включала в себе визначення статистичних характеристик продуктивності, коефіцієнта сепарації і коефіцієнта ефективності виділення домішок. Отримані результати виробничої перевірки наведені в таблиці 1.



Результати виробничої перевірки ворохоочисника з експериментальними решетами

| Показники роботи ворохоочисника           | Статистичні характеристики          |                                       |                        |                         |                     |
|---|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|
|   | середньо-арифметичне значення, кг/с | середньо-квадратичне відхилення, кг/с | коефіцієнт варіації, % | абсолютна похибка, кг/с | відносна похибка, % |
| Продуктивність                            | 6,04                                | 0,416                                 | 6,9                    | 0,087                   | 1,44                |
| Коефіцієнт сепарації                      | 0,93                                | 0,02                                  | 2,15                   | 0,0042                  | 0,45                |
| Коефіцієнт ефективності виділення домішок | 0,906                               | 0,022                                 | 2,43                   | 0,0046                  | 0,51                |

Розрахунок техніко-економічних показників дозволив визначити річний економічний ефект, який дорівнює 56645 грн.

### ВИСНОВКИ

1. В результаті дослідження фракційного складу встановлено що: обчислений ворох зернових колосових є чотирьохкомпонентною сумішшю, яка складається з вільного зерна, соломи, полови і обірваних колосків, причому математичне очікування змісту вільного зерна в обчисаному воросі пшениці складає 53,77%, соломи 33,2%, полови 8,86%, обірваних колосків 4,13%, а середнє значення довжини, ширини і товщини зернівки 6,7 мм, 2,33 і 2,78 мм, в той же час середня довжина соломини склала 254 мм, а обірваного колоса 88,9 мм. Отримані результати дають можливість визначити ймовірність просіювання вільного зерна крізь шари обчисаного вороху.

2. Визначено динамічний коефіцієнт тертя ковзання, який чисельно дорівнює при терті соломи по обчисаному вороху 0,33, обчисаного вороху по обчисаному вороху – 0,39, соломи по металу 0,26 і обчисаного вороху по металу, який був використаний при моделюванні руху соломини по решету.

3. Побудовано математичну модель просіювання зерна крізь шар обчисаного вороху, яка встановлює залежність між ймовірністю проходження зерна крізь шари вороху і відстанню між соломиною з урахуванням взаємного розташування соломи і відношенням розмірів зернівки до відстані між соломинами, яка дозволяє встановити, що:

– в разі, коли відстань між соломинами більше довжини зернівки і діаметра соломини, ймовірність просіювання зернівки складає 0,875 за умови, що відстань між соломинами дорівнює 10 мм;

– якщо відстань між соломинами менше суми діаметру соломини і довжини зернівки і одночасно більше суми діаметру соломини і ширини зернівки, то ймовірність проходження зернівки крізь соломини знаходиться в межах 0,85...0,877 при відстані між соломинами 6,0...8,05 мм;

– за умови, що відстань між соломинами менше суми діаметру соломини і ширини зернівки ймовірність просіювання як при горизонтальному розташуванні зернівки, так і при вертикальному дорівнюється нулю.

4. Розроблено методику покомпонентної процедури аналізу функціонування сепаруючого робочого органу, яка дала можливість теоретично обґрунтувати ра-

ціональні значення параметрів і режимів його роботи, а саме:

- кут нахилу сепаруючого робочого органу  $\alpha = 7^\circ$ ;
- кут спрямованості коливань  $\beta = 20^\circ$ ;
- амплітуду коливань  $r = 0,01$  м;
- частоту коливань  $\omega = 45\text{с}^{-1}$ .

5. У результаті експериментальних досліджень отримана регресійна модель, яка встановлює залежність якісних показників функціонування робочого органу від параметрів і режимів його роботи, аналіз якої дозволив виявити раціональні їх значення:

- діаметр отворів решіт 23 мм;
- питому подачу обчисаного вороху  $2,1$  кг/с·м<sup>2</sup>;
- частоту коливань решіт  $45\text{с}^{-1}$ .

