

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ІРКЛІЄНКО ВІКТОР ІВАНОВИЧ

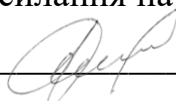
УДК 631.362

ДИСЕРТАЦІЯ
ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ
ОРґАНІВ ДИСКОВОГО ЗДРІБНЮВАЧА ЗЕРНА ПШЕНИЦІ

Спеціальність: 05.05.11 – Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.


_____ В.І. Ірклиєнко

Науковий керівник – **Богомолів Олексій Васильович**,
доктор технічних наук, професор.

ХАРКІВ-2021

АННОТАЦІЯ

Ірклієнко В.І. Обґрунтування раціональних параметрів робочих органів дискового здрібнювача зерна пшениці. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України. Харків, 2021.

Експериментальні дослідження проводилися на кафедрі «Обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв» Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.

Розроблено та виготовлено дисковий здрібнювач для розколу зерна пшениці по борозенці на дві частини, за допомогою якого були створені умови для доступу робочих органів машин до знов утворених поверхонь, що дозволило створити нову технологію очищення зерна, а також отримати нові види продукції з зерна пшениці – крупу нового типу і обойне борошно з низьким показником зольності.

Незначне перенастроювання машин працюючих за стандартною технологією з додаванням машини для розколу зерна дозволить підприємствам збільшити асортимент продуктів переробки зерна, зменшити енергетичні витрати на їх виробництво та підвищити рентабельність і конкурентоспроможність на ринку екологічно чистих продуктів харчування.

Розглянуті питання харчування населення безпечними продуктами харчування з зерна пшениці. порушені питання технологій гідротермічної підготовки, сухого та мокрого очищення зерна. Приведено порівняльний аналіз роботи машин для очищення поверхні зерна і визначено найбільш ефективний спосіб сухого очищення зерна в луцильних машинах.

Розкрита тема розколу зерна з подальшою обробкою новостворених

поверхонь луцильною машиною в результаті чого з'явилася можливість виробництва нових видів продукції. Обґрунтовано актуальність і зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовані цілі та завдання досліджень, показана наукова новизна, практичне значення отриманих результатів. Визначені методи дослідження та методика планування повного факторного експерименту. Визначено особистий внесок здобувача в дослідженнях і публікаціях по темі дисертаційної роботи. Визначена наукова новизна отриманих результатів та їх практичне значення.

Розглянуті питання використання зерна пшениці для виробництва продуктів харчування. Проаналізовано існуючі способи подрібнення зерна при виробництві борошна і крупи, що ґрунтуються на морфологічній будові зерна пшениці. Показана можливість розколу зернівки на дві частини з метою доступу робочих органів машини для додаткового очищення поверхні зерна. Показані способи подрібнення зерна пшениці під дією зовнішньої сили. Встановлено, що при стисненні зерно під дією навантаження деформується по всьому об'єму і коли в ньому виникає внутрішня напруга, що перевищує межу міцності стиску, воно руйнується. Визначено основні способи подрібнення: стиснення, стирання, удар і зрушення. На основі матеріалів, взятих з літературних джерел, зроблено огляд теорії та практики процесу руйнування зерна, встановлено, що найменші витрати енергії в процесі подрібнення зерна відбуваються при зсуві (сколі).

При сколюванні зерно руйнується під дією дотичних напружень, при яких, одна його частина зміщується щодо іншої площині або поверхні. Відзначено вплив вологості зерна на структурно – механічні властивості зерна. Наведено конструкції машин, що працюють за принципом сколювання зерна.

Показано також переваги процесу подрібнення з точки зору енергетичних витрат. Виявлено їх достоїнства і недоліки. Показана можливість розколювання зернівки по борозенці на дві частини. На основі цього була визначена гіпотеза розколювання зерна по борозенці на дві

частини, обґрунтовані конструктивні і технологічні вимоги до здрібнювача для виборчого подрібнення зерна. Наведено аналіз робочих органів подрібнюючих машин і їх питома енергоємність. Показано, що найменшою питомою енергоємністю, що дорівнює $1,1 \text{ кВт}\cdot\text{год./т}$, мають дискові млини, в яких використовується спосіб подрібнення: сколювання – стирання. Проведений аналіз морфолого – анатомічних властивостей зерна пшениці та показано, як борозенка впливає на борошномельні властивості – вихід борошна і його якість.

Розглянуто питання очищення поверхні розколотого зерна від контамінантів. Визначено теоретичні передумови зменшення енерговитрат при зрізі зернівки по борозенці на відміну від будь-яких інших напрямів прикладання сили зрізу. Аналіз здрібнювачів зерна сколювального типу з іншими машинами, які застосовуються для руйнування цілого зерна, показав, що вони мають найменші значення питомої енергоємності. Запропоновано модель руху зерна в робочій області здрібнювача, яка поводить як рідке середовище. Визначено сили, які діють на зернівку в сколювальному каналі і складено рівняння її руху.

Показано вплив кутової швидкості нижнього диска на рух зернівки в руйнівному каналі утвореному рифлями нижнього і верхнього дисків. Обґрунтована форма сколювального каналу здрібнювача. З трьох варіантів форми сколювального каналу прийнята кругла форма каналу, яка дозволяє розколоти зерна з найбільшим відсотком виходу повноцінних частин зерна. Діаметр сколювального каналу визначали в залежності від розмірів зерна, коефіцієнтів тертя та кутової швидкості нижнього диска.

Запропонована конструктивно-технологічна схема руйнування зернівок пшениці по борозенці на дві частини. Визначено конструкцію робочого органу у вигляді двох дисків: рухомого і нерухомого. Робоча поверхня дисків виконана у вигляді конічної поверхні, на периферії якої нанесені рифлі, таким чином, що при поєднанні рифлів дисків створюється круглий отвір. Обґрунтовано геометричні параметри дискової пари, і умови взаємодії

зернівки з робочими органами машини. Проаналізовано теоретичні передумови зниження енергоємності процесу подрібнення зерна.

Отримано аналітичні залежності визначення кінематичних, енергетичних і технологічних параметрів дискового здрібнювача. Запропоновано математичну модель руху та виборчого подрібнення зерна в робочому каналі. Показано що орієнтація зернівки на поверхні рухомого диска, здійснюється в результаті дії крутного моменту, що виникає на похилій поверхні рухомого диска та повертає її торцем безпосередньо перед сколювальним каналом. Після відколу зернівки її частинки залишають камеру під дією відцентрової сили.

Визначено основні показники робочого процесу дискового здрібнювача: енергоємність E (кВт·год./кг), пропускна здатність Q (кг/год.) і відсоток виходу повноцінного продукту M (%).

Представлені методики з визначення фізико-механічних властивостей зерна. Виготовлено пристрій для поділу зерен з борошнистою і склоподібною структурою. Для визначення руйнівної сили при сколі зерна виготовлено пристрій для розколу зерна. Зерно після відколу по борозенці, поміщали на предметний стіл мікроскопа і визначали площу відколу в програмі Компас 3D V18. Отримано регресійні залежності між площею перетину зернівки і зрізуючим напруженням, що виникає в перетині зрізу.

Розроблено та виготовлено дослідні зразки машин для проведення експериментальних досліджень: дисковий здрібнювач зерна, шелушильна машина, повітряний і магнітний сепаратори, просіювач крупи і живильник. Виходячи з розмірів радіуса та частоти обертання диску здрібнювача, довжини каналу рифлів коефіцієнту тертя та розмірів зерна пшениці, визначено геометричні розміри циліндричної рифлі з радіусом $R=2,0$ мм.

Визначені зусилля руйнування вздовж і поперек зерна. Значення діапазонів руйнування зусилля вздовж і поперек зернівки їх діапазони відрізняються (мінімум 22,54 Н і 50,97 Н, максимум 37,24 Н і 109,76 Н відповідно), а середнє зусилля руйнування вздовж по борозенці становить

46,4 % від середнього зусилля руйнування поперек зернівки.

Отримано регресійні залежності між площею перетину зернівки і зрізуючим напруженням. Встановлена слабка залежність руйнівного зусилля від площі відколу зернівки. Визначено, що напруження, необхідне для руйнування зерна сколюванням зростає пропорційно площі відколу. Середнє значення напружень для зернівок пшениці розколотих уздовж по борозенки склало $7,4 \text{ Н/мм}^2$, середнє значення напружень для зернівки пшениці розколотих поперек склало $10,0 \text{ Н/мм}^2$. Тобто скол зерна по борозенці є менш енергоємним.

Встановлені закономірності руйнування зернівки під дією сили зрізу, яка становить $3,46 \text{ Н}$, що розбігається з експериментальними дослідженнями в межах 15% , обчислено розмір випереджаючої тріщини крізь яку сколюється зернівка та споживану потужність здрібнювача, яка знаходиться в межах $43,2 \dots 86,4 \text{ Вт}$ і цей діапазон в більшості збігається з результатами експериментальних досліджень.

Проведено однофакторний експеримент в результаті якого була отримана залежність частоти обертів диска від потужності і відсотка виходу повноцінного продукту (залишок на ситі $\varnothing 2,5$). Визначено оптимальне значення частоти обертання диска здрібнювача $n=355 \text{ об/хв}$. На базі створеного обладнання були проведені технологічні випробування. Проведено експериментальні дослідження процесу роботи дискового здрібнювача.

Отримано математичні моделі, які описують взаємозв'язок між основними конструктивними, режимними параметрами здрібнювача і критеріями оптимізації – енергоємністю подрібнення, пропускною спроможністю і масою продукту на ситі, вираженою у відсотках від усїєї маси подрібненого продукту. Проведено багатфакторний експеримент, встановлені значення числа обертів вала нижнього диска здрібнювача, подачі зерна і зазору між дисками при яких забезпечується мінімальна енергоємність процесу подрібнення зерна пшениці. Побудовано двовимірні

перерізи поверхонь відгуку.

Проведено аналіз графічних зображень і зроблені висновки по роботі здрібнювача. Визначено раціональні значення досліджуваних факторів за умови досягнення максимального відсотка виходу повноцінного продукту і мінімальної питомої енергоємності. Частота обертання ротора $n=336,5$ 1/хв.; подача зерна $Q=46,5$ кг/год.; зазор між дисками $h=0,3$ мм.

Розроблені і випробувані технологічні схеми виробництва крупи і обойного борошна. Визначено зольність отриманих продуктів. Зольність борошна з очищених частин розколотого зерна склала 0,72 %.

Результати наукових досліджень впроваджені у виробництво в СФГ «Калина» Вовчанського району, ПП "Агротехремонт" Богодухівського району Харківської області та навчальний процес ХНТУСГ ім. П. Василенка, що підтверджено актами впровадження.

Ключові слова: подрібнення, зерно пшениці, сколювальний канал, руйнівне зусилля, площа відколу, раціональні параметри.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Богомолов А. В., Иркиенко В. И. Инновационная технология производства крупы нового вида. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2016. Вип. 179.: Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. С. 54-58.

2. Богомолов А. В., Иркиенко В. И. Новое направление в технологии переработки зерна пшеницы. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. 2018. Вип. 194 «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв». С. 5-12.

3. Богомолов А.В., Иркиенко В.И. К вопросу энергоемкости измельчения зерна пшеницы. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2019. Випуск 207. С. 68-75.

4. Богомолов А.В., Слоновский Н.В., Иркиенко В.И. О фрактально-кластерной структуре частиц, полученных дроблением. Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2002. Випуск 9. С. 14-19.

5. Богомолов О.В., Ірклієнко В.І., Богомолова В.П., Універсальний малогабаритний комплекс для виробництва борошна та крупи. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2004. Випуск 28. С. 5-14.

6. V.I. Irklienko, O.V. Bogomolov, I.M.Lukivanov, L.V. Kis-KorkishchenkoQ, P.S. Syromiatnikov. Developing environmentally friendly technology for wheat grain processing. Petro Vasylenko Notional Technical University of Agriculture, 44 Alchevskih St., Kharkiv, 61002, Ukraine. Ukrainian

Journal of Ecology, 2021, 11(2), x-xx, doi: 1 0.1 5421/2021 Kharkiv.

7. A QUARTERLY JOURNAL OF AGRI-FOOD INDUSTRY— 2019, Vol. I 9, No. I, 49-Oscillations with positional friction under mechanical shock. V. Olshansky, O. Bogomolov, O. Bogomoiov, V. Irklienko, L. Kys-Korkyshchenko Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture 44 Alchevskih St, Kharkiv, Ukraine. net 44 Alchevskih St, Kharkiv, Ukraine Abstract.

8. Ірклієнко В.І. Оптимізація параметрів процесу сколювання зерна пшениці в дисковому здрібнювачі. Журнал "Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів", № 21, 2020 р. с. 235-242

9. Богомолів О.В., Ірклієнко В.І., Завгородній О.І., Нетецький Л.Г., Кісь-Коркіщенко Л.В. Моделювання процесу здрібнення зернівки у робочий камері здрібнювача сколювальної дії. Журнал "Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів" № 23, 2021 р. с. 194-199

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

10. Ірклієнко В.І., Лазуренко М.Є., Наступень Т.В. Виробництво крупи нового виду. Матеріали XV-го міжнародного форуму молоді "Молодь і сільськогосподарська техніка у 21 сторіччі". Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. 4-5 квітня 2019р. Харків. 356с. С.41

11. Богомолів О.В., Ірклієнко В.І. Виробництво крупи нового виду. Тези міжнар. н.-п. конференції. 19 листопада 2018. У 2 частинах. Харків ХДУХТ. Розвиток харчового виробництва, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність 1 частина. С.307-309.

12. Богомолів О.В., Ірклієнко В.І., Богомолів О.О. Енергозбереженні процеси виробництва нових зернопродуктів. Матеріали III Міжнародної науково – практичної конференції. «Інноваційні аспекти розвитку

обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності». Харків – Мелітополь–Кирилівка. ХДУХТ, ТДАТУ 2019 4–6 вересня. 272с. С.19-21.

13. Ольшанський В.П., Богомолів О.В., Ірклієнко В.І. Новіков С.С., Кухаренко М.Д., Зуєв Д.С., Шаренко А.Д., Богомолів О.О. Про гістерезис в моделі квазістатичного удару твердих тіл. Матеріали XX Міжнародної науково – практичної конференції. «Сучасні напрямки технології та процесів переробних і харчових виробництв" Навчально-наукового інституту переробних і харчових виробництв. 8 листопада Харків 2019.

14. Ірклієнко В.І. Вплив конструктивних і технологічних параметрів на енергоємність процесу здрибнення. Матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв". Навчальне – наукового інституту переробних і харчових виробництв. 9 жовтня Харків 2020.

Праці, які додатково відображають наукові матеріали дисертації:

15. Ірклієнко В.І., Мучник Я.Ф. Від зерна з поля – до хліба на столі. Зберігання та переробка зерна №8 2000р.

16. Фролов Е.А., Богомолів О.В., Ірклієнко В.І. Підвищення ефективності функціонування малих господарств агропромислового комплексу. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2002. Випуск 9. С. 68-75.

17. Богомолів О.В., Сафонова О.М., Чудик Ю.В., Ірклієнко В.І. Отримання борошняних сумішей за допомогою універсального малогабаритного міні-млину. Вісник ХДПУ. Випуск 123. 2000р.

18. Пристрій для лушення зерна: патент №25482 на винахід, В 02 В 3/02 / Ірклієнко В.І., Єсіпов О.І.; заявл. 04.11.1997, опубл. 25.12.98. Бюл. №8. 6 с.

ABSTRACT

Irklienko V.I. Substantiation of rational parameters of the working bodies of the disc grinder. - As a manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.05.11 – machines and means of mechanization of agricultural production - Kharkiv Petro Vasilenko National Technical University of Agriculture of the Ministry of Education and Science of Ukraine. Kharkiv, 2020.

Experimental preliminaries were carried out at the Department of "Ownership and Engineering of Pererobny and Kharchovyi Virobnits" of Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University for the Silk State Prize.

A machine for splitting wheat grain along a groove into two parts has been developed and manufactured. As a result, conditions were created for the access of the working bodies of machines to the newly formed surfaces, which made it possible to create a new technology for cleaning grain, as well as to obtain new types of products from wheat grain - a new type of cereal and wallpaper flour with a low ash content.

Minor reconfiguration of standard technology machines with the addition of a grain splitting machine will allow enterprises to increase the range of grain processed products, reduce energy costs for its production and increase profitability and competitiveness in the organic food market.

In the introduction, the issues of nutrition of the population with safe food from wheat grain are considered. The issues of technologies of hydrothermal preparation, dry and wet cleaning of grain are touched upon. A comparative analysis of the work of cleaning machines is shown and the most effective method of dry cleaning of grain in hulling machines is determined.

The topic of grain splitting with the subsequent processing of the newly formed surfaces with a peeling machine has been revealed, as a result of which the possibility of producing new types of products has opened. The relevance and connection of work with scientific programs, plans, themes are substantiated, goals

and objectives of research are formulated, scientific novelty is shown, practical significance of the results obtained. The research methods and methodology for planning a complete factorial experiment are determined. The personal contribution of the applicant to research and publications on the topic of the dissertation work is determined. The scientific novelty of the results obtained and their practical significance have been determined.

The first part deals with the use of wheat grain for food production. The existing methods of grinding grain in the production of flour and cereals are analyzed. Based on the morphological structure of wheat grain, the possibility of splitting the weevil into two parts is shown in order to access the working bodies of the machine for additional cleaning of the grain. Methods of grinding wheat grain under the action of an external force are shown. Under compression, the grain under the action of a load is deformed throughout its volume and, when the internal stresses arising in it exceed the compressive strength, it breaks down. The main methods of grinding are determined: compression, abrasion, impact and shear. Based on materials taken from literary sources, a review of the theory and practice of the process of grain destruction is made, it has been established that the least energy consumption in the process of grain grinding occurs during shear (cleavage).

When chipping, the grain is destroyed under the action of shear stresses, at which one part of it is displaced relative to the other along some plane or surface. The influence of grain moisture on the structural and mechanical properties of grain is noted. Designs of machines operating on the principle of grain chipping are presented.

The advantages of the grinding process in terms of energy costs have been shown. Their advantages and disadvantages are revealed. In the works of V.L. Zlochevskyi showed the possibility of splitting the weevil along the groove into two parts. Based on this, the hypothesis of grain splitting along the groove into two parts was determined, substantiated design and technological requirements for a machine for selective grinding of grain. An analysis of the working bodies of

grinding machines and their specific energy consumption is presented. It is shown that the smallest specific energy consumption, equal to $1.1 \text{ kW}\cdot\text{h/t}$, is possessed by disk mills, which use the grinding method – chipping, abrasion. The goals and objectives of the research are determined.

The second part analyzes the morphological and anatomical properties of wheat grain. It is shown how the groove affects the milling properties – flour yield and its quality. The issue of cleaning the split grain from contaminants is considered.

The theoretical prerequisites for a decrease in energy consumption when a weevil is chipped along the groove, in contrast to any other directions of application of the shear force, have been determined. An analysis of shear-type grain grinders with other machines used for breaking whole grain showed that they have the lowest specific energy content.

A model of grain movement in the working area of the grinder, which behaves like a liquid medium, is proposed. The forces that act on the caryopsis in the shearing channel have been determined and the equation of its motion has been drawn up. The effect of the angular velocity of the lower disk on the movement of the caryopsis in the destruction channel formed by the riffles of the lower and upper disks is shown.

The shape of the chopping channel of the grinder has been substantiated. Of the three variants of the shape of the cleaving channel, a round shape of the channel is adopted, which allows the grains with the highest percentage of full grain parts to be cleaved. The shear channel diameter was determined depending on the selected range of grain sizes.

A constructive-technological scheme of destruction of wheat kernels along the groove into two parts is proposed. The design of the working body in the form of two disks: movable and not movable, has been determined. The working surface of the disks is made in the form of a conical surface, on the periphery of which riffles are applied, thus, that when the ruffle discs are combined, a round hole is obtained. The geometrical parameters of the disc pair and the conditions of

interaction of the weevil with the working bodies of the machine are substantiated. The theoretical prerequisites for reducing the energy consumption of the process of grinding grain are analyzed.

Analytical dependences of determination of kinematic, energy and technological parameters of the disc grinder. A mathematical model of selective grinding of grain in the working channel is proposed. As for the orientation of the grain on the surface of the movable disk, it was shown that a torque arises on the inclined surface of the movable disk, turning it with its butt directly in front of the shearing channel. After the caryopsis is cleaved, its particles leave the chamber under the action of centrifugal force.

In the third part, prototypes of equipment for experimental research have been developed and manufactured: an experimental installation for researching the grain crushing process, a hulling machine, air and magnetic separators, a cereal sifter and a feeder.

The main indicators of the working process of a disc grinder have been determined: energy consumption E (kW·h/kg), crusher throughput Q (kg/h) and the percentage of full-value product M (%).

Private methods have been developed to determine the physical and mechanical properties of grain. A device for separating grains with a mealy and vitreous structure has been manufactured. In order to determine the destructive force during grain splitting, a device for grain splitting was made. The grain, after being cleaved along the groove, was placed on the microscope stage and the cleaved area was determined using the Compass 3D V18 software. Regression relationships were obtained between the grain section area and shear stresses arising in the section.

Prototypes of machines for experimental research have been developed and manufactured: a disc grain grinder, a hulling machine, an air and magnetic separator, a cereal sifter and a feeder. The geometric dimensions of a cylindrical riffle with a radius of $R=2.0$ mm were determined based on the size of the wheat grain.

In the fourth part, the breaking loads along and across the grain are determined. The results of the values of the breaking loads along and across the caryopsis, their ranges differ (minimum 22.54 N and 50.97 N, maximum 37.24 N and 109.76 N, respectively), and the average value of the load along is 46.4 % of the average load across.

Regression relationships were obtained between the cross-sectional area of the caryopsis and shear stresses. A weak dependence of the destructive force on the area of the grain cleavage has been established. It was determined that the stresses required for the destruction of the grain by spelling increases in proportion to the area of the spall.

The average stress value for wheat caryopses split along the groove was 7.4 N/mm², the average stress value for wheat caryopses split across the groove was 10.0 N/mm², and that is, the grain chipping along the grain groove is less energy intensive.

A one-factor experiment was carried out as a result of which the dependence of the disc speed on the power and percentage of the full-value product yield (sieve residue Ø2.5) was obtained from which the optimal value of the crusher disc speed $n=355.3$ rpm was determined.

Technological tests were carried out based on the created equipment. Experimental studies of the disc grinder's operation process have been carried out. Mathematical models have been obtained that describe the relationship between the main design and operating parameters of the grinder and the optimization criteria – the energy consumption of grinding, throughput and the mass of the product on the sieve, expressed as a percentage of the total mass of the crushed product. A multifactorial experiment has been carried out, the values of the number of revolutions of the shaft of the lower disc of the grinder, the supply of grain and the gap between the discs, at which the minimum energy consumption of the process of grinding grain of wheat is provided.

Two-dimensional sections of the response surfaces are constructed. The analysis of graphic images is carried out and conclusions are drawn on the

operation of the grinder. Technological schemes for the production of cereals and wallpaper flour have been developed and tested. The ash content of the products obtained was determined. The ash content of the wallpaper flour was 0.72 %.

The results of scientific research are implemented in production in farms "Kalyna" the Vovchanskyi district, PE "Agrotechremont" Bogodukhiv district of the Kharkiv region and the educational process of KhNTUA, which is confirmed by the acts of implementation.