6. Виробничою перевіркою ворохоочисника, оснащеного експериментальними робочими органами встановлено, що середнє значення продуктивності складає  $21,7$  т/год., при цьому математичне очікування коефіцієнта сепарації  $0,93$ , а коефіцієнта ефективності виділення домішок –  $0,906$ . Це дозволяє отримати економічний ефект в розмірі  $56645$  грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті у наукових фахових виданнях України*

1. Леженкін І. Доробка обчисаного вороху зернових на фураж / І. Леженкін // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України; зб. наукових праць Українського науково-дослідного інституту випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва ім. Леоніда Погорілого. – Дослідницьке, 2012. – Вип. 16 (30). – Книга 1 «Сільськогосподарська техніка ХХІ: конструювання, випробування, прогнозування». – С. 437-440.

2. Леженкин И. А. Анализ содержания оборванных колосков в очесанном ворохе озимой пшеницы / И. А. Леженкин // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. – Вип. 12, т. 5. – С. 149-154.

3. Леженкин И. А. Статистический анализ содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы / И. А. Леженкин // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2013. – Вип. 13, т. 2. – С. 183-189.

4. Леженкин И. А. Статистическая модель содержания половы в очесанном ворохе озимой пшеницы / И. А. Леженкин // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. – Харків, 2013. – Вип. 132. Технічні системи і технології тваринництва. – С. 355-360.

5. Леженкин И. А. Математическая модель содержания соломы в очесанном ворохе озимой пшеницы / И. А. Леженкин // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2013. – Вип. 13, т. 3. – С. 57-62.

6. Кюрчев С. В. Статистические модели механико-технологических свойств очесанного вороха озимой пшеницы / С. В. Кюрчев, И. А. Леженкин // Конструювання, виробництво та експлуатація с.-г. машин; загальнодерж. міжвідомч. науково-техніч. зб. – Кіровоград, 2013. – Вип. 43. – Ч. 1. – С. 297-302.

7. Кюрчев С. В. Статистичний аналіз біометричних характеристик компонентів обчисаного вороху зернових / С. В. Кюрчев, І. О. Леженкін // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2014. – Вип. 14, т. 2. – С. 31-36.

8. Леженкин И. А. Статистическая модель плотности очесанного вороха озимой пшеницы / И. А. Леженкин // Конструювання, виробництво та експлуатація с.-г. машин: загальнодерж. міжвідомч. науково-техніч. зб. – Кіровоград, 2012. – Вип. 42. – Ч. II. – С. 202-207.

9. Кравчук В. Результати польових випробувань експериментального очисника обчисаного вороху зернових / В. Кравчук, І. Леженкін, І. Іваненко // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України; зб. наукових праць Українського науково-дослідного інституту випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва ім. Леоніда Погорілого. – Дослідницьке, 2013. – Вип. 17 (31). – Книга 1 «Сільськогосподарська техніка ХХІ: конструювання, випробування, прогнозування». – С. 313-320.

10. Рубцов Н. А. Исследование на наибольшее и наименьшее значение функций отклика качественных показателей работы экспериментальных решет при очистке очесанного вороха зерновых / Н. А. Рубцов, И. А. Леженкин // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2015. – Вип. 15, т. 4. – С. 71-85.

11. Рубцов Н. А. Теоретическое обоснование угла наклона сепарирующего рабочего органа для обработки очесанного вороха зерновых / Н. А. Рубцов, И. А. Леженкин // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2015. – Вип. 15, т. 4. – С. 196-205.

12. Леженкин И. А. Методика экспериментального определения статистического коэффициента трения очесанного вороха зерновых / И. А. Леженкин // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/e%2Djournals/nvtdau/>. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип. 2, т. 2. – С. 96-103.

***Публікації у наукових періодичних виданнях інших держав та у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз***

13. Леженкин И. А. Математическое моделирование процесса прохождения зерен через слои очесанного вороха зерновых / И. А. Леженкин // Известия Международной академии аграрного образования. – СПб., 2013. – Вып. 19 (2013). – С. 59-64.