Key words: selective grinding, wheat grain, shearing channel, breaking force, cleavage area, rational parameters

LIST OF PUBLISHED PAPERS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

The list of publications in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Bogomolov A.V., Irklienko V.I. Innovative technology for the production of cereals of a new species. Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. Kharkiv, 2016. Issue. 179.: Modern directions of technology and mechanization of processes of processing and food production. Pp. 54-58.

2. Bogomolov A.V., Irklienko V.I. A new direction in the technology of wheat grain processing. Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture, Vol. 194 "Modern directions of technology and mechanization of processes of processing and food production". 2018. pp. 5–12.

3. Bogomolov O.V., Irklienko V.I. On the energy intensity of wheat grain grinding // Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. 2019. Issue 207. pp. 68-75.

4. Bogomolov A.V., Slonovsky N.V., Irklienko V.I. On the fractal-cluster structure of particles, obtained by crushing // Kharkiv State Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko. 2002. Issue 9. pp. 14-19.

5. Bogomolov O.V., Irklienko V.I., Bogomolova V.P., Universal small-sized complex for the production of flour and cereals // Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. 2004. Issue 28. pp. 5-14.

6. V.I. Irklienko, O.V. Bogomolov, I.M. Lukyanov, L.V. Kis-Korkishchenko, P.S. Syromiatnikov // Developing environmentally friendly technology for wheat grain processing // Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, 44 Alchevskih St., Kharkiv, 61002, Ukraine. Ukrainian Journal of Ecology, 2021, 11 (2), x-xx, doi: 10.15421/2021 Kharkiv.

7. A QUARTERLY JOURNAL OF AGRI-FOOD INDUSTRY— 2019, Vol. I 9, no. I, 49-Oscillations with positional friction under mechanical shock. V. Olshansky, O. Bogomolov, O. Bogomoiov, V. Irklienko, L. Kys-

Korkyshchenko Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture 44 Alchevskih St, Kharkiv, Ukraine. Email: oipxv @ ub '. no 44 Alchevskih St, Kharkiv, Ukraine Abstract.

8. Irklienko V.I. Optimization of wheat grain chipping process parameters in a disk shredder. Magazine "Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes", № 21, 2020 with. 235-242

9. Bogomolov O.V., Irklienko V.I., Zavgorodniy O.I., Netetsky L.G., Kis-Korkishchenko L.V. Simulation of the grain crushing process in the working chamber of the chipper. Magazine "Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes" № 23, 2021 with. 194-199

Papers certifying the approbation of the dissertation materials:

10. Irklienko V.I., Lazurenko M.E., Nastupen T.V. KhNTUSG named after Petro Vasylenko. Production of a new type of cereals. Proceedings of the XV International Youth Forum "Youth and agricultural machinery in the 21st century" // Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko. April 4-5, 2019 Kharkiv. 356c. P.41

11. Bogomolov O.V., Irklienko V.I. Production of cereals of a new type Thesis International. n.-p. conference. November 19, 2018. In 2 parts. Kharkiv KhDUHT. Development of food production, restaurant and hotel facilities and trade: problems, prospects, efficiency 1 part P.307-309.

12. Bogomolov O.V., Irklienko V.I., Bogomolov O.O. Energy-saving processes of production of new grain products. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference. "Innovative aspects of the development of food and hotel industry equipment in modern conditions." Kharkiv-Melitopol-Kyrylivka. KhDUHT, TDATU 2019 September 4 - 6. 272c. P.19-21.

13. Olshansky V.P., Bogomolov O.V., Irklienko V.I. Novikov S.S., Kukharenko M.D., Zuev D.S., Sharengo A.D., Bogomolov O.O. On hysteresis in the model of quasi-static impact of solids. Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference. "Modern directions of technology and

processes of processing and food production" of the Educational and Scientific Institute of Processing and Food Production. November 8, 2019.

14. The influence of design and technological parameters on the energy consumption of the grinding process Irklienko V.I., engineer (Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture). Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Conference "Modern directions of technology and mechanization of processing and food production." October 9, Kharkiv, 2020.

Materials that additionally reflect the scientific materials of the dissertation:

15. Irklienko V.I., Muchnik Y. F. From grain from the field to bread on the table. Storage and processing of grain №8, 2000 Pp. 4-6.

16. Frolov E.A., Bogomolova V.P., Irklienko V.I. Improving the efficiency of small farms of the agro-industrial complex // Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. 2002. Issue 9. S. 68 - 75.

17. Bogomolov O.V., Safonova O.M., Chudyk Y.V., Irklienko V.I. Obtaining flour mixtures using a universal small mini-mill. Bulletin of the KhDPU. Issue 123. 2000. WITH.

18. Device for peeling grain: patent №25482 for the invention, B 02 B 3/02 / Irklienko V.I., Yesipov O.I.; declared 04.11.1997, publ. 25.12.98 Bull. №8. 6 s.

ЗМІСТ

ВСТУП	23
РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	32
1.1. Зерно пшениці як сировина для виробництва продуктів харчування	32
1.2. Аналіз способів подрібнення зерна пшениці	34
1.3. Аналіз досліджень по статичному руйнуванню зерна пшениці	35
1.4. Характеристика і аналіз роботи машин сколювальної дії	38
1.5. Аналіз досліджень в області енергетики подрібнення зерна	40
Висновки за розділом 1	43
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА І РОЗРОБКА ЗДРІБНЮВАЧА	45
2.1. Аналіз морфолого-анатомічних властивостей зерна	45
2.2. Теоретичні передумови зменшення енерговитрат	47
2.3. Моделювання процесу руху зернівки в робочій камері здрібнювача	52
2.4. Позичіонування зернівки в каналі здрібнювача	57
2.5. Обґрунтування форми сколювального каналу здрібнювача зерна	59
2.6. Обґрунтування величини зазору між дисками здрібнювача	62
2.7. Моделювання процесу руху зернини в подрібнюючому каналі здрібнювача	63
2.8. Визначення енергоспоживання дискового здрібнювача	72
2.9. Визначення факторів і функцій оптимізації для вивчення роботи подрібнювача	78
Висновки за розділом 2	79
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ	82

	21
3.1. Мета експериментального дослідження	82
3.2. Методика визначення основних показників робочого процесу дискового здрібнювача і технологічних характеристик матеріалу	84
3.3. Експериментальна установка для дослідження процесу подрібнення зерна	86
3.4. Додаткове обладнання для дослідження процесу подрібнення зерна	90
3.5. Методика дослідження фізико-механічних властивостей шелушеного зерна	98
3.6. Методика визначення руйнівної сили при сколі зерна	100
3.7. Методика досліджень коефіцієнта тертя шелушеного зерна пшениці	103
3.8. Методика вимірювань і обробка експериментальних даних	106
Висновки за розділом 3	110
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	112
4.1. Аналіз результатів розколювання зерна пшениці	112
4.2. Обґрунтування і визначення частоти обертання ротора	114
4.3. Результати проведення повного факторного експерименту на дисковому здрібнювачі	118
Висновки за розділом 4	124
РОЗДІЛ 5. ВИПРОБУВАННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСКОВОГО ЗДРІБНЮВАЧА ЗЕРНА ПШЕНИЦІ	125
5.1. Новий напрямок в технології переробки зерна пшениці	125
5.2. Розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження дискового подрібнювача зерна пшениці	131
5.2.1. Вихідні данні	132
5.2.2. Розрахунок обсягів виробництва продукції та визначення суми абсолютних і відносних капітальних вкладень	134

	22
5.2.3. Розрахунок собівартості реалізації продукції	134
5.2.4. Фінансово-економічні результати роботи обладнання	138
5.2.5. Ефективність використання матеріальних ресурсів	139
5.2.6. Ефективність використання праці (трудових ресурсів)	140
5.2.7. Ефективність виробничих інвестицій (капітальних вкладень)	141
5.2.8. Узагальнена ефективність діяльності підприємства	143
5.2.9. Розрахунок та аналіз беззбиткового (критичного) обсягу реалізації продукції	144
5.2.10. Техніко-економічні показники виробництва	145
Висновки за розділом 5	146
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	147
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	150
ДОДАТКИ	167

ВСТУП

Актуальність теми. На теперішній час борошномельна галузь проходить активну стадію розвитку. Це пов'язано з приєднанням українського ринку до нових зарубіжних тенденцій. В таких умовах класичний асортимент борошна вже недостатній. Для того щоб вийти на міжнародний ринок з конкурентоспроможною продукцією необхідно розширювати асортиментний ряд, та виробляти борошно і крупи з заданими показниками якості.

Україна є провідною аграрною країною, тому що 27 % світових чорноземів знаходяться на її території. У найближчій перспективі основним видом аграрного виробництва в нашій країні буде виробництво зернових і в першу чергу пшениці. Зерно пшениці є основною сировиною для виробництва борошна та крупи. Дві третини населення Землі з усіх рослин, що дають їжу, головним вважають пшеницю [73]. Цей злак дає людству щорічно понад чотириста мільйонів тонн зерна – четверту частину зборів зерна за все взагалі в світі. Зерно пшениці, є джерелом поживних речовин – білків, вуглеводів, ліпідів; біологічно активних речовин – вітамінів, ферментів, мінеральних речовин, мікро і макронутриєнтів [10, 28, 29, 30, 77, 92] Основне призначення пшеничного зерна – стати хлібом. Півкілограма хорошого хліба – це більше половини добової потреби людини в білку, вуглеводах, вітамінах *B* і *E* і багатьох мінеральних речовинах.

На сьогоднішній день економіка України є енергоємною, це стосується і борошномельно – круп'яної переробної промисловості. Тому створення обладнання з низьким енергоспоживанням є актуальним [23, 36, 72]. При цьому крім питань зниження енерговитрат, особливе значення має і підвищення якості продуктів з зерна пшениці та розширення їх асортименту.

В даний час в Україні невеликі сільськогосподарські підприємства, фермерські господарства стоять перед вибором або продавати зібраний врожай великим переробним підприємствам, або будувати цехи по переробці

зерна. Як правило на ринку України, виробники обладнання пропонують переробні комплекси середньої потужності для виробництва борошна або крупи. Ці комплекси вимагають великих капітальних витрат. Для їх експлуатації потрібні спеціальні приміщення, кваліфікований обслуговуючий персонал тощо. При цьому якість продукту виробленого на їх обладнанні не може конкурувати з продуктом зробленим на великих переробних комбінатах [16, 18, 103, 104].

У той же час питання підвищення якості крупи і борошна із зерна пшениці, яке здавалося лежить на поверхні, ніким до теперішнього часу не піднімалось. Суть питання полягає в тому, що присутність в зерні борозенки збільшує зовнішню поверхню, а значить і вміст оболонок. Також в ній накопичується пил, бруд і контамінанти від яких ціле зерно важко очистити. При переробці зерна бруд і контамінанти можуть потрапити і потрапляють в борошно [86, 92, 111]. Якщо ж розколоти зерно по борозенці на дві частини можна отримати доступ робочих органів машин для більш ретельної обробки цієї частини зерна, в результаті якої можна отримати екологічно безпечну продукцію – крупу нового типу і обойне борошно з низьким показником зольності [19, 20]. Крім цього на технологічні властивості зерна твердої пшениці значний вплив мають морфологія і анатомія зернівки. Глибина і розмах борозенки зерна і форма зерна ускладнює процес переробки зерна і виділення з нього ендосперму [38, 102, 125, 126, 128]. Цим питанням в даній роботі приділяється особлива увага.

Стан харчування населення, якість і безпека продовольчої сировини і харчових продуктів є факторами, що мають найважливіше – значення для збереження і зміцнення здоров'я населення. В останні роки приділяється особлива увага здоровому харчуванню, складовою якого є і безпека продуктів харчування – біологічна, хімічна, радіаційна [131].

Безпека харчової продукції – це стан харчової продукції, що свідчить про відсутність неприпустимого ризику, пов'язаного зі шкідливою дією на людину і майбутні покоління. Шкідливий вплив на людину надають

чинники, пов'язані з наявністю в харчовій продукції забруднюючих речовин (контамінантів): радіонуклідів, токсинів, хвороботворних організмів, які створюють загрозу життю або здоров'ю людини [111].

Контамінанти в харчових продуктах представлені досить великим спектром: хімічної (токсичні елементи, пестициди, нітрузоаміни, поліхлоровані біфеніли і т.д.); біологічної (цвілі мікроскопічні гриби і мікотоксини, бактерії і бактеріальні токсини, дріжджі, токсини морепродуктів та ін.); фізичної природи. При цьому на одне з перших місць виходять мікробіологічні ризики та сполучення важких металів [29, 73, 86, 92, 151].

В даний час розмелювання зерна пшениці в борошно в основному проводять за певною технологічною схемою. Спочатку зерно проходить суху або мокру очистку, гідротермічну підготовку і надходить на першу драну систему. На цьому шляху технологічної схеми до надходження зерна в вальцовий верстат зернівка пшениці залишається цілісною.

Зерно формованих помольних партій надходить з високим ступенем зараженості. Загальне мікробне число становить $5 \cdot 10^6 \dots 8 \cdot 10^8$ КУО/г. Первинна суха очистка, яка включає, аеродинамічне, вібраційно-пневматичне сепарування, сепарування за довжиною і шириною, дещо знижує зараженість.

При цьому відбувається видалення пилу, хворих і травмованих зерен, що відрізняються від здорових за вагою і розмірами, а також поверхневої інфекції зі здорового насіння [26, 27].

При вологому очищенні зерна, його промиванні частина поверхневих мікробів змивається водою. Але при взаємодії з водою відбувається вторинне зараження здорових зерен. Помітного зниження зараження не спостерігається. На стадію гідротермічної обробки зернова маса надходить з зараженістю $8 \cdot 10^6 \dots 1 \cdot 10^7$ КУО/г [30].

Причому за твердженням багатьох авторів на основі наукових досліджень встановлено, що значення зольності зерна пшениці після вологої

обробки падає в порівнянні з сухою обробкою на 0,01...0,02 % [4]. Ефективність роботи обоєчних і щіткових машин оцінюють по зниженню зольності зерна, яке має становити 0,01...0,03 %, а в наждакових обоєчних машинах – 0,03...0,05 %, при цьому в останніх допускається збільшення кількості битих зерен до 2 %, в інших машинах – до 1 % [39, 42].

За результатами досліджень Верещинського А.П., Fellers D.A., Elisa Giambanelli, і багатьох інших авторів, найбільш ефективним способом сухого очищення поверхні зерна є лушення, в процесі якого відбувається видалення частини поверхневих шарів зерна [34, 33, 127, 132].

На деяких підприємствах почали відпрацьовувати і впроваджувати технологію сухого очищення [140], яка полягає у видаленні верхніх шарів зерна на луцильних машинах, що дозволило знизити мікробіологічну забрудненість і забрудненість різними хімічними компонентами (важкими металами, пестицидами та іншими), велика частина з яких зосереджена на поверхневих шарах зернівки (оболонках).

Крім цього зміна структурно-механічних властивостей зерна в процесі лушення призводить до збільшення загального вилучення продукції, при виробництві борошна. Це пов'язано зі збільшенням кількості мікротріщин, що утворилися в результаті впливу на зерно при лущенні. Тому для досягнення однакового рівня загального вилучення для лушення зерна зазор повинен бути на 0,2...0,1 мм більше в порівнянні з нелущеним зерном. Тобто, відсутність деякої частини оболонок значно впливає на зміну загального вилучення проміжних продуктів, особливо для зерна з низькою скловидністю [32].

У розглянутих вище існуючих способів очищення поверхні цілого зерна сутність нинішніх методів підготовки зерна до помелу або отримання круп вичерпала себе в інноваційному напрямку.

Питаннями подрібнення зернових матеріалів займалися багато вчених: Злочевський В.Л., Нанка А.В., Абрамов А. А., Глебов Л.А., Шумський А.С., Шкондін В. Н., Іскендеров Р.Р., Іванов В.В., та інші [2, 48, 53, 55, 57, 78, 79,

94, 97, 108, 109].

Особливе місце в інноваційному напрямку займають роботи Злочевського В.Л. [43, 44, 47, 50, 52] присвячені дослідженню роботи маятникового деформатора, в якому скол відбувається по борозенці зерна. Як показали його дослідження, зв'язки між проміжним білком, крохмальними гранулами і алейроновим шаром не порушені, але доступ до цих верств виявляється більш простим для подрібнюючих машин, ніж різання зернівки в вальцьовому верстаті, яке відбувається зараз на більшості підприємств.

Тема розколу зерна з метою очищення його поверхні, отримання крупи нового типу і виробництва борошна високої біологічної цінності в даний час не розроблена з причини відсутності простих у виготовленні і надійних в експлуатації машини для розколу зерна пшениці по борозенці на дві частини.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно розділам комплексних тем ХНТУСГ ім. Петра Василенка: «Підвищення ефективності, продуктивності та надійності машин для розділення зернових матеріалів» 0118U003317 (2018-2022 рр.); «Продовольчо-зернова безпека зі створенням кологобезпечних, ресурсозберігаючих, енергоощадних механізованих технологій збереження і обробки врожаю і одержання високоякісних насіннєвих матеріалів» 0116U004624 (2018-2022 рр.); «Розробка технології та засобів сепарації важковідокремлюваних насіннєвих сумішей» 011811003323 (2018-2022 рр.)

Мета дослідження: підвищення ефективності технологічного процесу подрібнення зерна пшениці шляхом обґрунтування параметрів робочих органів та розробки конструкції здрібнювача сколювальної дії.

Задачі дослідження:

– Провести аналіз існуючих технологій здрібнення, конструкцій здрібнювачів і аналіз взаємодії робочих органів здрібнювачів з зерном пшениці;

– Провести аналіз теоретичних досліджень процесу руйнування зерна, енергетичних витрат на цей процес і обґрунтувати конструктивно-

технологічну схему здрібнювача;

– Створити математичну модель процесу розколу зернівки уздовж борозенці на дві частини і отримати залежності продуктивності та енергоємності процесу від його конструктивно – кінематичних параметрів, а також фізико – механічних властивостей зерна пшениці;

– Виготовити дослідний зразок здрібнювача, провести експериментальні дослідження, визначити енерговитрати і оптимальні режими його роботи;

– На основі розробленого здрібнювача випробувати принципово нову технологію очищення поверхні зерна, виробництво обойного борошна і крупи з новими якісними показниками;

– Обґрунтувати конструктивні і технологічні параметри дискового здрібнювача зерна пшениці, впровадити результати дослідження у виробництво та визначити його техніко-економічний ефект.

Об'єкти дослідження: процес подрібнення зерна пшениці сколювальними ріфлями дискового здрібнювача з урахуванням конструктивних і технологічних параметрів здрібнювача.

Предмет дослідження: встановлення закономірностей взаємодії зернівки з робочими органами здрібнювача та вплив конструктивних параметрів і режимів роботи дискового здрібнювача на ефективність процесу подрібнення зерна.

Методи досліджень: сучасні методи дослідження на основі аналізу вітчизняної та зарубіжної науково технічної літератури. Теоретичні та експериментальні дослідження виконувалися з використанням законів математики, фізики і теоретичної механіки в лабораторних і виробничих умовах.

Обробка результатів досліджень виконана з використанням положень теорії ймовірності та математичної статистики з використанням пакетів програм Microsoft Excel, Компас 3D, MathCad [5, 83].

Для визначення оптимальних конструктивно – кінематичних

параметрів здрібнювача використовувалася методика планування повнофакторного експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів:

Вперше:

- розроблена математична модель та встановлені закономірності руху зернового продукту по похилій поверхні рухомого диска що обертається;

- встановлені закономірності руху зернівки в сколювальному каналі дискового здрібнювача утвореному рифлями, виготовленими на робочій поверхні дисків, на основі чого встановлені закономірності розколу зерна пшениці на дві частини по борозенці;

- на основі теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано нову технологічну схему очищення поверхні зерна при виробництві крупи нового виду та обойного борошна з низьким показником зольності;

- розроблено аналітично – експериментальний метод визначення впливу конструктивно – технологічних параметрів здрібнювача на отримання повноцінного продукту з мінімальними енерговитратами;

Отримав подальший розвиток:

- напрямок моделювання процесу розколу зерна пшениці в сколювальному каналі дискового здрібнювача.

Удосконалено:

- спосіб розколювання зерна по борозенці на дві частини.

Практичне значення одержаних результатів:

На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень розроблений і виготовлений дисковий здрібнювач, конструкція якого дозволяє розколоти зернівку пшениці по борозенці на дві частини.

Обґрунтовано раціональні параметри енергозберігаючого здрібнювача сколювальної дії, який пройшов виробничі випробування і впроваджений в господарствах Богодухівського, Вовчанського районів Харківської області та розроблене обладнання впроваджено в навчальний процес на кафедрі

«Обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв» Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.

В ХНТУСГ ім. П. Василенка на базі розробленого обладнання відкрита науково – практична навчальна лабораторія кафедри "Обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв". Розроблено методичні вказівки до лабораторно-практичних занять з дисципліни "Інженерія переробних і харчових виробництв".

Використання результатів дослідження можливо при проектуванні здрібнювачів сколювального типу і розробці на його основі нових технологій переробки зерна в борошномельній, круп'яній, комбікормовій і фармацевтичній промисловості.

На основі матеріалів дисертаційної роботи розроблені і виготовлені дослідні зразки технологічного обладнання, що використовуються в дослідженнях: подрібнювач сколювального типу; шелушильно – шліфувальні машини; повітряний сепаратор; молотковий вертикальний млин; просіювач циліндричний.

Нові технічні рішення дозволили в 1,5 рази знизити питомі енерговитрати при виробництві крупи і підвищити якісні показники борошна обойного.

Особистий внесок здобуча. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно та викладені у роботах [1-18]. У наукових роботах, які опубліковано у співавторстві, здобувачу належать: результати огляду і аналіз досліджень та визначення напряму підвищення ефективності процесу подрібнення зерна здрібнювачем сколювальної дії [1-4, 10-15, 17]; результати математичного моделювання визначення руху зернівки по поверхні рухомого диску здрібнювача та процесу її подрібнення сколювальними рифлями [7, 9, 14]; методика і результати проведених експериментів, та результати щодо подальшого застосування розробки [5, 6, 8, 16, 18].

Проведено промислову апробацію розроблених технологічних рішень. Розроблено і апробована нова технологія переробки зерна пшениці в борошно і крупу.

Особистий внесок дисертанта підтверджується наданими документами і науковими публікаціями. Автор висловлює глибоку подяку науковому керівнику - доктору технічних наук, професору А.В. Богомолу та співробітникам кафедри за допомогу на всіх етапах роботи.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень були представлені на: XVII – XX Міжнародних науково-практичних конференціях в Харківському національному технічному університеті сільського господарств імені Петра Василенка «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв» відповідно 25.03.2016р., 7.04.2017р., 19.10.2018р. та 8.11.2019р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарства і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність», Харків, 19.11.2018 р. Третій міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності», Харків-Мелітополь-Кирилівка – 5.09.2019р.; XV-ому та XVI-ому Міжнародних форумах молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі».- Харків, ХНТУСГ, 5.04.2019р., 26.03.2020р.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 18 наукових працях, у тому числі: 9 статей у спеціалізованих наукових виданнях України і 1 стаття у виданні яке включена до міжнародної наукометричної бази – [6]), 5 тез у збірниках доповідей наукових конференцій, 2 статті в інших виданнях та 1 патент України на корисну модель.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків 19 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 127 сторінок друкованого тексту, містить 67 рисунків та 18 таблиць. Список використаних джерел нараховує 151 найменувань на 17 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Процесам подрібнення зерна пшениці присвячені багато наукових робіт [53, 55, 68, 85, 90, 103, 108]. Основні завдання які ставили дослідники можна розділити на наступні:

- витяг якомога більшого відсотка ендосперму з зерна пшениці при виробництві борошна;
- максимальний вихід необхідного розміру частинок зерна при мінімальному виході дрібних борошнистих частинок продукту при виробництві крупи і кормів.
- мінімальні енерговитрати при максимальному виході якісного продукту.