14. Леженкин И. А. Усовершенствование уравнений движения компонентов очесанного вороха зерновых на поверхности плоского решета / И. А. Леженкин // Наука. Многопрофильный научно-производственный журнал Костанайского инженерно-экономического университета им. М. Дулатова, Костанай, Республика Казахстан, Т. 1. – С. 181-185.

***Публікації в інших наукових виданнях***

15. Кюрчев С. В. Статистические модели механико-технологических свойств очесанного вороха озимой пшеницы / С. В. Кюрчев, И. А. Леженкин // Матеріали ІХ і Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». – Кіровоград:

КНТУ, 2013. – Вип. 1. – С. 97-99.

16. Леженкин И. А. Математическая модель сепарации зерна через слой очесанного вороха / И. А. Леженкин // Проблемы та перспективи сталого розвитку АПК: матер. міжнар. наук.-практ. конф., м. Мелітополь; 7-14 квітня 2015 року. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Т. 4. Технічні науки (Ч. 2). – С. 47-49.

17. Леженкин И. А. Зависимость качественных показателей работы экспериментальных решет от удельной подачи очесанного вороха / И. А. Леженкин // Матеріали Х Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (5-6 листопада 2015). – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С. 75-77.

18. Леженкин И. А. Электрофикация и пути снижения энергозатрат уборочного процесса / И. А. Леженкин // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції пам'яті І. І. Мартиненка «Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромислових комплексах України» (10-14 червня 2015 року). – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – С. 101-102.

### *Патенти*

19. Пат. 92045 U Україна, МПК В 07 В 1/22 (2006.01) Сепаратор обчисаного вороху зернових / І. О. Леженкін (Україна); заявник і патентоотримувач Таврійський державний агротехнологічний університет. – №u201402219; заявл. 05.03.2014; надр. 25.07.2014, Бюл. №14.

20. Пат. 93931 U Україна, МПК В 07 В 1/22 (2006.01) Очисник обчисаного вороху / І. О. Леженкін (Україна); заявник і патентоотримувач Таврійський державний агротехнологічний університет. – №u201403942; заявл. 14.02.2014; надр. 27.10.2014, Бюл. №20.

21. Пат. 98161 U Україна, МПК А 01 D 41/08 (2006.01) Причіпна збиральна машина / І. О. Леженкін, С. М. Григоренко (Україна); заявник і патентоотримувач Таврійський державний агротехнологічний університет. – №u201408537; заявл. 28.07.2014; надр. 27.04.2015, Бюл. №8.

### **АНОТАЦІЯ**

Леженкін І. О. Обґрунтування параметрів та режимів функціонування робочого органу для сепарації обчисаного вороху пшениці. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, 2017.

У дисертації наведено теоретичне обґрунтування і нове вирішення задачі підвищення ефективності процесу сепарації обчисаного вороху пшениці.

У роботі виконано аналіз конструкцій ворохоочисників та досліджень процесу сепарації зернових матеріалів, а також досліджень фізико-механічних властивостей обчисаного вороху.

Побудовано математичну модель просіювання зерна крізь шар обчисаного вороху, яка дає змогу встановити критерій дозволяючий теоретично обґрунтувати параметри та режими роботи сепаруючого робочого органу. У результаті аналі-

тичних досліджень теоретично обґрунтовані параметри та режими роботи сепаруючого робочого органу.

За результатами експериментальних досліджень отримані рівняння регресії, які характеризують вплив технологічних та конструктивних параметрів, а також кінематичних режимів на якісні показники робочого органу для сепарації обчисаного вороху пшениці.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень розроблений сепаруючий робочий орган, який був встановлений на ворохоочисник, виробничі випробування якого показали, що його середня продуктивність складає 21,7 т/год., при цьому математичне очікування коефіцієнту сепарації складає 0,93, а коефіцієнту ефективності виділення домішок 0,906, що дозволяє отримати економічний ефект від впровадження даного робочого органу у розмірі 56645 грн.

**Ключові слова:** сепарація, обчисаний ворох, пшениця, математична модель, сегрегація, плоскі решета, диференціальні рівняння, коливання.