1.1. Зерно пшениці як сировина для виробництва продуктів харчування

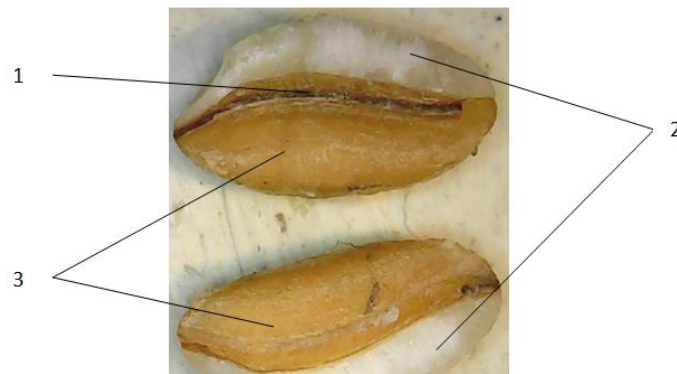
Продовольче зерно служить сировиною для виробництва продуктів харчування: борошно, крупа, манна крупа, макаронна крупка. Побічними продуктами борошномельно-круп'яного виробництва є дрібне зерно, висівки і зародок пшениці. Дрібне зерно і висівки йдуть на корм тваринам.

Зародок пшениці є цінним джерелом біологічно активних речовин і широко використовується в харчовій, кондитерській, хлібопекарській, комбікормовій, парфумерній промисловості і медицині. На борошномельних заводах його отримують як в зерноочисному, так і розмельному відділенні. Фуражне зерно пшениці використовують на корм тваринам або як сировину для виробництва комбікорму [40, 76].

Використання зерна на різні цілі визначається перш за все особливостями його хімічного складу. Суттєве значення має також анатомія і структура зерна пшениці. Зернівка містить органічні сполуки – білки,

вуглеводи, ліпіди, пігменти, вітаміни, ферменти, мінеральні речовини і воду, являє собою органічну сполуку, яка складається з різних за структурою та властивостями анатомічних частин – ендосперму, зародка і оболонки. Виходячи з цього технологічні властивості зерна можна поділити на фізико-хімічні, біохімічні, структурно – механічні та ін. Всі ці властивості знаходяться один з одним в складному взаємозв'язку, що характерно для живих організмів [8, 127].

Частини зерна розколотого уздовж борозенки показано на рис. 1.1. З рис. 1.1 добре видно приховані поверхні, що залягають в глибині зерна. На дні борозенки видно темну пігментну нитку 1 [127].



1 – пігментна нитка; 2 – ендосперм; 3 – зовнішні покриття зерна, недоступні для обробки робочими органами машини

Рисунок 1.1 – Зерно розколоте вздовж борозенки

Сучасні методи дослідження дозволяють визначити зміст металовмісних сполук на ділянках зерна. Як приклад можна привести результати дослідження Бофанг Ян і Марі-П'єр [151], які показали в своєму дослідженні розподіл металовмісних сполук на різних ділянках зерна твердої пшениці рис. 1.2.

Світлим кольором показані скупчення кадмію (а), цинку (б), марганцю (в). Як видно, значна частина металів знаходиться в складці борозенки і на поверхні пігментної нитки. Таким чином, після руйнування зерна, деяка частина металовмісних сполук потрапляє в продукт – борошно або крупу.

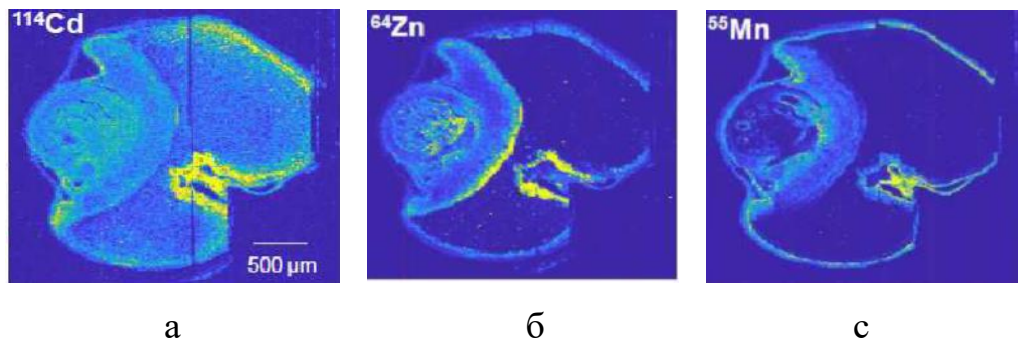


Рисунок 1.2 – Флуоресцентні мікрофотографії поперечного зрізу зерна

Доступ робочих органів до цих поверхонь, дозволить істотно зменшити зольність зерна [19].

1.2. Аналіз способів подрібнення зерна пшениці

Способи подрібнення зерна пшениці характеризуються різним ступенем деформації стиснення і зсуву. Тіло зернівки пшениці деформується під дією навантаження і коли внутрішня напруга в ньому перевищує межу міцності стиску, руйнується [43, 45, 76].

Виходячи з конструкцій технологічних машин, що застосовуються у виробництві борошна, крупи можна виділити основні способи руйнування зерна і проміжних продуктів.

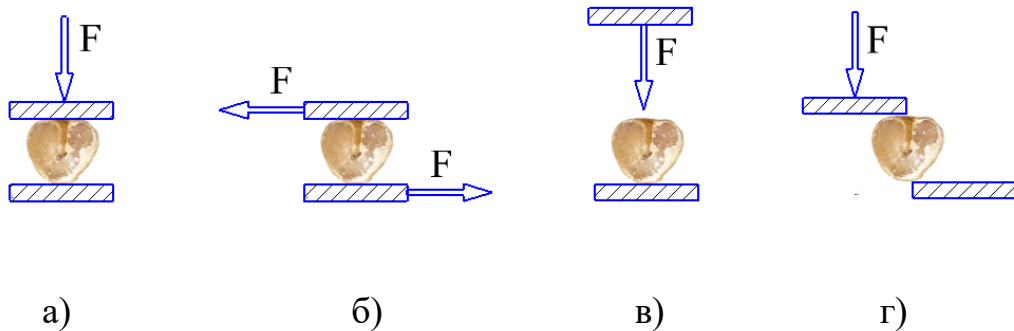
Стиснення. При стисненні зерно під дією навантаження деформується по всьому об'єму і, коли в ньому внутрішня напруга, яка виникає, перевищує межу міцності стиску, воно руйнується (рис. 1.3 а).

Стирання. При стиранні зерно подрібнюється під дією стискаючих і зрізуючих сил, перетворюючись в диспергировану речовину. При стиранні на матеріал діють нормальні і дотичні напруження (рис. 1.3 б).

Удар. При ударі зерно розпадається на частини в результаті дії динамічних навантажень які викликають деформації стиснення, розтягування, вигину і зсуву (рис. 1.3 в).

Сколювання (зрушення). При сколюванні, зерно руйнується під дією

дотичних напружень, при яких, одна його частина зміщується щодо іншої по будь – якій площини або поверхні (рис. 1.3 г).



а) б) в) г)
а – стиснення; б – стирання; в – удар; г – скол (зрушення)

Рисунок 1.3 – Основні способи руйнування зерна пшениці

При взаємодії зернівки з робочими органами машини, як правило, присутні кілька видів впливу [28, 41, 77].

1.3. Аналіз досліджень по статичному руйнуванню зерна пшениці

Дослідженнями міцності зерна займалися багато вчених, як в Україні так і за її межами [1, 2, 15, 21, 47, 53, 55, 70, 78, 85, 121] Значний інтерес представляють роботи В. Я. Гіршсона, які проводилися на пресі з ручним приводом, який допускав вимірювання зусиль при статичному стисненні і зсуві. Результати дослідження для склоподібної пшениці показані в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Руйнівне зусилля цілого зерна і ендосперму [37]

Розташування зернівки	Руйнівне зусилля, Н/см ²					
	Ціле зерно			Ендосперм		
	Стиснення	Сколювання	Зрізання	Стиснення	Сколювання	Зрізання
Борозенкою вгору	81	71	49	46	10,2	7,2
Борозенкою вниз	74	67	48			
Борозенкою збоку	120	100	66			

Результати досліджень В.Я. Гірсона показали, що напруги, необхідні для руйнування зерна стисненням значно більші (в 3,5 рази – для склоподібних і в 5,6 – рази борошнистих) напружень, ніж при руйнуванні зерна сколюванням [37].

Аналогічні експериментальні дослідження також проводили Хусід С.Д., Злочевський В.Л., Солнцев Р.В., Соломка О.В., Нанка О. В. [43, 78, 97, 98, 106].

Вплив геометричних розмірів зерна на величину зусиль, необхідних для його руйнування стисненням представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Вплив розмірів зерна на величину руйнування стисненням, Н [43]

Розмір зерна, мм (довжина × ширина × товщина)	Сорт пшениці	
	Полускловидна	Борошниста
5,8×2,8×2,8	113,76	90,22
5,4×2,8×2,6	98,07	78,45
5,0×2,4×2,2	91,2	73,55
4,6×2,0×2,0	78,45	67,67
4,6×1,8×1,6	75,51	62,76

Згідно з даними експериментальних досліджень проведених в 1972 році А.А. Роєм, величина зусилля стиснення змінюється в залежності від напрямку його застосування і вологості зерна (табл.1.3).

Таблиця 1.3 – Зусилля стиснення, необхідні для руйнування цілого зерна, Н [87]

Сорт пшениці	Напрямок впливу			
	вздовж зерна		поперек зерна	
	вологість, %			
	12	16	12	16
Тверда	72,57	49,03	141,22	92,18
М'яка	41,19	37,27	81,4	66,69

Окремо потрібно відзначити вплив вологості зерна на структурно-механічні властивості зерна і ефективність його подрібнення. У проведених дослідженнях було встановлено, що з підвищенням вологості зерна зростає його опір руйнуванню, знижується мікротвердість і підвищується питома витрата енергії на одиницю новоствореної поверхні [47]. Це явище пояснюють збільшенням пластичності зерна в цілому і його анатомічних частин з підвищенням вологості. Особливо помітно пластичні деформації зростають в оболонках і значно чинять опір руйнуванню.

Тому при подрібненні зволоженого зерна потрібні більші витрати енергії, ніж при подрібненні сухого зерна. З досліджень С. Д. Хусід [105, 106, 107], наведених у таблиці 1.4 видно, що міцність зерна різної якості зі збільшенням вологості зростає, витрати енергії на одиницю новоствореної поверхні також підвищуються.

Таблиця 1.4 – Зміна міцності зерна при його різній вологості [105]

№ п/п	Сорт пшениці	Скло-подібність, %	Вологість, %	Витрати енергії на подрібнення 1 кг зерна, Вт·с	Витрати енергії на новостворену поверхню, Вт·с/см ²	Показники міцності зерна, кг/м ²
1.	Одеська 3	91	12,0	8 200	0,205	209
			15,4	9 240	0,217	221
			16,7	9 450	0,245	250
			19,2	10 080	0,276	282
2.	Мильтурум 553	60	11,0	6 720	0,150	153
			14,2	9 200	0,171	173
			16,3	9 200	0,186	190
			18,6	9 880	0,209	213
3.	Лютесценс 62	15	10,0	4 320	0,118	120
			15,1	6 000	0,122	124
			17,1	8 320	0,147	150
			19,7	9 180	0,176	180

1.4. Характеристика і аналіз роботи машин сколювальної дії

Найбільш близькими за тематикою цієї роботи є дослідження проведені Злочевським В.Л., Абрамовим А.А., Іскендеровим Р.Р., Щумским Ф.С., Пушкарьовим А.С., Шкондіним В.Н. [1, 48, 56, 83, 85, 108].

У всіх дослідженнях поділ матеріалу на частини відбувається за допомогою дотичного напруження зсуву. Розглянемо докладно взаємодію робочих органів з зернівкою.

У дослідженнях Злочевського В.Л. було показано, що незалежно від положення зернівки на поверхні деки, розколювання зернівки відбувається по площині борозенки (рис. 1.4).

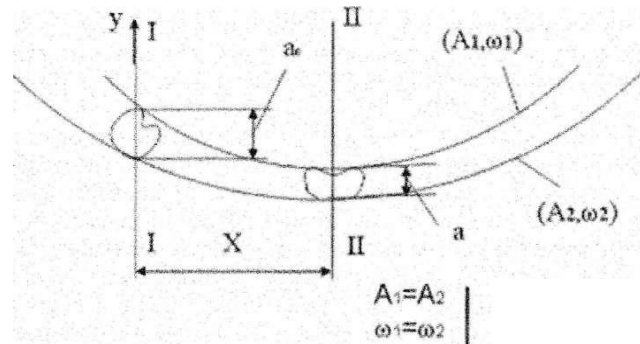


Рисунок 1.4 – Взаємодія зернівки з поверхнями деформатора до руйнування (I) і після (II)

Після захоплення зернівки починається процес пружної деформації і після досягнення межі міцності зернівки, відбувається розколювання по ослабленому місцю зернівки – борозенки.

Отже, різні частини деформованої зернівки взаємодіють між собою на поверхні розділу, уздовж яких вони межують одна з одною. Наприклад, зародок, який вибивається найбільш повно і виводиться при сепарації, найменш міцно з'єднаний в зернівці. При такому розколюванні енерговитрати на одну зернівку пшениці склали 0,026...0,028 Дж [48].

У дослідженні Іскендерова Р.Р. показаний процес руйнування одиначної зернівки робочими органами здрібнювача сколювального типу. Як

видно з рис. 1.5 зернівка може знаходитися, як впоперек так і вздовж до робочого органу здрібнювача.

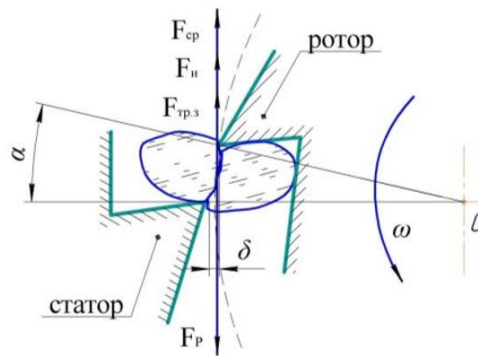


Рисунок 1.5 – Схема зрізу зернівки робочими органами

Результуюча сила зрізу F_p , що відповідає за проходження матеріалу повз зони зрізу, тобто обумовить критичну силу при якій відбувається відкол частки зернівки в цій конструкції визначиться:

$$F_p = F_{зр} + F_{и} + F_{тр} \quad (1.1)$$

де $F_{зр}$ – сила зрізу;

$F_{и}$ – сила інерції;

$F_{тр}$ – сила тертя.

Сила зрізу (руйнівне зусилля) $F_{зр}$ дорівнює відношенню площі зрізу до критичної напруги матеріалу на скол:

$$F_{зр} = \tau \cdot AS_{зр}, \quad (1.2)$$

де τ – критична (що руйнує) напруга на зріз зернівки, Н/м²;

$S_{зр}$ – площа поверхні, по якій стався зріз (скол) зернівки, м².

У дослідженні Іскендерова Р.Р. питома енергоємність процесу при різних значеннях факторів коливається в діапазоні від 1,39 до 1,68 Вт·ч/кг [58].

В роботі Шумського А.С. проведено аналіз довговічності здрібнювача зернових матеріалів роторного типу. На рис. 1.6 показана схема робочих органів, в яких поділ матеріалу на частини, відбувається за допомогою дотичного напруження зсуву, способом «сколювання-зріз».

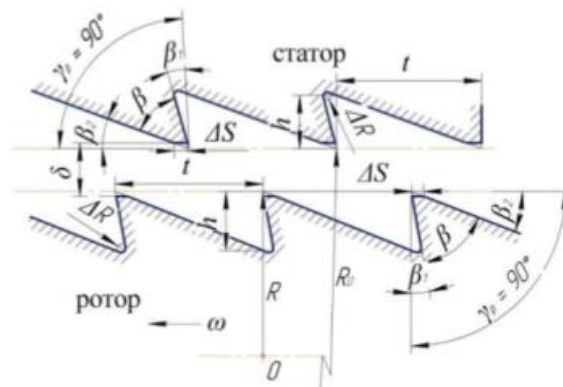


Рисунок 1.6 – Схема зрізу зернівки робочими органами

У подрібнювальній порожнині працюють численні сили тертя, як зернівок по зернівки, так і шару матеріалу об робочі органи здрібнювача. Вони залежать від властивостей зернових частинок, цілісності їх структури (наявність мікротріщин) та виду зусиль що руйнують (кут атаки, загострення рифель, швидкість впливу і т.д.).

Питома енергоємність при подрібненні зернового матеріалу склала 2,75 Вт·год/кг [69, 70]. Як видно всі способи подрібнення побудовані за принципом сколювання зерна. У всіх дослідженнях було показано переваги процесу подрібнення, – сколюванням з точки зору енерговитрат. При цьому виборчим подрібненням, а саме розколювання зернівки по борозенці на дві частини, володіє лише деформатор В.Л. Злочевського.

Недоліком машин подібного роду є великий вихід дрібних фракцій.

1.5. Аналіз досліджень в області енергетики подрібнення зерна

Для пояснення процесу подрібнення важливі дослідження структурно-механічних властивостей зерна і умови його деформування. Значний внесок у

вивчення структурно-механічних властивостей зерна в зв'язку з його деформацією вніс Гіршсон В. Я., який визначив на спеціальному пресі зусилля, що руйнують при розтягуванні, стисненні і зсуві для цілого зерна пшениці та жита і їх анатомічних частин. Він встановив, що зусилля зрізу, що руйнують як для цілого зерна, так і для його різних анатомічних частин в 3-5 разів менше, ніж при деформації стиску. Аналогічні результати були отримані П.П. Тарутиним і Н.М. Орловим, Н.В. Врасським, П.Г. Демидовим, І.В. Крагельським, А.Л. Шполянською та іншими вченими.

Запропоновані теорії процесу подрібнення і проведені роботи по вивченню умов деформування зерна при його подрібненні не пояснювали процес подрібнення зерна з його якісного боку, що найбільш важливо при виборчому подрібненні, оскільки отримані проміжні продукти відрізняються не стільки кількісними, скільки якісними показниками. С.Д. Хусід істотно розширив і доповнив теорію подрібнення зерна на вальцових верстатах, використовуючи фундаментальні праці В.Д. Кузнєцова з фізики твердого тіла. Останній ввів поняття про швидкість деформування твердих тіл W , фізичний зміст якого – це швидкість прикладених зусиль, що руйнують до руйнованого тіла, швидкість зменшення об'єма матеріалу, що подрібнюється; вона являє собою першу похідну від відносної деформації в часі: $W=d\sigma/dt$, де σ – відносна деформація, яку можна означити як відносне збільшення поверхні в результаті подрібнення. Збільшення швидкості деформування твердих тіл, як правило, призводить до їх крихкого руйнування, що пов'язано з підвищенням межі текучості. Дослідження С.Д. Хусід показали, що швидкість деформування – це важливий фактор в процесі подрібнення зернових продуктів, що істотно впливає на кількісно-якісні показники процесу подрібнення. Ендосперм пшениці при вологості 13...14 % являє собою типово крихке тіло, однак за певних умов силового навантаження і навколишнього середовища він може проявляти властивості пластичних тіл. У цьому сенсі швидкість деформування і інші умови подрібнення грають важливу роль [77].

У роботах багатьох авторів наведені дані по питомої енергоємності подрібнюючих машин [47, 81, 82]. Результати зведені в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 – Подрібнюючі машини і їх питома енергоємність [82]

№ п/п	Найменування машини	Способи подрібнення	Питома енергоємність, кВт·год/т
1	Вальцовий верстат	Стиснення, стирання і зсув	4,5...8,5
2	Молоткова дробарка	Удар, стирання	5,2...13,6
3	Дисковий млин	Сколювання, стирання	1,1
4	Энтолейтор	Удар, стирання	1,9
5	Жорновий постав	Стирання, стиснення і зсув	19,3
6	Вальцедековий верстат	Стирання, стиснення і зсув	2,9
7	Деташер	Удар, стирання	3,8
8	Плющильний верстат	Стиснення	1,9...182,2
9	Вимольна машина	Удар	4,2

Як видно з табл. 1.5 найменшу питому енергоємність мають дискові млини, в яких використовується спосіб подрібнення – сколювання, стирання.

З інших джерел питома енергоємність процесів подрібнення зернових відповідно становить: плющення – 182,2 Вт·год./кг, стирання – 23,2 Вт·год/кг, удар – 18,3 Вт·год/кг, сколювання і різання – 2,2 Вт·год/кг. Тобто менш енергоємним є спосіб подрібнення зрушення, сколювання, який використовується в дискових млинах.

Гіпотеза розколювання зерна на частини по борозенки в даній роботі, заснована на тому, що шляхом оптимізації конструкції сколювального каналу, з урахуванням коефіцієнта тертя зернівки об робочі поверхні і кутової швидкості нижнього диска можна знизити енергоємність процесу і підвищити вихід готового продукту заданого виду.

Висновки за розділом 1

Аналіз сучасного стану технічного процесу очищення поверхні зерна пшениці та її подрібнення дозволяє зробити висновки:

1. Застосовані технології і способи очищення поверхні зерна пшениці та її здрібнення не забезпечують високої ефективності. Найбільші труднощі викликає очищення поверхні зерна закритої в борозенці, де скупчена і найбільша кількість контамінантів.

2. Аналіз морфологічної будови зерна та літературних джерел дозволяє визначити, що скол зерна пшениці уздовж борозенки є найменш енергоємний. Такий скол дозволяє отримати доступ робочих органів шелушительних машин до новостворених поверхонь, що були скриті в борозенці.

3. Аналіз досліджень способів подрібнення зерна пшениці та руйнівних зусиль показує, що зі збільшенням розмірів зерна зростає величина руйнівних зусиль. Зусилля необхідні для руйнування сколоподібного зерна стисненням більше в 3,5 рази, ніж при руйнуванні зерна сколюванням, а з підвищенням вологості зерна зростає його опір руйнуванню і зростають показники питомої витрати енергії і показники міцності зерна.

4. Аналіз досліджень в області енергоефективності показує, що найменшу питому енергоємність мають дискові млини, в яких використовується спосіб подрібнення сколювання-стирання.

5. В літературних джерелах не розглянути питання процесів очищення поверхні зерна пшениці після її розколювання вздовж борозенки та розробки дискових здрібнювачів для здійснення процесу розколу на дві половинки.

На основі вищевикладеного визначено наступні задачі досліджень:

1. Провести аналіз існуючих технологій подрібнення, конструкцій здрібнювачів і аналіз взаємодії робочих органів здрібнювачів з зерном пшениці;

2. Провести аналіз теоретичних досліджень процесу руйнування зерна,

енергетичних витрат на цей процес і обґрунтувати конструктивно-технологічну схему здрібнювача.

3. Створити математичну модель процесу розколу зернівки уздовж борозенки на дві частини і отримати залежності продуктивності та енергоємності процесу від його конструктивно-кінематичних параметрів, а також фізико-механічних властивостей зерна пшениці;

4. Виготовити дослідний зразок здрібнювача, провести експериментальні дослідження, визначити енерговитрати і раціональні режими його роботи;

5. На основі розробленого здрібнювача випробувати принципово нову технологію очищення поверхні зерна, виробництво обойного борошна і крупи з новими якісними показниками;

6. Обґрунтувати конструктивні і технологічні параметри дискового здрібнювача зерна пшениці, впровадити результати дослідження у виробництво та визначити його техніко-економічний ефект.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОЦЕСУ
ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА І РОЗРОБКА ЗДРІБНЮВАЧА

2.1. Аналіз морфолого-анатомічних властивостей зерна

Для кращого використання потенційних можливостей зерна пшениці розглянемо більш докладно морфолого-анатомічні властивості зерна. Зовнішній вигляд зерна пшениці показаний на рис. 2.1. Зерно пшениці має різну форму: подовжену, яйцеподібну, овальну і бочкоподібну. Найчастіше зустрічаються овальна і яйцеподібна форми.



1 – вид з боку бочка; 2 – вид з боку спинки; 3 – вид з боку черевця;
4 – поздовжній розріз зернівки по борозенці 5 – поперечний розріз зернівки:
 A – ширина зернівки; B – товщина зернівки; L – довжина зернівки; a – розмах
петлі борозенки; b – глибина залягання борозенки

Рисунок 2.1 – Морфологічна будова зернівки пшениці

Вона має опуклу спинну сторону і більш плоску черевну, уздовж якої видно повздовжня борозенка. На тупому кінці зернівки є волоски (борідка, чубчик). Уздовж зерна розташована борозенка (жолобок), яку більш чітко видно, якщо зерно розрізати впоперек (рис. 2.1 - 5).

Борозенка – це специфічне утворення складної форми на черевній стороні поверхні зерна справжніх хлібів: пшениці, ячменю, жита, вівса і тритикале. Наявність її істотно позначається на організації і веденні сортових помолів. Борозенка характеризується шириною і глибиною залягання (рис. 2.1).

Присутність в зерні борозенки збільшує зовнішню поверхню, а значить і вміст оболонки. Також в ній накопичується пил і бруд, від яких зерно важко очистити. При переробці зерна бруд може потрапити в борошно. Борозенка буває дрібною (основа не доходить до центру зерна), середньої (доходить до центру зерна) або глибокої (основа борозенки нижче центру зерна) а також може бути вузькою, середньою і широкою. Борозенка зерна пшениці утворює так звану петлю. Спостерігаються відмінності у формі та розмірах петель твердої і м'якої пшениці. Для твердої пшениці характерна більш дрібна борозенка і вузька петля, а для м'якої – більш глибока борозенка, її петля значно заходить в ендосперм зерна, внаслідок чого в ендоспермі з'являється частки верхніх оболонки зерна [11, 65, 127].

Для конфігурації петлі борозенки характерна значна мінливість. Відношення глибини борозенки b до товщини зерна пшениці B знаходиться в межах 43...71 %, а відношення розмаху петлі борозенки до ширини зерна – 7...36 %. Виявлено обернено пропорційну залежність цього показника з борошномельними властивостями – виходом борошна та його якістю. Так, при зменшенні показника відношення глибини борозенки до товщини зерна від 71,5 % до 60,5 % спостерігається збільшення виходу борошна першого сорту з 69,2 % до 73,7 %. У борошна 70 %-го виходу спостерігається зниження зольності з 0,78 % до 0,61 % [76].

З огляду на проблему створення машин з переробки зерна з боку особливостей анатомічної будови зерна, то можна припустити, що після його розколу на дві частини по борозенці будуть створені умови для доступу робочих органів машин до новостворених поверхонь. Це дозволить створити нові технології очищення зерна і отримати нові типи продукції з зерна

пшениці [19, 20, 49]. Більш детально ці технології будуть показані нижче.

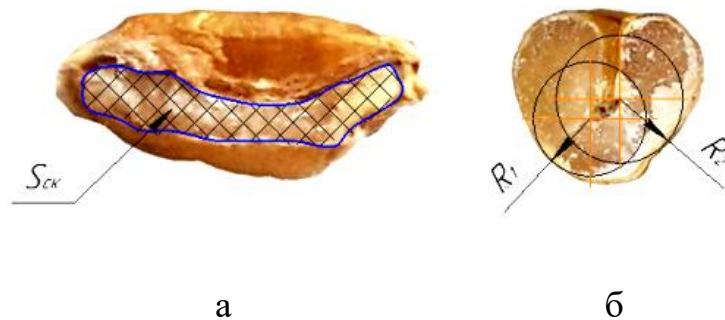
У деяких роботах вчених порушено лише питання розколювання зерна пшениці по борозенці. Зокрема в роботах Злочевського В.Л. [48] отримані результати досліджень науково підтверджують високий позитивний ефект використання розколотого зерна по борозенці на дві частини. При лабораторному розмелі зерна ярої м'якої пшениці встановлено збільшення загального виходу борошна до 3 % при поліпшенні її якості (за вмістом білка і клейковини) [44]. Але Злочевським В.Л. не розглядається питання очищення розколотого зерна від контамінатів. Тема розколу зерна по борозенці на дві частини з метою отримання нових технологій очищення поверхні зерна і переробки зерна на даний час представлена вперше.

2.2. Теоретичні передумови зменшення енерговитрат

Подрібнення є одним з найбільш енергоємних процесів при переробці зерна пшениці в борошно і крупи. Процес подрібнення визначається дією зовнішніх сил, які викликають деформацію зернівки і як наслідок її руйнування. Відомо, що з різних видів навантаження менш енергоємним є зрушення. Це підтверджено багатьма дослідниками в роботах присвячених подрібненню зерна [15, 17, 19, 51, 53, 56]. Як уже згадувалося морфологічна будова зерна дозволяє розколоти його вибірково по борозенці на дві частини. На рис. 2.2 показаний повздовжній зріз зернівки після її розколу по борозенці. На нашу думку розкол зерна по борозенці виявиться менш енергоємним, ніж розкол в будь-якому іншому напрямку, і отже запропонована в [15, 19] нова технологія виробництва крупи і борошна із зерна пшениці крім поліпшених показників якості виявиться у вигащі з точки зору зменшення енергоємності.

З перерахованих способів подрібнення зерна описаних в розділі 1.2, тільки зусилля відколу (зрізу) прикладені до зерна можуть вибірково розколоти зерно по борозенці на дві частини. Як видно з рис. 2.2,а

концентрація напруги відколу буде формуватися уздовж краю петлі, тому можна припустити, що зріз відбудеться по перетину з найменшою площею сформованої від внутрішнього краю борозенки до краю зовнішніх покривів зернівки. На рис. 2.2,б показано поперечний переріз зернівки і можливі варіанти відколу її на дві частини, виходячи з того, що $R_1 < R_2$ (виміри проводилися в програмі Компас 3D) можна припустити, що скол відбудеться по площині з меншим значенням площі утвореної перетином борозенки по лінії найменших концентрацій на якій знаходиться один з центрів окружності з радіусом R_1 .



а – подовжній перетин зернівки; б – поперечний переріз зернівки

Рисунок 2.2 – Подовжній і поперечний зріз зернівки

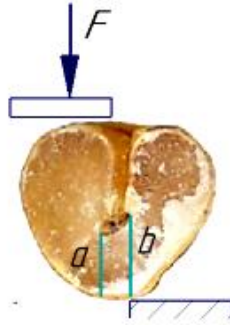
Таким чином найменша сила руйнування зерна відповідає силі зсуву прикладеної по борозенці як показано на рис. 2.3. Це припущення знаходить своє підтвердження в дослідженнях багатьох авторів [12, 44].

При сколюванні (рис. 2.2,а) зерно пшениці ділиться по борозенці на дві частини шляхом послідовного зсуву (відколу) однієї частини зернівки щодо іншої частини зернівки.

Зрушення супроводжується дією дотичних напружень і коли настає їх критичне значення тіло руйнується за рахунок зміщення однієї його частини щодо іншої. При досягненні внутрішньої напруги межі міцності зернівки, відбувається її руйнування.

При навантаженні зернівки, як показано на рис. 2.3, зернівка (в

ідеальному випадку) розколюється по борозенці на дві частини шляхом послідовного зсуву (розколу) однієї частини зернівки щодо іншої частини зернівки.



a – лінія проекції площі зрізу з лівого боку передбачуваного відколу;
 b – лінія проекції площі зрізу з правого боку передбачуваного відколу

Рисунок 2.3 – Варіанти відколу зерна

Значення напруги по площині зрізу визначається за формулою:

$$\tau = \frac{F_{зр.}}{S_{зр.}} ; \quad (2.1)$$

де τ – напруження зрізу;

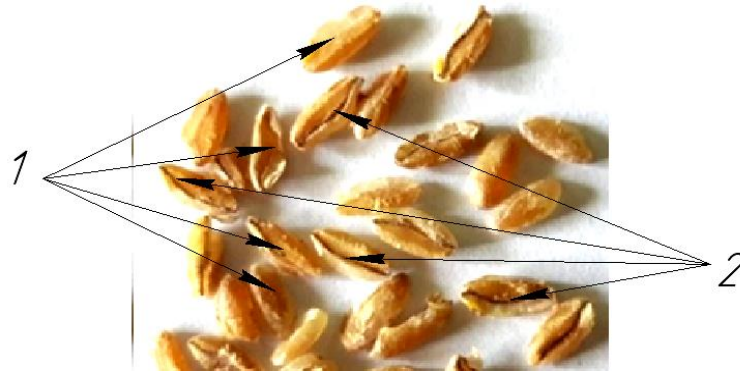
$F_{зр.}$ – сила прикладена до зернівки;

$S_{зр.}$ – площа зрізу зернівки.

Зрушення супроводжується дією дотичних напружень і коли настає їх критичне значення тіло руйнується за рахунок зміщення однієї його частини щодо іншої. При досягненні внутрішньої напруги межі міцності зернівки, відбувається її руйнування.

Якщо припустити, що ендосперм за своєю консистенцією однорідний, то розколювання зернівки відбудеться по площині з мінімальною площею зрізу утвореної уздовж борозенки до зовнішньої поверхні зернівки, а саме по лінії a , як показано на рис. 2.3.

Це припущення знайшло своє візуальне підтвердження в ході експерименту. Як видно з рис. 2.4 при сколі зерна на одній частині зерна видно пігментну смугу, а на іншій її немає [19].



1 – половина розколотого зерна без пігментного смуги; 2 – половина розколотого зерна з пігментного смугою

Рисунок 2.4 – Зерно розколоте по борозенці на дві половини

В роботі Романьскі Л. [88] який досліджував зміну внутрішньої структури зерна пшениці при його плющенні під впливом зовнішнього навантаження показано, що створення тріщини йде по найменшій відстані від спинки зерна до найближчої виступаючої частини устиця (рис. 2.5). Після розколу по тріщині на одній частині зерна залишаються пігментні утворення, а на іншій немає.

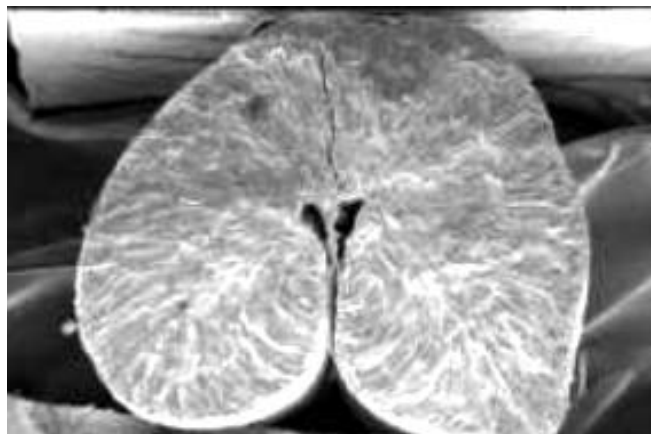


Рисунок 2.5 – Поперечний перетин плющеного зерна пшениці сорту Navigator – стиснення 0,2 мм, збільшення 41х

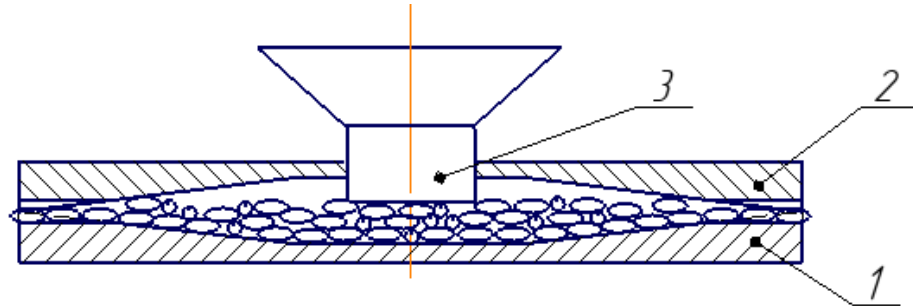
Так само це припущення підтверджується експериментальною роботою проведеною на кафедрі інформатики, обчислювальної техніки та інформаційної безпеки ФГТУ ім. І.І. Ползунова в дослідженнях присвячених вивченню роботи маятникового деформатора і властивостей зерна при подрібненні. Цими дослідженнями встановлено, що розкриття зерна відбувається строго по борозенці, не залежно від того, як це зерно було розміщено на опорній поверхні (борозенкою вгору, борозенкою вниз або борозенкою убік).

При досягненні межі міцності оболонки, розкриття зерна відбувається по найбільш вразливому місцю - борозенці. При подальшому просуванні в робочій зоні відбувається часткове руйнування ендосперму, енерговитрати на подрібнення становлять близько 0,026...0,028 Дж. Напруга сколюванням ендосперму твердої пшениці становить 0,95...1,10 МПа, м'яких сортів – 0,28...0,32 МПа. Напруги оболонок, що руйнують в залежності від вологості і сорту зерна становлять 9,5...31,5 МПа, а розривна напруга ендосперму всього лише 1,7...3,3 МПа [48, 49]. З даних наведених у таблиці 1.1 видно, що руйнівне зусилля сколювання необхідне для руйнування ендосперму зерна в рази менше ніж цілого зерна. Тому вважаємо, що для зменшення енерговитрат на подрібнення зерна після очищення, його необхідно лущити. Коефіцієнт лущення зерна виходячи з робіт Верещинського потрібно брати 5–6, так як в такому випадку лущення відбудеться до алейрованого шару мінімально зачіпаючи ендосперм [35]. З огляду на те, що характеристики зерна різняться навіть в одному сорті будемо уточнювати значення коефіцієнта лущення в практичній частині дисертації.

Проведений порівняльний аналіз здрібнювачів зерна сколювального типу з іншими машинами, застосовуваними для руйнування цілого зерна, показав, що він має набагато меншу питому енергоємність – 1,1 Вт·год./кг (табл. 1.5).

2.3. Моделювання процесу руху зернівки в робочій камері здрібнювача

Схема робочої камери дискового здрібнювача сколювальної дії представлена на рис. 2.6.



1 – нижній диск що обертається; 2 – верхній нерухомий диск; 3 – бункер

Рисунок 2.6 – Схема робочої камери здрібнювача сколювальної дії

Сипуча суміш, що складається з зернівок пшениці, обертається разом з рухомою камерою і при відповідній подачі з бункера поводить себе як рідке середовище. Правомочність цього твердження показана в [71, 25].

Рух цього середовища з точки зору гідродинаміки показано на рис. 2.7. Розглянемо рівновагу середовища, що рухається відносно камери та рівномірно обертається навколо вертикальної осі з кутовою швидкістю ω .

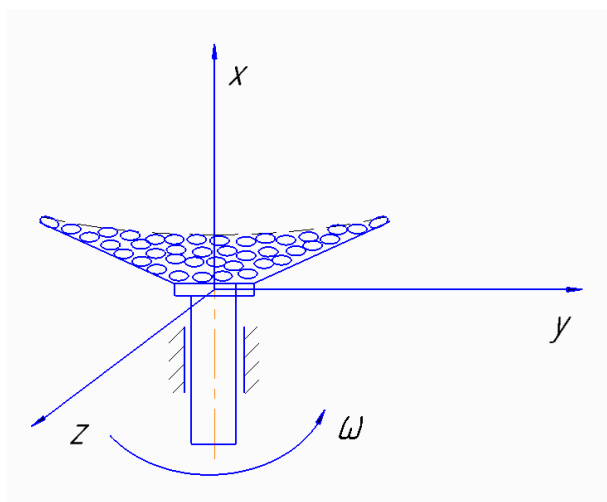


Рисунок 2.7 – Розташування зернівок на поверхні диска

Тоді проекції сил на осі координат будуть:

$$x=-g; \quad y=\omega^2 y; \quad z=\omega^2 z, \quad (2.2)$$

де g – прискорення сили тяжіння;

ω – кутова швидкість.

Згідно рівняння Ейлера рівноваги рідини або газу можна записати (при постійній щільності середовища):

$$d p = \rho(x dx + y dy + z dz), \quad (2.3)$$

Рівняння (2.3) показує, як змінюється тиск при зміні координат всередині рідини для загального випадку відносного спокою. Рівняння (2.3) після інтегрування набуде вигляду:

$$p = \frac{\rho\omega^2}{2}(z^2 + y^2) - \gamma x + C.$$

Постійна C визначиться з умови:

$$x=x_0, \quad y=z=0 \quad \text{и} \quad P=P_0.$$

Значить $c = p_0 + \gamma x_0$, где γ – питома вага середовища.

Тоді тиск:

$$p - p_0 = \frac{\rho\omega^2}{2}(z^2 + y^2) - \gamma(x - x_0),$$

що для поверхні рівня $p=p_0$ дає:

$$\omega^2(z^2 + y^2) = 2g(x - x_0),$$

після перетворення отримуємо

$$z^2 + y^2 = \frac{2gx}{\omega^2} - \frac{2gx_0}{\omega^2}. \quad (2.4)$$

Видно, що це є поверхня параболоїда обертання, фокальний параметр $p = \frac{g}{\omega^2}$.

Будемо вважати, що частинки (зернівки) рухаються по поверхні параболоїда під дією відцентрової сили. Поверхня обертається навколо вертикальної осі x з постійною кутовою швидкістю ω (рис. 2.8).

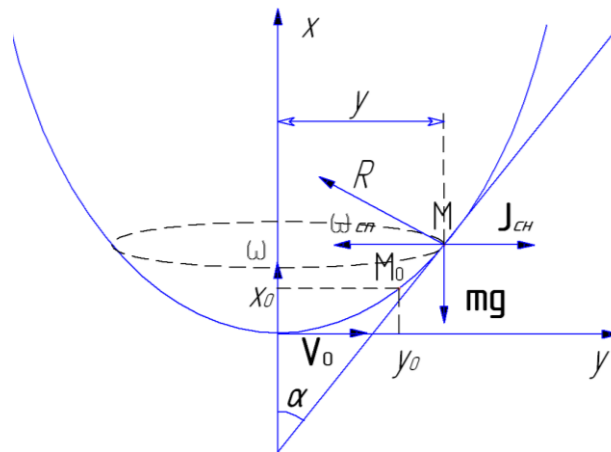


Рисунок 2.8 – Сили прикладені до зернівки

Зобразимо частку в проміжному положенні $M(x, y)$ в припущенні, що вона рухається по поверхні вгору. Вага частинки $P=mg$.

До зернівці прикладені сили:

P – вага частинки, R – нормальна сила реакції поверхні. Додамо сили інерції в переносному русі \vec{J}_e і Кориолісову силу інерції \vec{J}_c .

При рівномірному обертанні з кутовою швидкістю ω кутове прискорення ε дорівнює нулю. Отже, переносне обертальне прискорення частинки $\vec{\omega}_{ez}$ і обертальна сила інерції в переносному русі \vec{J}_{et} рівні нулю. Переносне доцентрове прискорення ω_{en} спрямовано по горизонталі вліво, причому $\omega_{en} = y\omega^2$.

Тому відцентрова сила інерції в переносному русі \vec{J}_{en} спрямована по горизонталі, направо і по модулю дорівнює $J_{cn} = \frac{p}{g} y \omega^2$.

Прискорення Коріоліса $\vec{\omega}_c = 2\vec{\omega} \times \vec{V}_r$ спрямовано перпендикулярно до площини рисунка 2.8 від нас (\vec{V}_r згідно зробленому припущенню, спрямоване по дотичній до поверхні в точці M вгору). Таким чином, Коріолісова сила інерції J_c спрямована перпендикулярно до площини рисунка на нас по модулю дорівнює:

$$J_c = 2 \frac{p}{g} \omega V_r \sin \alpha.$$

Складемо диференціальне рівняння відносного руху матеріальної точки в проекції на дотичну τ до частинки в даній точці M :

$$\frac{P}{g} W_{r\tau} = J_{cn} \sin \alpha - P \cos \alpha.$$

(Сили \vec{R} і \vec{J}_c проектується на вісь τ в точку). Враховуючи, що $J_{cn} = \frac{p}{g} y \omega^2$, а

$W_{r\tau} = \frac{dv_r}{dt}$, находим:

$$\frac{dv_r}{dt} = y \omega^2 \sin \alpha - g \cos \alpha. \quad (2.5)$$

Але т. к. $\frac{dy}{dx} = tg \alpha$, то $\sin \alpha = \frac{dy}{d\sigma}$, $\cos \alpha = \frac{dx}{d\sigma}$, де σ – дугова координата разом з тим,

$$\frac{dv_r}{dt} = \frac{dv_r}{d\sigma} \cdot \frac{d\sigma}{dt} = V_r \frac{dv_r}{d\sigma}.$$

Тоді рівняння (2.5) набуває вигляду

$$V_r dV_r = \omega^2 y dy - g dx.$$

Інтегруючи це рівняння, знаходимо:

$$V_r^2 = \omega^2 y^2 - 2gx + C.$$

Але при $z=0$

$$y^2 = \frac{2g}{\omega^2} x = 2px.$$

Тоді

$$V_r^2 = 2(p\omega^2 - g)x + C. \quad (2.6)$$

Визначимо швидкість частинки V_r у відносному русі, знаючи, що в початковий момент частка перебувала в положенні M_0 с абсцисою x_0 . Підставивши в рівняння (2.6) $x=x_0$, $V_r = 0$, отримуємо

$$C = -2(p\omega^2 - g)(x-x_0),$$

отже, рівняння (2.6) набуває вигляду

$$V_r^2 = 2(p\omega^2 - g)(x - x_0),$$

звідки

$$V_r = \sqrt{2(p\omega^2 - g)(x - x_0)}. \quad (2.7)$$

Це відносна швидкість уздовж дотичній до поверхні суміші. Тепер поставимо в (2.6) значення $x=0$, $V_r = V_0$. Отримаємо, що $C = V_0^2$.

Отже, рівняння (2.6) набуває вигляду $V_r^2 = V_0^2 + 2(p\omega^2 - g)x$, звідки

$$V_r = \sqrt{V_0^2 + 2(p\omega^2 - g)x} \quad (2.8)$$

У нашому випадку $\omega^2 = \frac{g}{p}$, то з формули (2.8) випливає, що $V_r = V_0$, тобто частка буде рухатися по поверхні параболоїда з постійною за модулем швидкістю V_0 . Тобто бажано виконання нижнього диска здрібнювача у вигляді параболоїда. Це забезпечує безперебійну подачу частинок до сколювальних каналів, і сприяє зміщенню скупчення частинок перед сколювальними каналами.