### АННОТАЦІЯ

Леженкин И. А. Обоснование параметров и режимов функционирования рабочего органа для сепарации очесанного вороха пшеницы. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь, 2017.

В диссертации приведено теоретическое обоснование и новое решение задачи повышения эффективности процесса сепарации очесанного вороха пшеницы.

В работе выполнен анализ современных конструкций ворохоочистительных машин и исследований процесса сепарации зерновых материалов, а также исследований физико-механических свойств очесанного вороха.

Построена математическая модель вероятности просеивания зерновок через слой очесанного вороха, которая включала в себя рассмотрение трех случаев:

– расстояние между соломинами больше суммы длины зерновки и диаметра соломины;

– расстояние между соломинами меньше суммы диаметра соломины и длины зерновки, а также больше суммы диаметра соломины и ширины зерновки;

– расстояние между соломинами меньше суммы диаметра соломины и ширины зерновки.

Разработана методика покомпонентной процедуры анализа функционирования сепарирующего рабочего органа, которая дала возможность теоретически обосновать рациональные значения параметров и режимов его работы, а именно: угол наклона сепарирующего рабочего органа  $\alpha = 7^\circ$ ; угол направленности колебаний  $\beta = 20^\circ$ ; амплитуду колебаний  $r = 0,01$  м; частоту колебаний  $\omega = 45$  с<sup>-1</sup>.

В результате реализации плана Бокса-Бенкина была получена математическая модель в виде уравнений регрессии второго порядка, которые характеризуют влияние технологических и конструктивных параметров, а также кинематических режимов на качественные показатели рабочего органа для сепарации очесанного вороха пшеницы.

Проверка адекватности полученной модели по критерию Фишера показала, что оба уравнения адекватно описывают процесс сепарации зерносоматистого вороха.

Анализ влияния изменения факторов на качество работы сепарирующего рабочего органа выполнялся путем моделирования.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработан сепарирующий рабочий орган, который был установлен на серийном ворохоочистителе, производственные испытания которого показали, что его средняя производительность составляет 21,7 т/ч, при этом математическое ожидание коэффициента сепарации равно 0,93, а коэффициента эффективности выделения примесей 0,906, что позволяет получить экономический эффект от внедрения данного рабочего органа в размере 56645 грн.

**Ключевые слова:** сепарация, очесанный ворох, пшеница, математическая модель, сегрегация, плоское решето, дифференциальные уравнения, колебания.

### ANNOTATION

Lezhenkin I. A. Substantiation of parameters and operating modes of working body for separation ochesannogo heap of wheat. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.05.11 – machines and facilities for mechanization of agricultural production. – Tavria state agrotechnological university, Melitopol, 2017.

The thesis shows the feasibility study and a new solution to the problem of increase of efficiency of process of separation heap ochesannogo cereal crops.

In work the analysis of contemporary designs vorohoochistitelyh machines and the research process separation grain materials, as well as studies of physical and mechanical properties ochesannogo heap.

A mathematical model of sifting through the grain layer ochesannogo heap, which makes it possible to establish criteria allowing to justify theoretically the parameters and modes of operation of separating the working body. As a result, we analyze the parameters and operating modes of the separation of the working body of theoretically grounded.

According to the results of experimental studies obtained regression equations that describe the impact of technological and design parameters, as well as kinematic conditions on the quality of the working body of the indicators for the separation ochesannogo heap of cereal crops.

According to the results of theoretical and experimental studies designed separating the working body, which was installed on the serial Precleaning separators, which showed production tests that its average productivity is 21,7 t/h, with the expectation of the separation coefficient is 0,93, and efficiency ratio 0,906 release impurities that allows the economic effect of the introduction of the working body in the amount of 56645 uan.

**Keywords:** separation, ochesanny | cereal, mathematical model, segregation, flat screen, differential equations, oscillation.



Підписано до друку 25.01.2017 р. Зам. №45  
Формат паперу 60×84×1/16. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим.  
Віддруковано у Таврійському державному  
агротехнологічному університеті  
Адреса: 72310, Запорізька обл., м. Мелітополь,  
пр-т Б. Хмельницького, 18