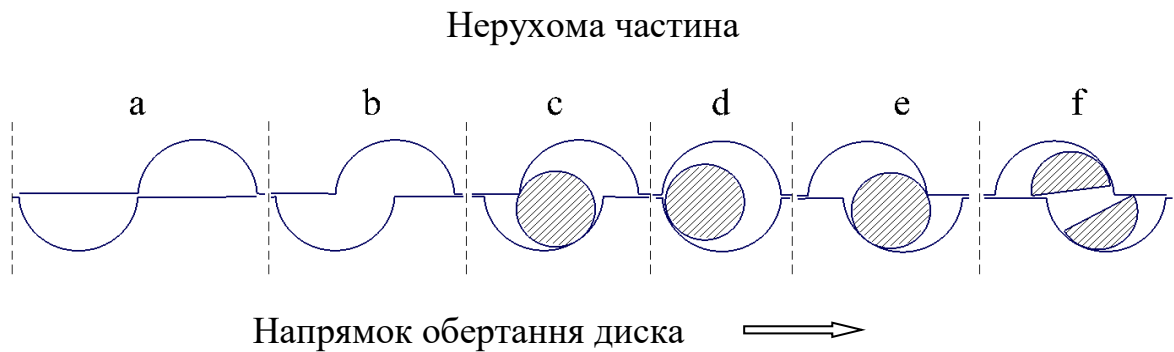
2.4. Позиціонування зернівки в каналі здрібнювача

Що стосується орієнтації частинки в русі в гору по поверхні суміші до подрібнюючих каналів, слід мати на увазі таку обставину: всі зернівки (частки), що мають довгасту форму, вишиковуються уздовж дії відцентрової сили найбільшим розміром по радіусу обертової частини. Це пояснюється тим, що частина зернівки, розташована далі від центру обертання, відчуває велику силу інерції, ніж та, яка розташована ближче до центру. В результаті виникає крутний момент, що повертає частку уздовж по радіусу обертової частини.

Таким чином, зернівка орієнтується своїм торцем безпосередньо перед сколювальним каналом. Цей канал формується збігом рушійного каналу з нерухомим. Ця ситуація показана на рис. 2.9, тут показаний момент утворення сколювання в каналі від величини просвіту рис. 2.9 (b) до відколу зернівки рис. 2,9 (f).

На рис. 2.9 показано позиціонування зернівки в каналі дискового здрібнювача. В положенні (c) зернівка попадає в канал. В положенні (d) рухається, в положенні (e) стає миттєво нерухомою відносно каналу і в

положенні (f) сколюється.



a, b – освіту просвіту; c – вхід в канал; d – рух по каналу; e – заклинювання зернівки; f – скол зернівки

Рисунок 2.9 – Позиціонування зернівки в каналі здрібнювача

Після сколу зернівки половина її (нижня) залишає камеру по рухомій частині каналу під дією відцентрової сили, а верхня по інерції і шляхом захоплення її нижніми рухомими частинами зернівок.

При подальшому просуванні зернівка потрапляє в канал нижнього диска і фіксується в ньому строго по осі X. Досягнувши краю диска, зернівка затискається між робочими поверхнями каналу, що обмежені рифлями рухомого і нерухомого дисків.

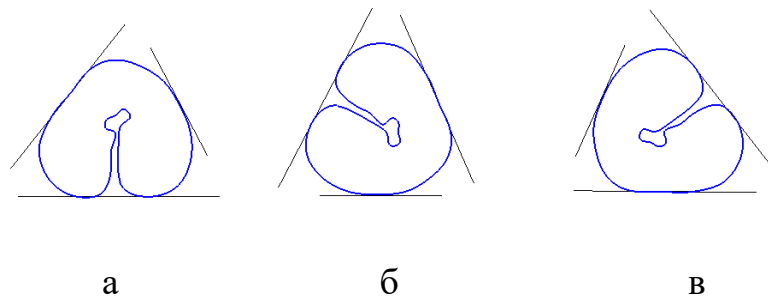
Можна припустити два варіанти взаємодії зернівки з робочими поверхнями каналу. У першому варіанті зернівка піддається впливу з боку робочих поверхонь каналу утвореного рифлями рухомого і не рухомого дисків і розколюється по площині утвореної борозенкою. У другому варіанті зернівка встигає проскочити по нижньому каналу рухомого диска і вийти без руйнування.

Таким чином на рух зернівки по каналу в більшій мірі буде впливати кутова швидкість рухомого диска. При великій кутовій швидкості зернівки взаємодіють одна з одною, скупчуються на початку пояса, що подає і як наслідок, це призводить до зайвого подрібнення і великого відсотку виходу цілого зерна. При малій кутовій швидкості – низька продуктивність.

Виходячи з вище наведених міркувань можна однозначно стверджувати що головним завданням дослідження є пошук оптимальної кутової швидкості рухомого диска, довжини, форми та розмірів сколювального каналу і кута нахилу конусної поверхні направляючої зони, а також вплив подачі зерна Q на процес подрібнення.

2.5. Обґрунтування форми сколювального каналу здрібнювача зерна

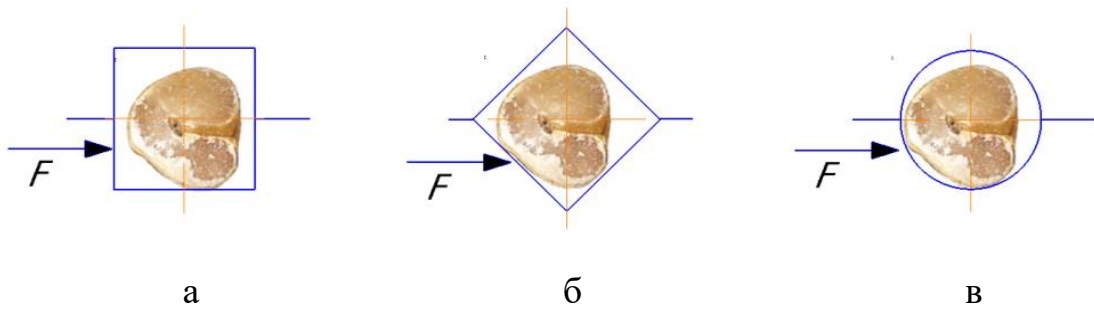
Виходячи з вище розглянутого, визначимо форму робочого каналу, в якому буде відбуватися розколювання цілої зернівки переважно по борозенці. Але спочатку проаналізуємо форму зернівки з точки зору її стійкості на горизонтальній площині. З рис. 2.10 видно існування трьох площин на поверхні зернівки, які визначають три стійкі положення зернівки щодо площин осередку [41].



а – борозенкою вниз; б – на боці борозенкою вліво;
в – на боці борозенкою вправо

Рисунок 2.10 – Стійкі положення зернівки на горизонтальній площині

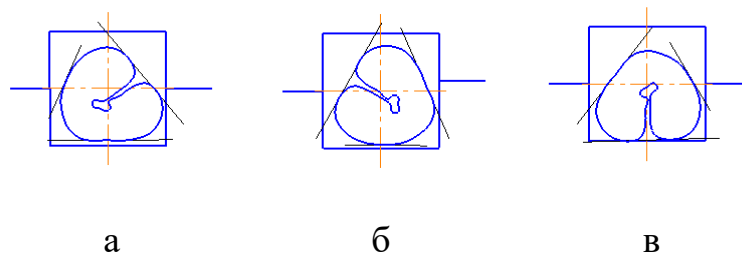
Рух зернівки по поверхні каналу буде відбуватися за однією з трьох площин показаних на рис. 2.10. У робочому каналі повинна знаходитися одна зернівка, це дозволить виключити взаємодію з іншими зернівками і тим самим уникнути зайвого подрібнення. Далі розглянемо можливі варіанти форми сколювального каналу (рис. 2.11).



а – прямокутна; б – трикутна; в – кругла
Рисунок 2.11 – Форми робочих осередків

На рис. 2.11 показані три найбільш простих у виготовленні варіанти форми робочих каналів. Верхня частина каналів нерухома, а нижня частина рухома. Сколювальні канали виконані в рухомій і нерухомій частинах робочих дисків у вигляді паза, відповідно, – прямокутної рис. 2.11 (а), трикутної рис. 2.11 (б) і круглої рис. 2.11 (в) форми. В ідеальному випадку під дією сили F , зернівка розколюється по борозенці на 2 частини по площині зрізу утвореної верхньою і нижньою частинами робочого каналу. Присутність в варіантах (а) і (б) площин створюють умови для більш жорсткої фіксації зернівки і прогнозованої її фіксації в робочій комірці.

На рис. 2.12 показані варіанти розташування зернівки в робочому каналі прямокутної форми.



а – борозенкою вправо; б – борозенкою вліво; в – борозенкою вниз

Рисунок 2.12 – Варіанти положення зернівки в робочому каналі відносно горизонтальної площини каналу прямокутної форми

Як видно з рис. 2.12 зернівка може приймати три стійких положення в каналі – спираючись на горизонтальну поверхню каналу бічними

поверхнями, як показано на рис. 2.12 (а, б) або борозенкою вниз, як показано на рис. 2.12 (в). Положення зернівки борозенкою вниз, як показано на рис. 2.12 (в) буде сприяти зайвому подрібненню, а не повноцінному розколу зерна (зерна розколоті строго по борозенці). У відсотковому відношенні кількість повноцінних частин зерна буде відповідати 33,3 %.

На рис. 2.13 показані варіанти розташування зернівки в робочому каналі трикутної форми. Зернівка може приймати шість стійких положень.

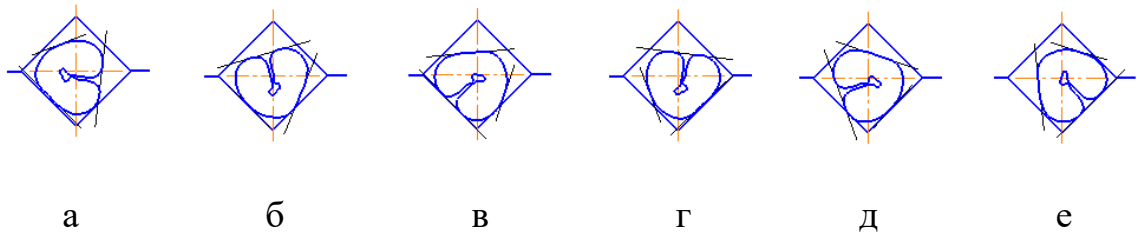


Рисунок 2.13 – Варіанти положення зернівки в робочому каналі трикутної форми

У відсотковому відношенні кількість повноцінних частин зерна буде відповідати – 25 %.

На рис. 2.14 показані варіанти розташування зернівки в робочому каналі круглої форми. Зернівка може приймати вісім стійких положень. У відсотковому відношенні кількість повноцінних частин зерна буде відповідати – 56,25 %.

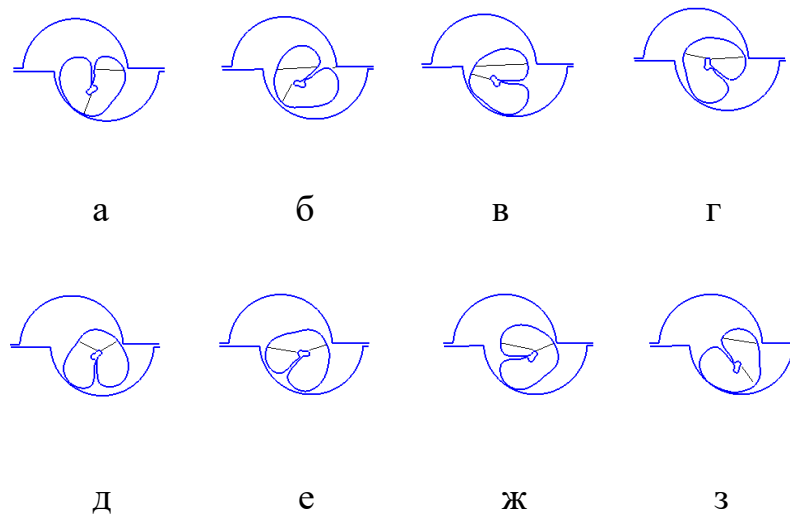


Рисунок 2.14 – Варіанти розташування зернівки в робочому каналі циліндричної форми і передбачувані лінії проєкцій поверхонь відколу

Проведемо порівняльний аналіз отриманих результатів, результати аналізу занесемо в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати порівняльного аналізу варіантів розташування зернівки

№ п/п	Форма Перетин каналу	Скупчення подрібнених продуктів	Фіксація зернівки	Кількість повноцінних частин зерна, %	Технологічна операція виготовлення диска
1	2	3	4	5	6
1	прямокутна	так	жорстка	33,3	фрезерування
2	трикутна	так	жорстка	25	фрезерування
3	кругла	немає	вільна	56,25	свердління або фрезерування

Виходячи з результатів показаних в табл. 2.1 більш жорстка фіксація зернівки в перших двох варіантах сприятиме зайвому дрібненню, присутність в цих варіантах кутів в пазах каналу, рис. 2.12 (а) і (б), сприятиме накопиченню дрібних продуктів подрібнення і тим самим порушить роботу машини.

Передбачувана кількість повноцінних частин зерна в третьому варіанті найбільша, а циліндрична поверхня каналу запобігає скупчування дрібних продуктів подрібнення, тому вибираємо круглий перетин сколювального каналу.

2.6. Обґрунтування величини зазору між дисками здрібнювача

Визначимо геометричні розміри каналу виходячи з розмірів зерна пшениці. За даними Г.А. Єгорова [42] розмір зерна в мм варіює по довжині 4,2...8,6, по товщині 1,5...3,8, по ширині 1,6...4,0. Максимальний розмір по ширині дорівнює 4 мм виходячи з цього встановлюємо діаметр каналу рівним 4,2 мм.

Оскільки завдання полягає в отриманні, якомога більшої кількості

розколотого зерна по борозенці на дві частини можна визначити умови при яких це станеться. Як видно з рис. 2.15 повноцінний розкол зерна (розкол на дві половини) в сколювальному каналі з поперечним діаметром 4,2 мм відбудеться з зерном ширина якого $b \geq 2,8$ мм. Зерна з шириною $b \leq 2,2$ мм пройдуть без руйнування.

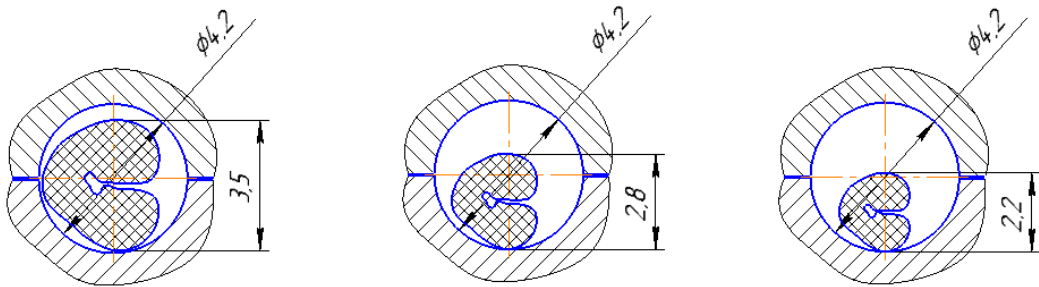


Рисунок 2.15 – Розташування зерна в поперечному перерізі сколювального каналу з діаметром 4,2 мм

Цю проблему можна вирішити шляхом зменшення діаметра каналу в поперечному перерізі, або механічним зняттям 0,6 мм металу з верхнього і нижнього диска здійсненими в них попередньо отворами $\varnothing 4,2$ мм рис. 2.16.

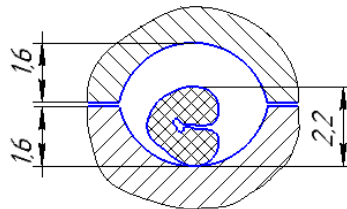


Рисунок 2.16 – Розташування зерна в поперечному перерізі усіченого каналу, що розколює з висотою 3,3 мм

Другий варіант є більш технологічним і рекомендований для практичної реалізації.

2.7. Моделювання процесу руху зернини в подрібнюючому каналі здрібнювача

Основним етапом технологічного процесу обробки зерна є його

подрібнення рифлями. Тому досить важливим постає вивчення руху зернин в каналі рифлю де і відбувається подрібнення. На рис. 2.17 показано розміщення сил, що діють на зернину під час її руху в указаному каналі.

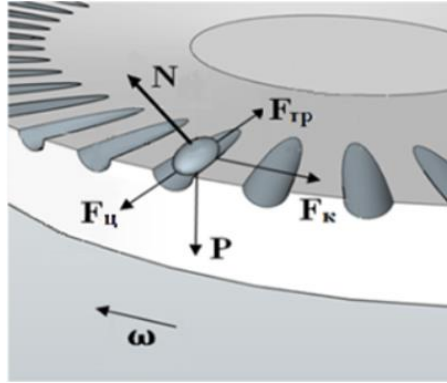


Рисунок 2.17 – Схема розміщення сил, які діють на зернину, що рухається вздовж каналу рифлю

Нехай x – відстань між віссю обертання диску і центром ваги зернини, а \dot{x} – її відносна швидкість. Враховуючи ці позначення, для сил, діючих на зернину, запишемо: $P = mg$ – вага зернини; $F_b = mx\omega^2$ – відцентрова сила; $F_{тр} = fN$ – сила тертя (f – коефіцієнт тертя); N – нормальна реакція; $F_k = 2m\dot{x}\omega$ – сила Коріоліса. Оскільки сили ваги і Коріоліса, а також нормальна реакція перпендикулярні до напрямку переміщення, то диференціальне рівняння руху зернини вздовж каналу рифлю матиме вигляд:

$$m\ddot{x} = F_b - F_{тр}, \quad (2.9)$$

або

$$m\ddot{x} = mx\omega^2 - fN. \quad (2.10)$$

Сила Коріоліса і сила ваги врівноважуються нормальною реакцією, тому має місце рівняння:

$$N = \vec{F}_k + \vec{P}. \quad (2.11)$$

Останні дві сили в цьому рівнянні взаємно перпендикулярні (рис. 2.17) тому нормальну реакцію можна знайти за теоремою Піфагора:

$$N = \sqrt{F_k^2 + P^2} = \sqrt{(2m\omega\dot{x})^2 + (mg)^2} = m\sqrt{4\omega^2\dot{x}^2 + g^2}. \quad (2.12)$$

Тепер диференціальне рівняння (2.9) можна записати так:

$$\ddot{x} = x\omega^2 - f\sqrt{4\omega^2\dot{x}^2 + g^2}. \quad (2.13)$$

Як бачимо, одержане рівняння є суттєво нелінійним і його розв'язання зручно виконувати числовими методами. Система «MathCad», наприклад, пропонує для цього блок: Given – Odesolve. Тіло блоку повинне включати диференціальне рівняння та відповідні початкові умови. Числові значення параметрів записують перед блоком.

Оператор “Odesolve” включає чотири шаблони – затушовані прямокутники в дужках, які зліва направо трактуються таким чином:

- 1) [вектор імен шуканих функцій];
- 2) змінна-аргумент;
- 3) правий кінець інтервалу розв'язку (лівий дається в початкових умовах);
- 4) [число інтервалів розрахунку].

При цьому заповнення першого та четвертого шаблону не є обов'язковим.

Приклад розрахунку указаним блоком наведено нижче.

$$R := 0.05 \quad \omega := 40 \quad f := 0.35 \quad g := 9.81 \quad V_0 := 0.1$$

Given

$$x''(t) + f \cdot \sqrt{4 \cdot \omega^2 \cdot x'(t)^2 + g^2} - \omega^2 \cdot x(t) = 0$$

$$x(0) = R \quad x'(0) = V_0$$

$x := \text{Odesolve}(t, 5)$

Тут R – відстань від осі обертання до початку рифлю (радіус напрямного поясу, рис.2.6), V_0 – швидкість входу зернини в канал рифлю (початкова швидкість), $x(0) = R$, $x'(0) = V_0$ – початкові умови.

Результатом розв'язку є функція $x = x(t)$, яку можна використовувати в подальших розрахунках – інтегрувати, диференціювати і т. д.

На рис. 2.18 побудовані графіки зміни координати x (а) та відносної швидкості \dot{x} (б) протягом деякого часу t . В розрахунках використано дані, приведені вище. Графіки показують, що після захвату зернини рифлем величина її зміщення вздовж каналу рифлю та швидкість руху стрімко зростають. Це означає, що зернина буде знаходитися в каналі (в процесі обробки) досить малий проміжок часу. Очевидно, що в цих умовах збільшується ймовірність проскакування зернин крізь рифлі без подрібнення. Щоб уникнути цього явища треба мати можливість керувати часом знаходження зернин в каналах рифлів. Тому далі розглянемо залежності вказаного часу від геометричних параметрів робочих органів – радіуса напрямного поясу R і довжини h рифлю, а також від частоти ω обертання диску та коефіцієнта тертя f зернин по поверхні рифлю.

При відомій функції $x = x(t)$, яка знаходиться при розв'язку диференціального рівняння (2.13), час подолання зерниною відстані h (h – довжина рифлю) можна визначити як корінь рівняння $x(t) = R + h$. В системі «MATHCAD» це можна зробити за допомогою оператора “root” чисельного знаходження кореня, в якому за типовими налаштуваннями указаний корінь знаходиться методом ділення відрізка пополам.

Знаходження часу перебування зернини в каналі рифлю за допомогою цього оператора виглядає так:

$$t_0 := 0 \quad t_k := 0.1$$

$$t_h := \text{root}[x(t) - (R + h), t, t_0, t_k]$$

Тут: $x(t) - (R + h) = 0$ – рівняння, що розв'язується; t – змінна цього рівняння; t_0, t_k – кінці відрізка, на якому знаходиться розв'язок.

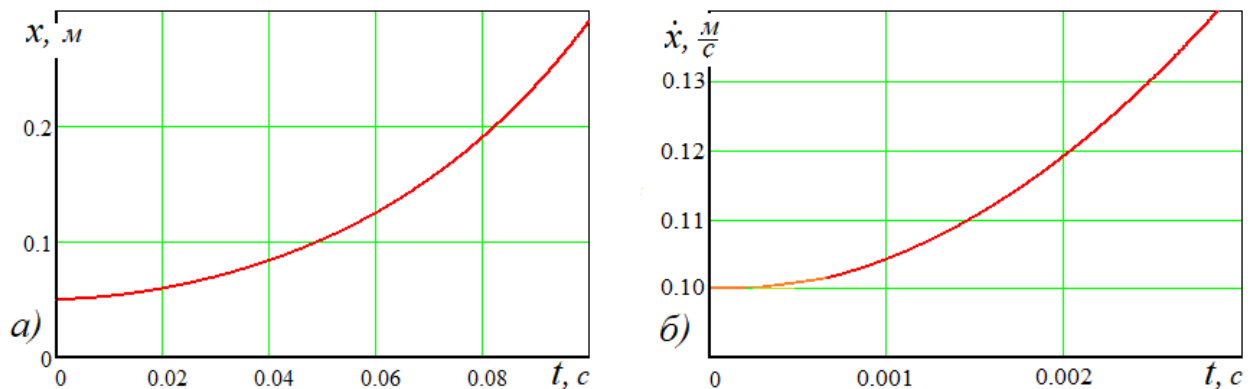


Рисунок 2.18 – Кінематичні характеристики руху зернини в каналі рифлю

Звичайно, перед приведеним оператором повинна бути приведена функція $x = x(t)$ та вказані значення параметрів R і h . За результатами розрахунків побудовані графіки, приведені нижче.

Отже, досягнути збільшення часу перебування зернини в каналі рифлю можна за рахунок зменшення радіуса R напрямного поясу і частоти ω обертання диску та за рахунок збільшення довжини h каналу рифлю і шорсткості (коефіцієнта тертя f) його поверхні.

Зі збільшенням радіуса R зростає і координата x , яка визначає положення зернини в каналі рифлю. Це пропорціональне збільшує відцентрову силу $P_b = mx\omega^2$. Збільшення частоти ω збільшує вказану силу в параболічній залежності. Зростання відцентрової сили веде до збільшення

швидкості руху зернини, що і приводить до зменшення часу її перебування в каналі рифлю (рис.2.19 а, в).

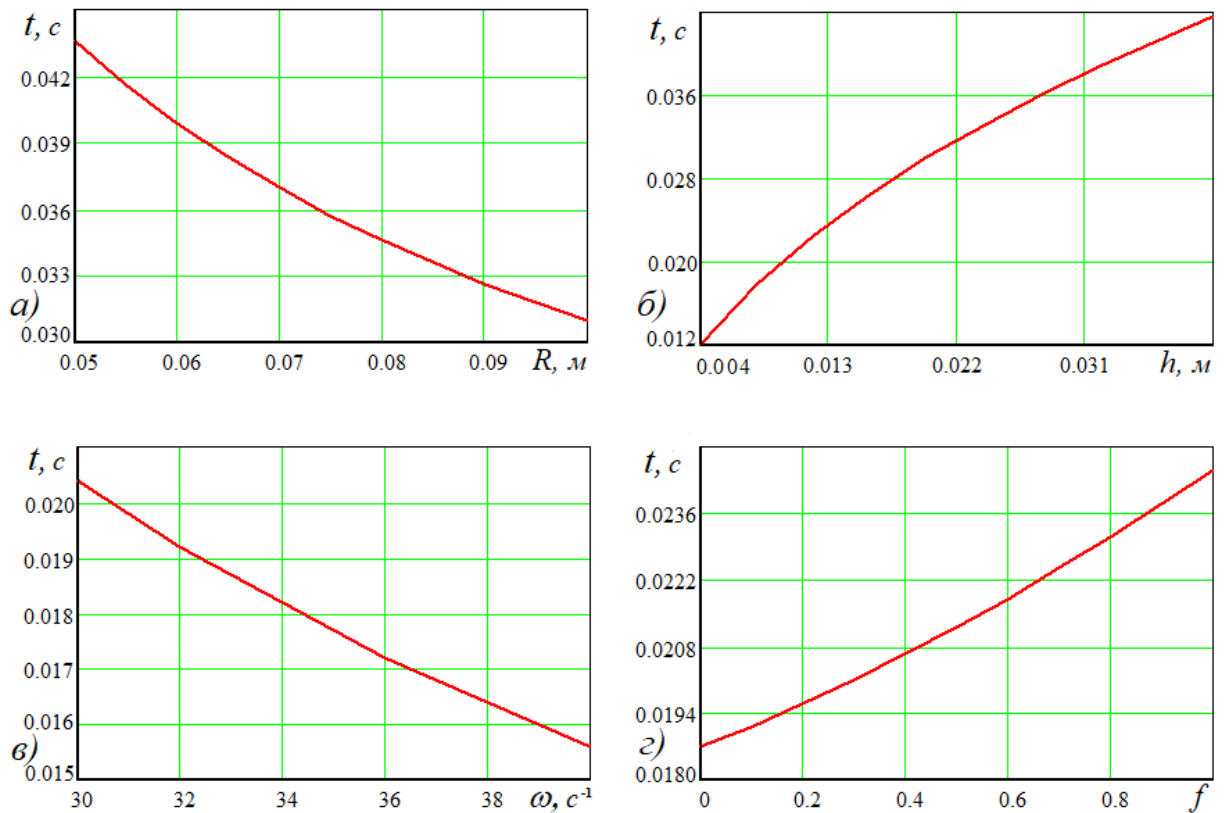


Рисунок 2.19 – Залежності часу t_h перебування зернини в каналі рифлю від параметрів R, h, ω, f

Збільшення довжини h каналу означає збільшення шляху переміщення зернини, що приводить до збільшення часу t_h на його подолання (рис. 2.19,б).

Збільшення коефіцієнта тертя f збільшує силу тертя, яка гальмує рух зернини. Цим пояснюється збільшення часу t_h перебування зернини в каналі рифлю (рис. 2.19,г).

Рух зернини в каналі рифлю повинен закінчуватись її затисненням рифлями нижнього та верхнього дисків і подальшого розколу зернини на дві частини (рис. 2.9). Щоб уникнути повного проскакування зернини крізь канал рифлю, подрібнення повинно відбуватися не пізніше проходження зерниною шляху h – довжини каналу. Це може гарантуватися відповідним

підбором частоти обертання диску та геометричних параметрів рифлів і в тому числі їх діаметра D_p (рис. 2.20).

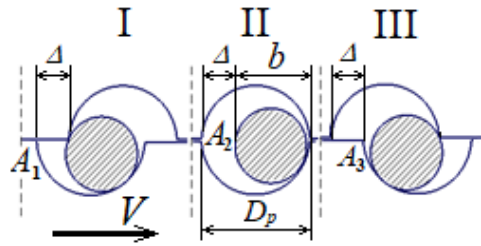


Рисунок 2.20 – Схема розміщення зернини в каналі рифлю від моменту входження в канал до моменту її затиснення в кінці каналу

Рисунок 2.20 відображає такий випадок поєднання параметрів пристрою, при якому будь-яка зернина, яка пройде максимально можливий шлях вздовж каналу, буде затиснута рифлями перед моментом її виходу назовні. Це виключає вихід необробленого зерна з-за проходження зернин крізь канали рифлів без подрібнення.

На рис. 2.20 стрілкою показано напрям руху рифлів нижнього диску при його обертанні. Верхній диск є нерухомим.

На етапі I зернина входить в канал, як тільки при русі нижнього диску між рифлями утвориться зазор, рівний розміру b зернини. Далі зернина рухається в каналі до периферії диску і зазор між рифлями збільшується до максимально можливої величини. В цей момент контури верхнього і нижнього рифлів утворюють коло діаметром D_p – етап II. Перехід від першого до другого етапу відбувається за рахунок переміщення лівої кромки рифлю з положення A_1 в положення A_2 на величину Δ . Після етапу II зернина продовжує рух по каналу, але зазор між рифлями тепер зменшується. За рахунок цього в момент досягнення зерниною краю каналу вона затискається рифлями – етап III і розділяється на дві частини. Впродовж переходу від другого до третього етапу ліва кромка рифлю переміщується з положення A_2 в положення A_3 на ту ж величину Δ . Тобто, за час t_H повного циклу проходження зерниною каналу – зміщення рифлю за рахунок обертання диску

складає 2Δ або $2(D_p - b)$ (рис. 2.20). Отже, можемо записати:

$$\omega(R + h)t_h = 2\Delta = 2(D_p - b). \quad (2.14)$$

Звідси:

$$D_p = 10^3 [b + 0,5\omega(R + h)t_h]. \quad (2.15)$$

За цією формулою, для зручності її використання, діаметр рифлю дається в міліметрах. Для обчислень в «MATHCAD» ця формула трансформується до виду:

$$D_p := 10^3 \cdot [b + 0,5 \cdot \omega \cdot (R + h) \cdot \text{root}[x(t) - (R + h), t, t_0, t_k]]. \quad (2.16)$$

Особливістю її використання є наявність перед формулою всіх числових даних та блоку “Given – Odesolve” для знаходження функції $x = x(t)$.

Формула (2.16) включає розмір b зернини, який коливається в певних межах. Для зерна пшениці, можна взяти: $0,0032 \leq b \leq 0,0038$. Підставляючи у формулу (2.16) $b = b_{min} = 0,0032$, одержимо D_{min} – діаметр рифлів для наймілкішої фракції зернової суміші, а при $b = b_{max} = 0,0038$ одержимо D_{max} для крупної фракції. Для даних, приведених вище, одержано: $D_{min} = 3,8$ мм, $D_{max} = 4$ мм. Вплив параметрів на значення величин D_{min} і D_{max} показано нижче.

Рисунок 2.21 показує, що із збільшенням габаритних розмірів R , h пристрою збільшується також і діаметр D_p рифлів. Зростання частоти ω обертання диску і коефіцієнта тертя f також збільшує цей діаметр.

При збільшенні радіуса R від 0,05 м до 0,1 м приріст діаметрів D_{min} і D_{max} склав $\Delta D_p = 0,4$ мм, а при збільшенні частоти ω від 30 c^{-1} до 40 c^{-1} цей приріст становить $\Delta D_p = 0,39$ мм. Збільшення довжини рифлю h в межах від

4 мм до 40 мм приводить до збільшення приросту діаметра рифлю на $\Delta D_p = 1,6$ мм, а зміна коефіцієнта тертя f в межах від нуля до одиниці дає приріст $\Delta D_p = 0,2$ мм.

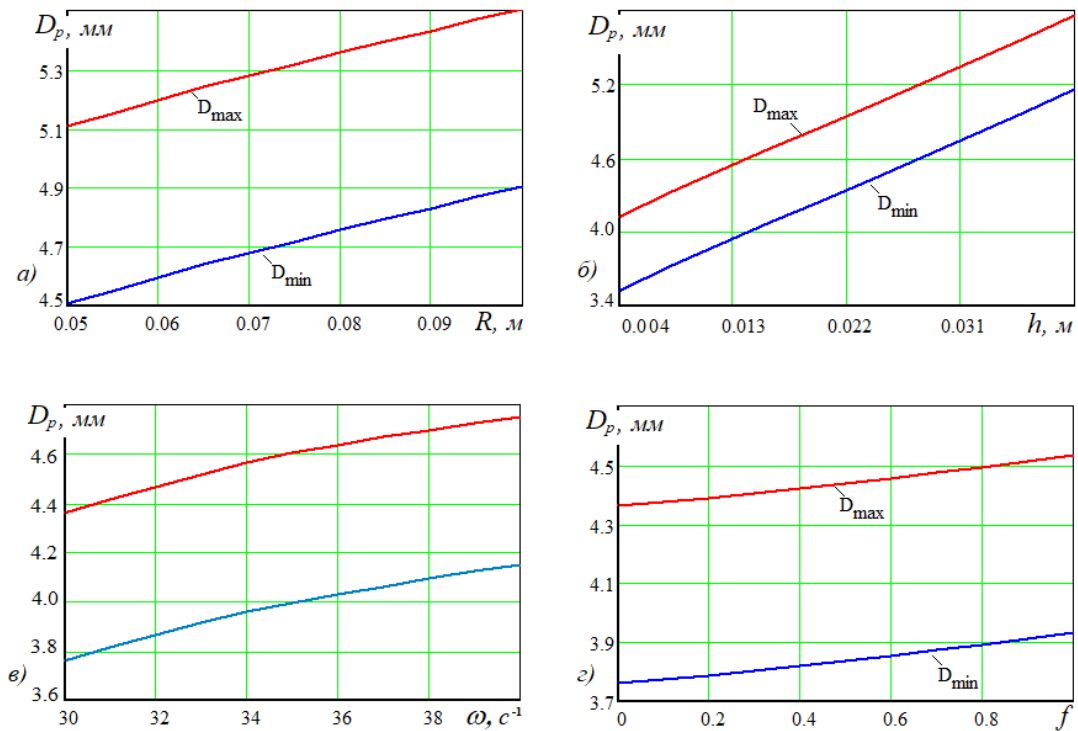


Рисунок 2.21 – Залежності граничних значень діаметра рифлю від параметрів R, h, ω, f

Збільшення діаметра D_p при зростанні радіуса R напрямного поясу і частоти ω обертання диску пояснюється збільшенням колової швидкості рифлів ($V = \omega(R + h)$), в результаті чого час циклу затиснення зернини (від етапу I до етапу III – рис. 2.20.) зменшується. Збільшення цього часу до значення t_h повного проходження зерниною каналу рифлю відбувається за рахунок збільшення діаметра D_p . Незважаючи на те, що при цьому час t_h зменшується (рис. 2.19), все ж вплив (збільшення) колової швидкості V виявляється основним.

Збільшення довжини h рифлю і коефіцієнта f тертя приводить до збільшення часу t_h проходження зерниною каналу рифлю. При цьому, згаданий вище, час циклу затиснення зернини теж повинен зрости до

величини t_h . Це відбувається за рахунок відповідного збільшення діаметра D_p .

Слід відмітити, що на рух зернин в каналі рифлів впливає також початкова швидкість V_0 – швидкість входу зернин в канал. Вона задається в початкових умовах при розв'язку диференціального рівняння. Але при зміні цієї швидкості в діапазоні від 0 м/с до 0,3 м/с значення діаметрів рифлів (як мінімального – D_{\min} , так і максимального – D_{\max}) змінюються не більше, ніж на 4,7 %. При зменшенні цього діапазону вдвічі значення підрахованих діаметрів будуть відрізнятися між собою менш ніж на 2,6 %. Таким чином, для попередніх розрахунків допустимо приймати $V_0 = 0$.

Отже, для діаметра рифлів можна вказати інтервал $D_{\min} < D_p < D_{\max}$, який залежить від параметрів R, h, ω, f . При значеннях $R=0,05$ м, $h=0,01$ м, $\omega=30$ с⁻¹, $f=0,35$ цей інтервал такий: $3,8 < D_p < 4,4$. При зміні діаметра D_p в межах вказаного інтервалу в сторону збільшення стає ймовірним проскакування дрібних зернин крізь канали рифлів без подрібнення. Зменшення ж діаметра D_p може привести до неповного розколу крупних зернин, які не встигають повністю увійти в канали зменшеного діаметра. В цих умовах, спираючись на знайдений інтервал, раціональне значення діаметра рифлів слід визначати експериментально.

2.8. Визначення енергоспоживання дискового здрібнювача

При заклинюванні зернівки між ріжучими крайками, зернівка стає миттєво нерухомою. Після цього починається робота рівнодіючої, спрямованої на подолання внутрішніх сил матеріалу зернівки, які залежать від фізико – механічних властивостей частки, цілісності її структури і способу застосування руйнівного зусилля. На зернівку починає діяти сила зрізу $F_{зр}$. [44].

Вибираємо систему координат з початком в деякій точці площині x, y і

віссю z , яка спрямована по нормалі до нейтральної лінії. Площина x, y збігається з площиною зернівки, яка не деформується. Позначимо зсув точок нейтральної поверхні, тобто z -координату, літерою ξ (рис. 2.22).

Що стосується компонент зсуву цих точок в площині x, y , то вони є величинами другого порядку малості в порівнянні з ξ і тому можуть прийнятими рівними нулю. Таким чином, вектори зсуву точок нейтральної поверхні є $U_x^{(0)} = U_y^{(0)} = 0$; $z_z^{(0)} = \xi(x, y)$, де верхній індекс означає, що компоненти відносяться до початку координат.

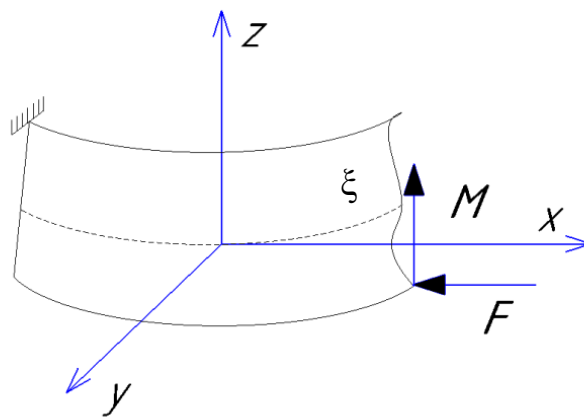


Рисунок 2.22 – Додаток руйнівного зусилля

Оскільки пластина слабо вигнута, то можна вважати, що вектор нормалі \vec{n} спрямований по осі z . Таким чином, на обох поверхнях розриву повинно бути

$$\sigma_{xz} = \sigma_{yz} = \sigma_{zz} = 0, \quad (2.17)$$

де $\sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zz}$ – компоненти тензора напружень.

Але оскільки пластина слабо вигнута, то рівності цих величин нулю на обох сторонах розриву, слід вважати, що вони малі в середині її. Таким чином, ми приходимо до висновку, що по всій пластині компоненти $\sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zz}$ малі в порівнянні з іншими компонентами тензора напружень.

На цій підставі можемо покласти їх рівними нулю і визначити компоненти тензора напружень з цих умов [28, 85].

Відповідно до формул теорії пружності матимемо:

$$\begin{aligned}\sigma_{zx} &= \frac{E}{(1+\mu)} U_{zx}; \sigma_{xy} = \frac{E}{(1+\mu)} U_{zy}; \\ \sigma_{zx} &= \frac{E}{(1+\mu)(1+2\mu)} [(1-\mu)U_{zx} + \mu(U_{zx} + U_{zy})]\end{aligned}\quad (2.18)$$

Тож будемо мати:

$$U_{zx} = 0, U_{zy} = 0, (1-\mu)U_{zz} + \mu(U_{xx} + U_{yy}) = 0, \quad (2.19)$$

де: E – модуль Юнга (зрушення);

μ – коефіцієнти Пуассона.

Після диференціювання перших двох умов в (2.19) отримаємо:

$$\frac{\partial U_x}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial x} = 0, \frac{\partial U_y}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial y} = 0$$

тобто

$$\frac{\partial U_x}{\partial z} = -\frac{\partial U_z}{\partial x}, \frac{\partial U_y}{\partial z} = -\frac{\partial U_z}{\partial y}$$

звідси отримаємо:

$$U_x = -z \frac{\partial U_z}{\partial x}, U_y = -z \frac{\partial U_z}{\partial y}.$$

Через малість деформацій з достатнім ступенем точності замість U_z можна підставити $\zeta(x, y)$ і тоді буде

$$U_x = -z \frac{\partial \xi}{\partial x}, \quad U_y = -z \frac{\partial \xi}{\partial y}.$$

Опускаючи громіздкі перетворення, які включають обчислення варіації вільної енергії і варіації потенційної енергії пластинки (відриває частини зернівки), пов'язаної з наявністю зовнішніх сил, що діють, в результаті отримаємо рівняння рівноваги пластинки, яка відривається зовнішньою силою, що діє на неї:

$$\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \Delta^2 \xi - F_{зр.} = 0, \quad (2.20)$$

де: $\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ – жорсткість пластини при вигині;

$\Delta \xi$ – оператор Лапласа;

$F_{зр.}$ – зовнішня сила;

h – товщина пластини (усереднена).

Остаточно, враховуючи (2.20), будемо мати для сили $F_{зр.}$ і згинального моменту $M_{зр.}$ пластини

$$F_{зр.} = \frac{Eh^2}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial \theta}{\partial l} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \right); \quad M_{зр.} = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}, \quad (2.21)$$

де θ – кут між нормаллю $n \rightarrow$ до нормальної поверхні і віссю x ;

l – дотична до цієї поверхні.

При $E=16$ МПа [50], $h = 1,2 \cdot 10^{-3}$ м, $\mu=0,03$ м, $\mu=0,03$ співвідношення (2.21) будуть

$$F_{зр.} = 16 \left[\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial \theta}{\partial l} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \right];$$

$$M_{зр.} = 16 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}$$

Матимемо $F_{зр.} = 3,46 \text{ Н}$, $M_{зр.} = 2,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Обчислимо похідні, враховуючи геометричні розміри. У першому наближенні форму тріщини (відколу) можна апроксимувати квадратної параболою $\xi = 0,1x^2$, тоді

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} = 0,2x, \quad \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = 0,2, \quad \frac{\partial^3 \xi}{\partial x^3} = 0.$$

Для обчислення $\frac{\partial \theta}{\partial l}$ скористаємося залежністю з диференціальної геометрії для радіуса кривизни і крутіння кривої.

$$R = \frac{\left(1 + \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}\right)^{\frac{3}{2}}}{\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}}, \quad k = \frac{1}{R} = \frac{\partial \theta}{\partial l} \quad (2.22)$$

Підставляючи в (6) значення, отримаємо $R = 6,57 \text{ м}$; $k = 0,15$.

Таким чином, ми отримаємо, що скол зернівки відбувається по кривій радіусом $R=6,57 \text{ м}$ із зусиллям зламу $F_{зр.} = 3,46 \text{ Н}$ при згинальному моменті $M_{зр.} = 2,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Обчислимо тепер розміри тріщини, крізь яку сколюється зернівка. Від зернівки сколюється пластина товщиною h прикладеною силою, що діє проти сил поверхневого натягу поверхні розриву і формою зрізу. Знайдемо залежність, яка пов'язує величину поверхневого натягу з формою відколу. Момент, що діє по лінії розриву, визначається за формулою (2.21). Робота вироблена цим моментом при збільшенні області відриву на вісь x , а саме δx , дорівнює

$$M_{зр.} \frac{\partial \xi}{\partial x} = M \delta x \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}, \quad (2.23)$$

Умова рівноваги полягає в рівності цієї роботи зміни поверхневої

енергії, тобто $2\alpha\delta x$, де α – коефіцієнт поверхневого натягу, а множник 2 враховує утворення двох вільних поверхонь при розриві. Маємо

$$M\delta x \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = 2\alpha\delta x,$$

звідки

$$\alpha = \frac{M}{2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{h^3}{24(1-\mu^2)} \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}$$

При підстановці чисельних значень матиме $\alpha=1,6$ Н/м. Тоді відповідно до теорії пружності [28], отримаємо

$$L = \frac{F_{\text{сп}} h^2 (1-\mu^2)}{\tau_c \alpha E}.$$

Це довжина тріщини, що утворюється під дією сили, що виникає при заклинюванні ріжучими крайками. При підстановці вихідних і обчислених даних отримаємо: $L = 5 \cdot 10^{-6}$ м=0,005 мм.

З цієї тріщини і відбувається руйнування зернівки. В теорії різання ця тріщина називається випереджаючою [101].

Споживану потужність разруховуємо за формулою:

$$N = F_{\text{зр}} V.$$

де $F_{\text{зр}}$ – сила зрізу;

V - швидкість зрізу.

$$V = \omega R = 35 \cdot 0,06 = 2,1 \text{ м/с}$$

тоді

$$N = 3,46 \cdot 2,1 = 7,2 \text{ Вт.}$$

З урахуванням того, що в канали рифлі міттево потрапляє не більше 25...50 % зернин тобто 6...12 штук споживана потужність буде знаходитись в межах від 43,2 до 86,4 Вт.

2.9. Визначення факторів і функцій оптимізації для вивчення роботи здрібнювача

До конструктивних параметрах робочих органів відносяться: 1 – діаметр d і форма каналу, який утворюється при поєднанні дисків; 2 – кут нахилу площини пояса α що подає; 3 – діаметр дисків D . Значення перших двох параметрів визначені в теоретичній частині. Значення діаметра диска приймаємо рівним $D=125$ мм, виходячи з конструктивної доцільності.

До технологічних режимів роботи відносяться: 1 – подача матеріалу Q кг/год.; 2 – частота обертання ротора n об/хв.; пропускна здатність здрібнювача P кг/год.

До фізико-механічних властивостей матеріалів які подрібнюють відноситься вологість W %, руйнівне зусилля F , Н, і критичне напруження на сколювання зернівок τ Н/м². Вплив вологості сільськогосподарських культур на процес їх руйнування досить добре досліджений в роботах [27, 38, 40, 48, 77, 126, 139, 144, 149], тому її значення прийняли в межах від 14 до 14,5 %.

З точки зору морфологічної будови зерна пшениці вибираємо високо склоподібне зерно. Як відомо склоподібна пшениця має найбільшу глибину залягання борозенки [39]. Значна глибина залягання борозенки в високосклоподібних сортах пшениці дозволить зменшити енерговитрати при її розколюванні. Високосклоподібна структура ендосперму зерна має хорошу

опірність до стирання, що важливо при додатковій обробці вже розколотого зерна.

Головним завданням практичної частини дисертації є пошук оптимальних значень енергоємності E , Вт·год./кг, пропускної здатності P кг/год., при максимальному виході повноцінного продукту M , %, в залежності від частоти обертання ротора n , об/хв., робочого зазору δ , мм і подачі Q , кг/год.

Висновки за розділом 2

На підставі виконаних теоретичних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Запропонована конструктивно-технологічна схема розколу зернівок пшениці уздовж борозенки на дві частини. Обґрунтовано геометричні параметри дискової пари що подрібнює, наведені умови взаємодії зернівки з робочими органами дискового здрібнювача;

2. Важливим для технологічного процесу подрібнення зерна є рух зернин в каналах рифлів. Для вивчення вказаного руху створена математична модель у виді нелінійного диференціального рівняння. Засоби прикладної програми «MathCad» дозволяють одержати розв'язок диференціального рівняння у вигляді функції $x = x(t)$, яка допускає знаходження похідної. Знайдені, за допомогою цієї функції, кінематичні характеристики показали, що після захвату зернин рифлями швидкість зернин стрімко зростає в результаті чого подрібнення відбувається протягом короткого відрізка часу порядку сотих часток секунди.

3. Числовим аналізом функції $x = x(t)$ встановлено залежності часу t_h перебування зернин в каналі рифлю від радіуса R напрямного поясу, довжини h каналу рифлів, частоти ω обертання диску та коефіцієнта тертя f . Виявлено, що збільшення часу t_h відбувається при зменшенні величин R , ω і

збільшенні величин h, f . Так при зменшенні радіуса R від 0,1 м до 0,05 м, час t_h збільшується від 0,0310 с до 0,0436 с, при зменшенні частоти ω від 40 с^{-1} до 30 с^{-1} , час t_h збільшується від 0,0156 с до 0,0204 с, при збільшенні довжини h від 4 мм до 40 мм, час t_h збільшується від 0,0120 с до 0,0436 с, при збільшенні коефіцієнта тертя від 0 до 1, час t_h збільшується від 0,0187 с до 0,0245 с. Основними числовими значеннями були: $R=0,05 \text{ м}$, $h=0,01 \text{ м}$, $\omega=30 \text{ с}^{-1}$, $f=0,35$.

4. Знайдено залежність оптимального розміру діаметра D_p рифлів від величин R, h, ω, f і розміру зернин. Встановлено, що зростання величин R, h, ω, f приводить до збільшення діаметра D_p . Для дрібної і крупної фракцій зерна пшениці визначені оптимальні значення діаметра D_p , які відповідно складають: $D_{\min} = 3,8 \text{ мм}$, $D_{\max} = 4,4 \text{ мм}$. Виявлено, що при збільшенні радіуса R від 0,05 м до 0,1 м, приріст діаметрів D_{\min} і D_{\max} складає $\Delta D_p = 0,4 \text{ мм}$, а при збільшенні частоти ω від 30 с^{-1} до 40 с^{-1} цей приріст становить $\Delta D_p = 0,39 \text{ мм}$. Збільшення довжини рифлю h в межах від 4 мм до 40 мм приводить до збільшення діаметра рифлю на $\Delta D_p = 1,6 \text{ мм}$, а зміна коефіцієнта тертя f в межах від нуля до одиниці дає приріст $\Delta D_p = 0,2 \text{ мм}$.

5. Для діаметра D_p можна вказати інтервал $3,8 \text{ мм} < D_p < 4,4 \text{ мм}$, в якому знаходиться раціональне значення цього діаметра. При зміні діаметра D_p в межах вказаного інтервалу в сторону збільшення стає ймовірним проскакування дрібних зернин крізь канали рифлів без подрібнення. Зменшення ж діаметра D_p може привести до неповного розколу крупних зернин, які не встигають повністю увійти в канали зменшеного діаметра. В цих умовах раціональне значення діаметра рифлів слід визначати експериментально з використанням вказаного інтервалу.

6. На рух зернин в каналі рифлів впливає початкова швидкість V_0 – швидкість входу зернин в канал. Але при зміні цієї швидкості в достатньо широкому діапазоні від 0 м/с до 0,3 м/с значення діаметрів рифлів

(як мінімального – D_{\min} , так і максимального – D_{\max}) змінюються не більше, ніж на 4,7 %. При зменшенні цього діапазону вдвічі значення підрахованих діаметрів будуть відрізнятися між собою менш ніж на 2,6 %. Таким чином, для попередніх розрахунків допустимо приймати $V_0 = 0$.

7. Встановлені закономірності руйнування зернівки під дією сили зрізу, обчислено розмір випереджаючої тріщини крізь яку сколюється зернівка, величину сили зрізу, яка становить 3,46 Н та споживану потужність здрібнювача, яка знаходиться в межах 43,2...86,4 Вт.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ

3.1. Мета експериментального дослідження

В теоретичній частині дисертації були обґрунтовані конструктивні і технологічні параметри здрібнювача, які дозволяють здійснювати подрібнення матеріалу сколюванням з мінімальними витратами енергії [135, 139].

Розколоте зерно пшениці на дві частини по борозенці дозволяє отримати доступ робочих органів до новостворених поверхонь зернівки, та більш ретельно очистити поверхню зерна і в результаті отримати нові продукти – крупу нового типу і обойне борошно з низьким показником зольності.

Метою експериментальних досліджень є:

- визначення фізико-механічних властивостей шелушеного зерна;
- розрахунок і виготовлення дискового здрібнювача для розколювання зерна по борозенці, дослідне уточнення раціональних конструктивних параметрів і проведення багатофакторного експерименту з визначенням оптимальних режимів роботи дискового здрібнювача;
- виготовлення допоміжного обладнання для очищення, луцення, подрібнення зерна в борошно та крупи, просіювання зерна і проміжних продуктів подрібнення;
- експериментальні дослідження з очищення поверхні зерна, його переробці в крупу та борошно;
- визначення показників зольності проміжних і кінцевих продуктів;
- впровадження результатів дослідження у виробництво та визначення техніко-економічного ефекту.

Вихідними даними для розробки програми досліджень послужили:

завдання досліджень, гіпотеза і її теоретична розробка, а також загальна методика теоретичних досліджень.

Програма досліджень проводиться з метою підтвердження аналітичних досліджень процесу розколювання зерна по борозенці на дві частини, перевірки результатів математичної моделі і визначення раціональних режимів роботи здрібнювача. При складанні програми досліджень використовувалися результати аналізу здрібнювачів різних конструкцій, і рекомендації по їх роботі [1, 2, 60, 14, 68, 85, 89, 91, 93, 95, 99, 109, 114, 118] а також аналіз конструкції приладів і механізмів для дослідження міцності зерна пшениці [13,21,47,78, 84].

Програма досліджень передбачає проведення лабораторних дослідів і виробничих випробувань і включає в себе:

- вивчення фізико-механічних властивостей зерна пшениці;
- обґрунтування моделі дискового здрібнювача зерна;
- проектування, розробка і виготовлення дослідних зразків обладнання для проведення експериментальних досліджень (здрібнювач зерна сколювального типу, шелушильна машина, повітряний і магнітний сепаратори, молотковий млин, просіювач крупи і живильник);
- проведення експериментальних досліджень;
- обробка експериментальних даних і отримання рівнянь регресії;
- визначення конструктивних і режимних параметрів дискового здрібнювача;
- випробування нових технологій очищення і переробки зерна пшениці в крупу та борошно;
- техніко-економічна оцінка роботи дискового здрібнювача.

Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах і в фермерських господарствах. Використовувалися загальноприйняті і приватні методики з визначення фізико-механічних властивостей зерна, якісних і енергетичних показників процесів, планування багатofакторних експериментів які забезпечують необхідну точність, достовірність,

відтворюваність і адекватність результатів [4, 31].

3.2. Методика визначення основних показників робочого процесу дискового здрібнювача і технологічних характеристик матеріалу

Основними показниками процесу подрібнення продукту були показники, які визначені в теоретичній частині: енергоємність E (кВт·год./кг), пропускна здатність здрібнювача Q (кг/год.) і відсоток виходу повноцінного продукту M (%).

Перед початком експериментів встановлювали значення факторів згідно матриці експерименту (табл. В.1 додатків). При сталому режимі роботи здрібнювача здійснювали збір продуктів подрібнення в перебігу 10 секунд. Потужність визначали за допомогою ватметра, включеного в ланцюг лабораторної установки. Після закінчення досліду продукти подрібнення просіювали на лабораторному просіювачі результати зважування заносили в табл. В.5 додатків.

Продуктивність установки Q (кг/год.) Визначали за формулою:

$$Q = \frac{0,36 \cdot M}{T}, \quad (3.1)$$

де M – маса наважки, гр.;

T – тривалість збору навішування, 10с.

Енергоємність E (кВт·год./кг) визначали за формулою:

$$E = \frac{N}{Q}; \quad (3.2)$$

де N – потужність електродвигуна здрібнювача при робочому навантаженні, кВт;

Q – продуктивність здрібнювача, кг/год.

Дослідження гранулометричного складу подрібненого зерна пшениці проводилися на лабораторній установці У1-Ерл по ГОСТ 30483. Використовувалися сита з отворами: 0,63; \emptyset 1,5; \emptyset 2,5; 2,2x20.

Зважування продуктів подрібнення проводилися на електронних вагах ТВЕ-0,6-0,01, клас точності II по ДСТУ EN 45501, дискретність 0,01.

Для вимірювання геометричних параметрів використовувався штангенциркуль типу ШЦЦ-I ГОСТ 166-89 класу точності 2, на якому передбачено цифровий відліковий пристрій з точністю вимірювання до 0,01 мм.

Методи математичної обробки експериментальних даних при проведенні експериментів були реалізовані за допомогою комп'ютерних програм:

- Microsoft Excel 2007 - для розрахунку коефіцієнтів регресії величини достовірності апроксимації;
- MathCad - для математичної обробки даних і побудови поверхні відгуку;
- Компас 3D, V16 - для обчислення площі зрізу зерна і побудова ліній рівних рівнів.

У процесі дослідження вимірювалися і визначалися наступні величини:
– тривалість експерименту; – маса матеріалу, що подрібнюється за час дослідів; – число обертів ротора; – потужність на валу двигуна.

Тривалість процесу подрібнення під час проведення експерименту вимірювалась секундоміром СОС пр-2б-2 з похибкою $\pm 0,3$ с. Результати експерименту зафіксовані в таблицях В.3-В.5 додатків.

Дослідження проводилися за стандартними і приватними методиками [48]. У табл. 3.1 представлені технічні характеристики та клас точності приладів використаних при проведенні експериментальних досліджень.

Таблиця 3.1 – Вимірювальні прилади, реєструєча і регулююча апаратура, застосовувані при проведенні експерименту

№	Найменування	Марка	Кл. точності	Межа вимірювання	Призначення
1	Частотний перетворювач	Веспер E2-8300		до 400 Гц до 1,5 кВт	Зміна частоти обертання робочого органу і вимірювання потужності двигуна
2	Ноутбук	Asus-756			Обробка цифрової інформації
3	Ваги лабораторні	ВК-600	0,01	до 600 г	Визначення маси проб і залишку на ситах
4	Секундомір механічний	СОПпр-2а-3	Похибка за 30 хв., $c \pm 1,6$	0,2 с	Реєстрація тимчасових інтервалів
5	Вологомір	ЭВ-2К	2	2-20 %	Вимірювання вологості зерна
6	Тахометр безконтактний Venetech GM8905	AR926	0,5	от 2,5 до 99 999 мин^{-1}	Вимірювання частоти обертання валу електродвигуна

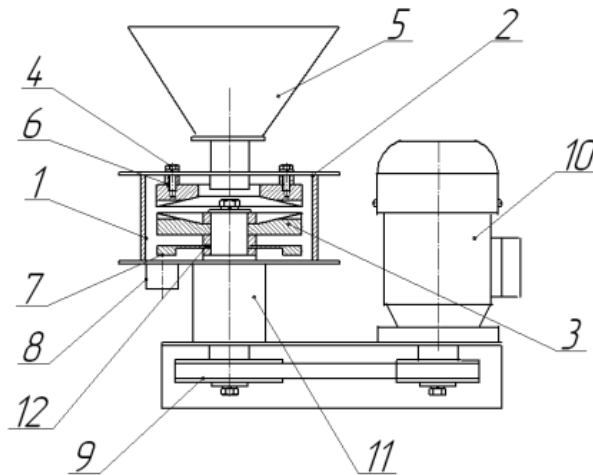
Для виборчого подрібнення зерна пшениці на дві половинки було розроблено дисковий здрібнювач сколювальної дії.

3.3. Експериментальна установка для дослідження процесу подрібнення зерна

Схема здрібнювача для сколювання зерна пшениці показана на рис. 3.1.

Дисковий здрібнювач складається з завантажувального бункера 5 (рис. 3.1), закріпленого на верхній кришці 2 робочої камери 1. У середині робочої камери 1 розташовані робочі органи, виконані у вигляді дисків – верхнього 6 і нижнього 3. Верхній диск 6 через дистанційну шайбу 9

кріпиться чотирма болтами 4 до верхньої кришки 6.



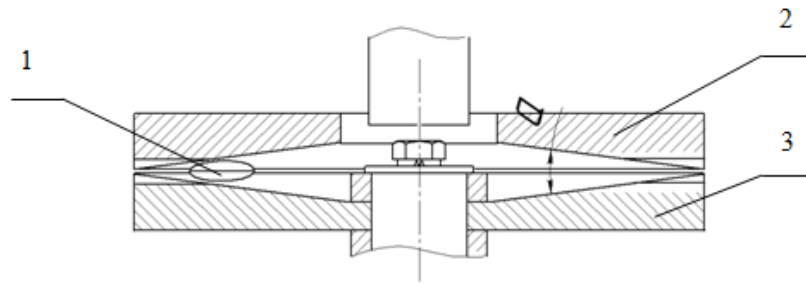
1 – робоча камера; 2 – верхня кришка; 3 – нижній диск; 4 – болти регульовальні; 5 – завантажувальний бункер; 6 – верхній диск; 7 – активатор; 8 – патрубок; 9 – ремінна передача; 10 – двигун; 11 – корпус підшипників; 12 – втулка

Рисунок 3.1 – Конструктивна схема дискового здрібнювача зерна пшениці

Нижній диск 3 і лопатевий активатор 7 закріплені на валу через дистанційні втулки 12 за допомогою болта, встановленого в підшипниковому корпусі 11. Обертання вала здійснюється від двигуна 10 через ремінну передачу 9. На нижній кришці закріплений патрубок 8. Робоча поверхня рухомого і не рухомого дисків виконана аналогічно, у вигляді усічених конусів як показано на рис. 3.2. Кут, утворений похилими поверхнями дисків дорівнює 14 градусів. На дисках нарізані рифлі при змиканні рифлів верхнього і нижнього дисків утворюється форма отвору каналу що здрібнює у вигляді циліндра.

При роботі здрібнювача електродвигун 10 (рис. 3.1) через клинопасову передачу приводить в обертання нижній диск 3. Зерно з завантажувального бункера 5 рівномірно подається в центральну частину здрібнювача і потрапляє в робочий простір між дисками 6, 3. Зернівка 2 під дією відцентрової сили надходить в канавку між дисками і в результаті взаємодії

розколюється уздовж борозенки як правило на дві або більше частин рис. 3.2.



1 – зернівка; 2 – нерухомий диск; 3 – рухомий диск

Рисунок 3.2 – Поперечний розріз робочих органів дискового здрібнювача

Продукти дроблення підхоплюються лопатевим активатором 7 і виводяться через розвантажувальний патрубок 8. Обертання від двигуна до диска здрібнювача здійснюється клинопасовою передачею 9.

Привод здрібнювача здійснюється через клинопасову передачу від трифазного двигуна 2 АІР 71 С, потужність 0,37 кВт, частота обертання валу двигуна 2880 об/хв. На рис. 3.3 показана кінематична схема привода.

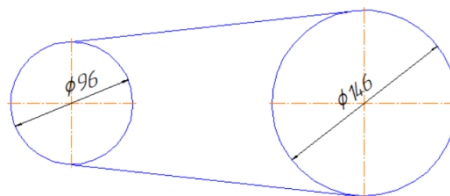


Рисунок 3.3 – Кінематична схема привода дискового здрібнювача

Привід складається з шківів 1 і 2 клинопасовою передачею 3. Шків 1 закріплений на валу двигуна $D_0=96$ мм. Шків 2 закріплений на валу ротора $D_p=146$ мм.

Розрахунок кутової швидкості на валу ротора ω_p :

$$\omega_p = \frac{\pi n_p}{30}, 1/\text{с}, \quad (3.3)$$

де

$$n_p = \frac{n_z D_1}{D_2}, \text{об/хв.} \quad (3.4)$$

На рис. 3.4 показаний загальний вигляд експериментальної установки. Експерименти проводилися в наступній послідовності. Зерном заповнювали бункер 1 живильника 3. Подачу зерна живильника встановлювали регулятором 2 та направляли на здрібнювач 4. Час проведення кожного експерименту фіксували секундоміром, він становив 10 с.



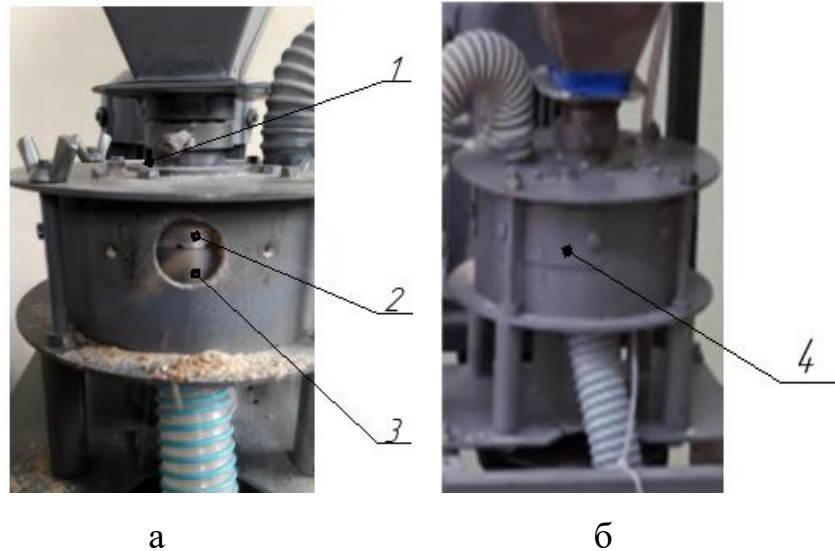
- 1 – завантажувальний бункер живильника; 2 – регулятор подачі зерна;
 3 – живильник; 4 – електродвигун здрібнювача; 5 – дисковий здрібнювач;
 6 – пульт управління; 7 – ємність для збору продуктів подрібнення;
 8 – перетворювач частоти; 9 – ноутбук

Рисунок 3.4 – Загальний вигляд експериментальної установки для проведення експериментів

Регулювання обертів на валу двигуна 4 здійснювали перетворювачем частоти ATV312HU15N4 8 за допомогою програми SoMove V2.6.2 встановленої на ноутбучі 9. Крім цього програма дозволяла визначати потужність на валу двигуна 4 під час проведення експерименту [22, 74].

Регулювання зазору між дисками здрібнювача здійснювали за

допомогою 4-х болтів 1 (рис. 3.5 а). Для цього знімалися чотири захисні кришки 4 (рис. 3.5 б) за допомогою щупа через вікно, обертаючи по черзі болти, встановлювали необхідний проміжок між дисками 2, 3 (рис. 3.5 а).



а – дисковий здрібнювач зі знятими захисними кришками: 1 – болт регульовальний; 2 – диск верхній; 3 – диск нижній; б – дисковий здрібнювач з захисними кришками: 4 – захисні кришки

Рисунок 3.5 – Регулювання зазору між дисками

3.4. Додаткове обладнання для дослідження процесу подрібнення зерна

Для поділу продуктів дроблення і зернової суміші був розроблений і виготовлений циліндричний сепаратор. Загальний вигляд сепаратора показаний на рис. 3.6. Сепаратор складається з корпусу 8, приводу 6, електропульту 7 закріплених на рамі 4. До корпусу сепаратора закріплені завантажувальний бункер 1 з пристроєм 2, що подає, а також розвантажувальні лотки 3.

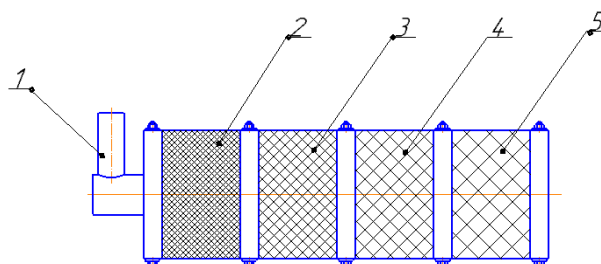
Сировина через завантажувальний пристрій 1 (рис. 3.7) подається на робочий орган сепаратора, що складається з чотирьох циліндричних сит. Розмір осередків сит збільшується по ходу руху продукту, при цьому дрібні частинки проходять крізь отвори сит 2, 3, 4 і називаються проходами, а

великі частки сходять з сита 5 і називаються сходом.



1 – завантажувальний бункер; 2 – живильник; 3 – розвантажувальний лоток;
4 – рама; 5 – ємність для продуктів просіювання; 6 – привід сепаратора;
7 – електропульт; 8 – корпус сепаратора

Рисунок 3.6 – Лабораторний циліндричний сепаратор



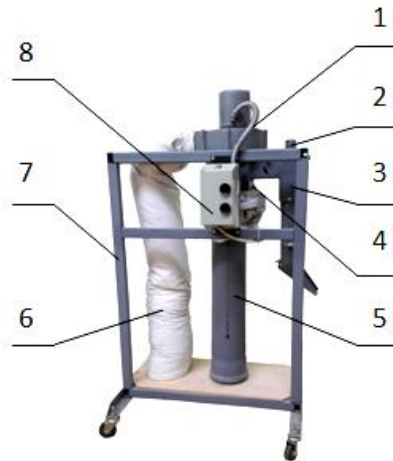
1 – завантажувальний пристрій; 2 – сито №1; 3 – сито №2;
4 – сито №3; 5 – сито №4

Рисунок 3.7 – Принципова схема робочого органу циліндричного сепаратора

Таким чином після сепарації продукту отримували 5 фракцій продукту. Об'єднуючи сходи з сит 3, 4, 5 з проходом сита 5 можна розділити продукт на 2, 3, 4 фракцій співвідносно.

Лабораторний повітряний сепаратор (рис. 3.8) складається з вентилятора 1 закріпленого на рамі 7, приймального каналу 2 виконаного у

вигляді труби встановленої в пневмоканалі 3. Пневмоканал з'єднаний з камерою що розділяє 4, яка зверху з'єднана з входом вентилятора, а знизу з осадовою камерою для великих відносів 5. На виході з вентилятора встановлений тканинний фільтр для дрібних відносів 8.



1 – вентилятор; 2 – приймальний канал; 3 – пневмоканал; 4 – камера що розділяє; 5 – осадова камера для великих відносів; 6 – тканинний фільтр для дрібних відносів; 7 – рама; 8 – електропульт

Рисунок 3.8 – Повітряний сепаратор

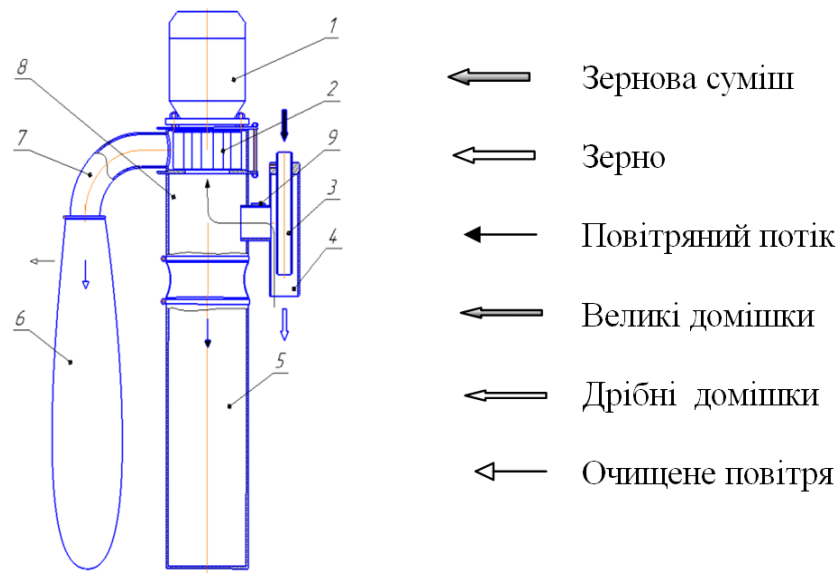
Принцип повітряного очищення зерна заснований на відмінності опорів, що надаються різними частинками висхідному повітряному потоку, створюваному в пневмоканалі повітряного сепаратора. Це обумовлено фізико-механічними особливостями частинок, які характеризують їх аеродинамічні властивості.

Технологічний процес в повітряному сепараторі здійснюється таким чином (рис. 3.9). Крізь приймальний канал 3 зерно потрапляє в пневмоканал 4, підхоплені масою повітря аеродинамічні домішки потрапляють в розділову камеру 8, де частина домішок осідає в осадовій камері 5 у вигляді великих відносів, а дрібні відноси через лопатеве колесо 2 вентилятора 1 і вихідний канал 7 разом з масою повітря потрапляють в тканинний фільтр 6, в якому затримуються дрібні відноси, а очищене повітря виходить назовні.

Витрати повітря в робочій камері сепаратора регулюються дросельною заслінкою 9, а для більш ефективного розподілу зерна різних культур від аеродинамічних домішок передбачена можливість регулювання патрубку 3 вгору – вниз, що дозволяє відповідно збільшити – зменшити час впливу повітряних мас на зерно.

У пневмоканалі на кожен частку будуть діяти сила тяжіння G і опір середовища R (рис. 3.9). Можливі три випадки руху зерна:

- а) вгору, якщо $R > G$;
- б) вниз, якщо $R < G$;
- в) рівновага, якщо $R = G$.



- 1 – електродвигун; 2 – вентилятор; 3 – приймальний канал; 4 – пневмоканал;
 5 – осадова камера для великих відносів; 6 – тканинний фільтр для дрібних відносів; 7 – канал для виходу легких відносів; 8 – камера що розділяє;
 9 – заслінка

Рисунок 3.9 – Принципова схема повітряного сепаратора

Таким чином відбувається поділ суміші, тобто очищення зерна від легких домішок. Ефективність роботи повітряних сепараторів залежить від питомого навантаження і швидкості повітряного потоку в пневмоканалі, його розмірів, ступеня засміченості. Величину питомого навантаження в

основному беруть в залежності від культури зерна і встановлюють експериментально.

Для очищення поверхні зерна було розроблено шелушільно-шліфувальну машину (рис. 3.10). Робочими органами шелушільно-шліфувальної машини є абразивна внутрішня поверхня стінки робочої камери і абразивні круги. У верхній частині машини встановлений бункер для зерна 1, який знаходиться над корпусом шелушільної машини 2. Робочий орган шелушільно-шліфувальної машини приводиться в рух від електродвигуна 3.



1 – бункер для зерна; 2 – корпус шелушільної машини; 3 – електродвигун;
4 – пульт управління; 5 – випускний патрубок; 6 – станина

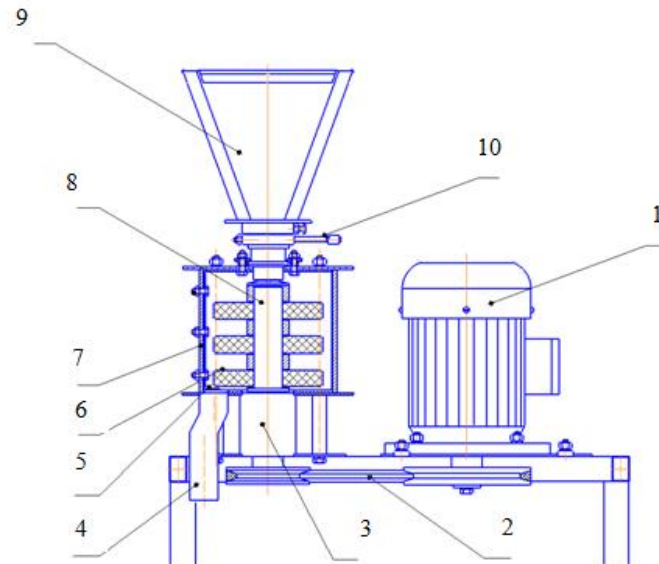
Рисунок 3.10 – Шелушільно-шліфувальна машина

Для включення в роботу призначений пульт управління 4. Продукти лущення виходять через випускний патрубок 5. Всі механізми розміщені на станині 6.

Зерно в шелушільно-шліфувальній машині обробляється в результаті взаємного тертя, інтенсивного тертя об робочі органи і в залежності від інтенсивності впливу робочих органів і абразивної поверхні робочих органів машина може працювати в режимі лущення або шліфування зерна.

На рис. 3.11 приведена принципова схема шелушільно-шліфувальної

машини. Вертикальний вал машини приводиться в рух від електродвигуна 1 (рис. 3.11) через клинопасову передачу 2. В процесі роботи продукт в машину надходить з завантажувального бункера 9 в кільцевий простір (робочу зону) між абразивними обертовими дисками 6 і абразивної поверхнею 7 на внутрішній поверхні робочої камери.



- 1 – електродвигун; 2 – клинопасова передача; 3 – корпус підшипників;
 4 – патрубок; 5 – заслінка; 6 – абразивний диск; 7 – абразивна поверхня
 (відсутня в шліфувальній машині); 8 – вал; 9 – бункер для зерна;
 10 – живильник

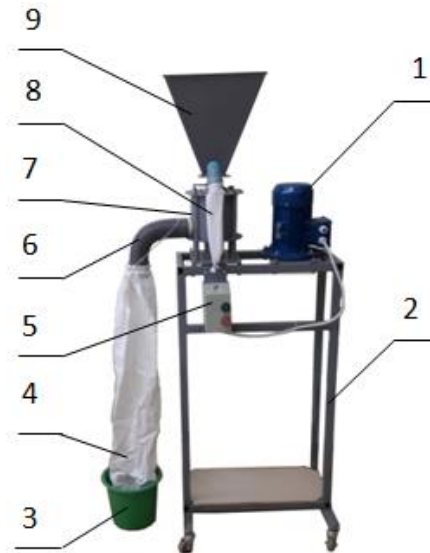
Рисунок 3.11 – Принципова схема шелушильної машини

Зерно піддається інтенсивному тривалому тертю при просуванні зерна до випускного патрубку 4. В результаті відбувається відділення оболонки, які потім видаляються в повітряному сепараторі.

Швидкість переміщення зерна в робочій зоні, а, отже, і тривалість його обробки, продуктивність машини і технологічну ефективність процесу лущення, шліфування та полірування регулюють за допомогою заслінки 5 розмішеної над вихідним патрубком 4. Повітря, що засмоктується через патрубку, проходить крізь шар оброблюваного продукту і надходить у вхідний канал повітряного сепаратора де відбувається виділення з основної

маси зерна легких і важких домішок.

Для здрібнення зерна в борошно було розроблено вертикально роторний здрібнювач зерна в борошно (рис. 3.12).



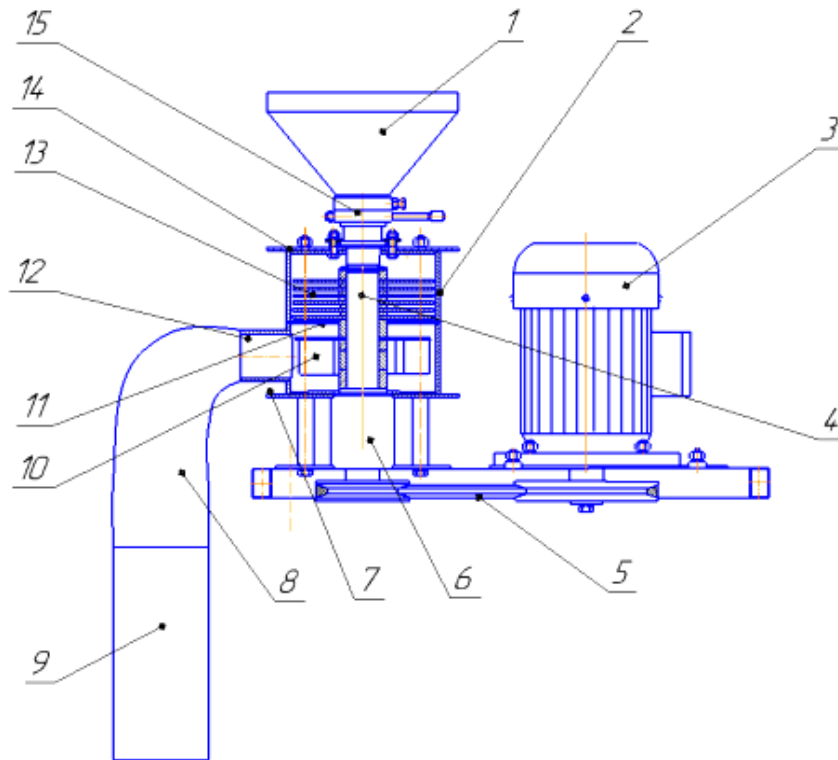
1 – привод; 2 – рама; 3 – ємність для продуктів подрібнення; 4 – тканинний фільтр; 5 – електропульт; 6 – вихідний патрубок; 7 – корпус машини; 8 – тканинний фільтр; 9 – завантажувальний бункер

Рисунок 3.12 – Лабораторний вертикально-роторний здрібнювач зерна в борошно

Лабораторний вертикально-роторний здрібнювач зерна в борошно має вертикальне виконання і складається з рами 2 на якій закріплені корпус машини 7, привід машини 1 та електропульт 5. На корпусі машини встановлений завантажувальний бункер 9 для подрібнення продукту, тканинний фільтр 4 і вихідний патрубок 6 із закріпленням на ньому тканинним фільтром 4, нижня частина якого опушена на дно ємності 3.

На рис. 3.13 представлена принципова схема вертикально-роторного здрібнювача зерна в борошно. Працює здрібнювач наступним чином. Вихідний продукт з завантажувального бункера 1 крізь живильник 15 потрапляє в робочу камеру 2, де в результаті багаторазового ударного впливу молотків 13 на продукт відбувається його подрібнення. Молотки закріплені

жорстко на валу 14, на який передається обертання від двигуна 3 через клинопасову передачу 5. Подрібнений продукт під дією сили тяжіння і повітряного потоку утвореного вентилятором 10 виходить з робочої камери 2 крізь патрубок 12 і потрапляє в тканинний фільтр 8 де осідає в ємність для збору подрібненого матеріалу 9.



1 – завантажувальний бункер; 2 – корпус машини; 3 – електродвигун;
 4 – молотки; 5 – клинопасова передача; 6 – корпус підшипників; 7 – нижня
 кришка камери; 8 – тканинний фільтр; 9 – ємність; 10 – вентилятор;
 11 – решето; 12 – вихідний патрубок; 13 – молотки; 14 – верхня кришка
 камери; 15 – живильник

Рисунок 3.13 – Принципова схема вертикально-роторного
 здрібнювача зерна в борошно

Для сортування продуктів подрібнення використовується просіювач з відповідним набором сит.

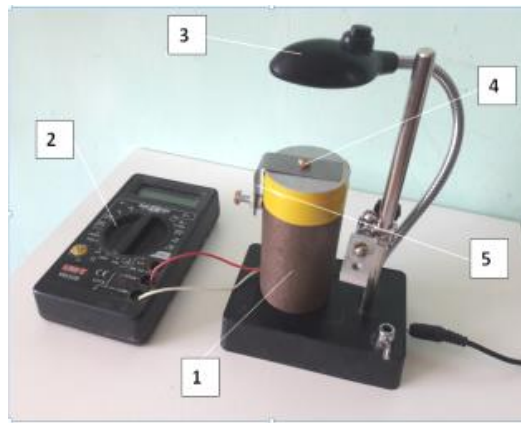
3.5. Методика дослідження фізико-механічних властивостей шелушеного зерна

Попередньо зерно відібрали за двома критеріями: 1. Розмір зернівок; 2. Склоподібність зернівок. Для вимірювання зернівок використовували штангенциркуль типу ШЦЦ-1-125-0,01 ГОСТ 166. Результати вимірів наведені в табл. А1 додатків.

Для отримання найбільш достовірної інформації з зерна виділили фракцію прохід 2,8x20 сход 2,6x20 (табл. Б2 додатків). Зерна однієї фракції можуть мати більш склоподібну, або менш склоподібну структуру ендосперму. Це може привести до великих погрешностей при вимірюванні сили що руйнує зернівки з однаковими геометричними розмірами, так як сила руйнування зерна з борошнистим ендоспермом менше в порівнянні з зерном зі склоподібною структурою ендосперму. Для поділу зерен з борошняною і склоподібною структурою використовували приватну методику [15]. Зерно укладали між джерелом світла і фотоелементом і заміряли інтенсивність світлового потоку що пройшов крізь зерно.

Зерно з борошняною структурою ендосперму буде більше розсіювати і поглинати світловий потік, що проходить крізь зерно, ніж зерно з склоподібною структурою ендосперму. Таким чином можна припустити, що зерно відібране за цим принципом, в певному діапазоні, буде мати приблизно однакову структуру ендосперму.

Просвічування зернівки вели в видимому діапазоні. Було розроблено і виготовлено пристрій для відбору склоподібних зерен у вузькому діапазоні. Прилад складається з тубуса 1 (рис. 3.14) в якому розміщений фотоелемент, який з'єднаний з милліамперметром 2. Зерно 4 розміщується над отвором який виконано в пластині 5. Над зерном розміщується джерело світла 3.



1 – тубус з вбудованим в нього фоторезистором; 2 – тестер;
3 – джерело світла; 4 – зерно пшениці

Рисунок 3.14 – Пристрій для відбору склоподібних зерен в установленому діапазоні

Фоторезисторами називають напівпровідникові прилади, опір яких змінюється під дією світлового потоку. Якщо фоторезистор включений послідовно з джерелом напруги (рис. 3.15) і не освітлений, то в його ланцюзі буде протікати темновий струм:

$$I_T = U / (R_m + R_H) \quad (3.5)$$

де U – напруга джерела живлення;

R_T – величина електричного опору фоторезистора в темряві, яка називається темновим опором;

R_H – опір навантаження.

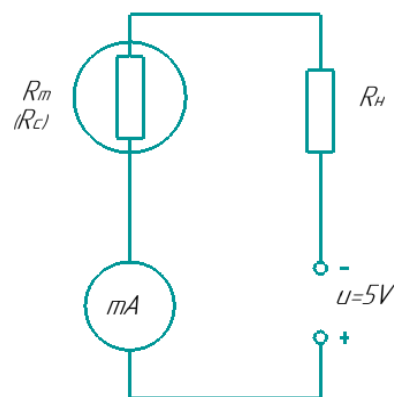


Рисунок 3.15 – Принципова схема включення фоторезистора

При висвітленні фоторезистора енергія фотонів витрачається на перекид електронів в зону провідності. Кількість вільних електронно-доручених пар зростає, опір фоторезистора падає, і через нього тече світловий струм, обумовлений формулою:

$$I_c = U / (R_c + R_n). \quad (3.6)$$

Таким чином, чим більше інтенсивність світла, тим більше світловий струм I_c . Вимірювання струму проводили за допомогою тестера.

Спочатку проводили юстировку приладу, для цього включали джерело світла і закріплювали пластину 5 і фоторезистор таким чином, щоб прилад показував максимальний струм [15]. Уклали зерно на планку так, щоб прилад показував мінімальне значення сили струму і робили вимір. Результати заносили в табл. Б.3 додатків.

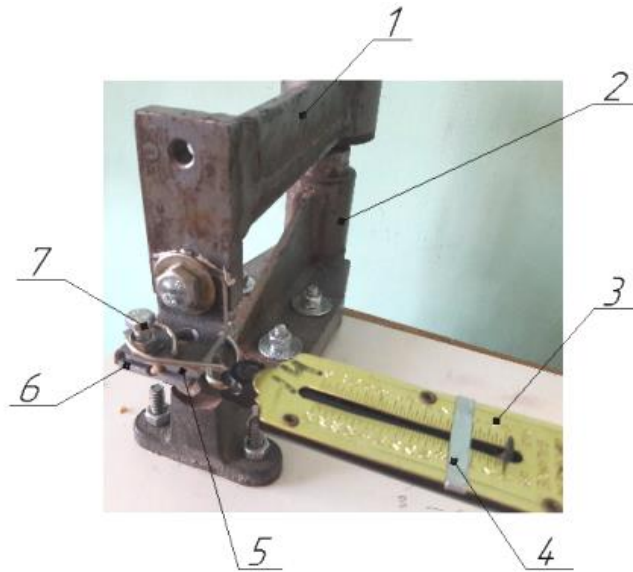
3.6. Методика визначення руйнівної сили при сколі зерна

Аналіз, проведений в першому розділі дослідження показав, що міцність зернівки розколотої по борозенці менше ніж міцність в будь-якому іншому напрямку. Дослідження проводили з метою уточнення даних про механічну міцність зерна [78, 80, 81].

Скол зернівки проводили в різних площинах, по площині борозенки і поперек центральної частини зернівки і за отриманими результатами експериментів аналізували також залежності між площею зрізу зернівки і руйнівного навантаження. Обробку отриманих даних виконували за допомогою інструментів аналізу в Excel-2007.

Для проведення експерименту було виготовлено пристрій для розколу зерна наведений на рис. 3.16. Пристрій складається з підстави 2, кронштейна 1, верхньої 5 і нижньої 6 планок, пружинного динамометра 3 з фіксатором 4,

та болта 7.



1 – кронштейн; 2 – підстава; 3 – пружинний динамометр; 4 – фіксатор;

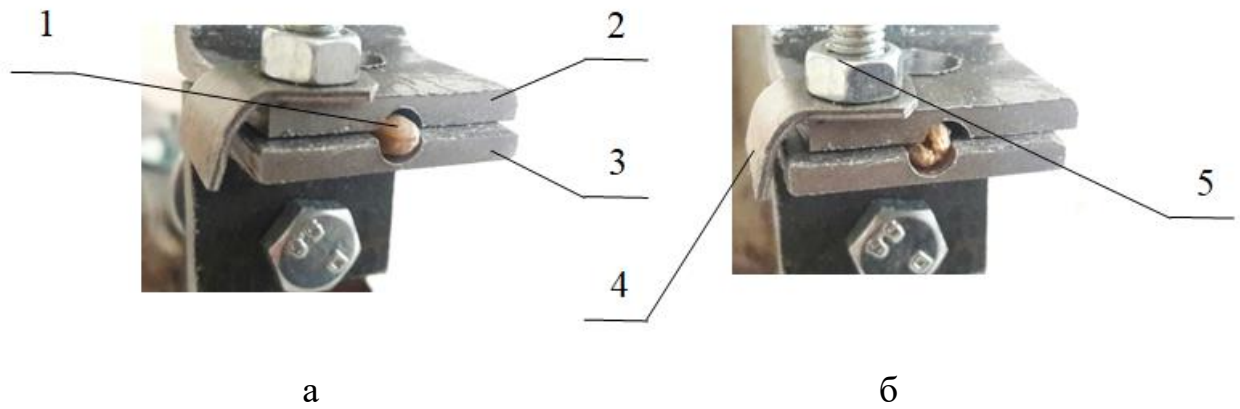
5 – верхня планка; 6 – нижня планка; 7 – болт

Рисунок 3.16 – Пристрій для розколу зерна пшениці

Зернова суміш за крупністю зернівок неоднакова, тому для випробування використовували середню фракцію проходом крізь сито 2,8x20 і залишком на ситі 2,6x20.

Для визначення сили що руйнує $F_{зр}$ уздовж зерна по борозенці, зерно 1 (рис. 3.17) укладали в робочий канал між верхньою 2 і нижньою 3 пластинами. Зерно укладали таким чином, щоб площина борозенки була паралельна площині пластин. До болта 4 кріпиться динамометр з фіксатором максимального навантаження.

Після цього навантажували зерно до повного його руйнування. Після зняття навантаження показання динамометра фіксуються планкою 4 (рис. 3.16). Аналогічно проводили зріз зернівки в каналі 5 для визначення руйнівної сили $F_{зр}$ поперек зерна. Шкала динамометра від 0 до 200 Н, похибка вимірювань навантаження 5 %.



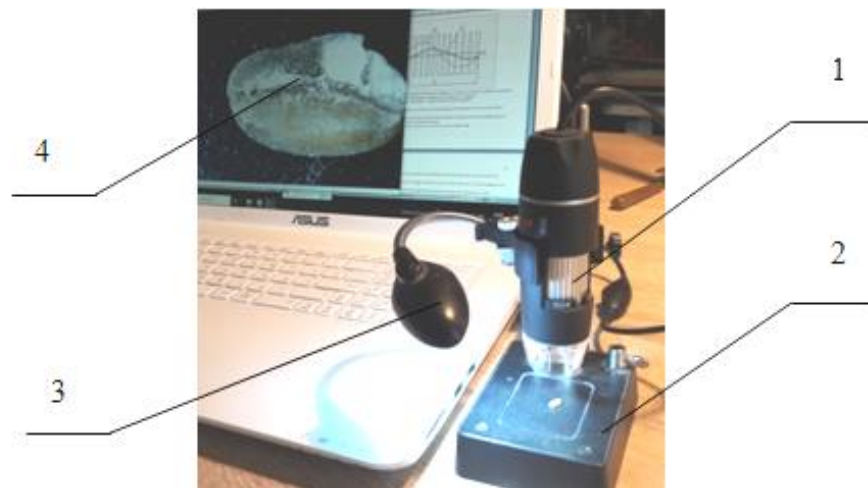
а – до відколу; б – після відколу

1 – зерно; 2 – верхня планка; 3 – нижня планка; 4 – планка обмежувача;
5 – кріплення планки обмежувача і динамометра

Рисунок 3.17 – Зерно в робочій комірці

Зерно, після відколу по борозенці, поміщали на предметний стіл мікроскопа таким чином, щоб площина відколу була паралельна площині предметного столу.

Таке розташування зерна мінімізувало похибки при зйомці [110].



1 – електронний мікроскоп; 2 – стійка; 3 – зернівка; 4 – ноутбук

Рисунок 3.18 – Прилади для мікрозйомки поверхні відколу зернівки

Зріз зернівки фотографували і передавали цифрове зображення в програму "Компас", де проводили масштабування за фактичними розмірами

зерна і за допомогою інструментів "Компас" розраховували площі зрізу.

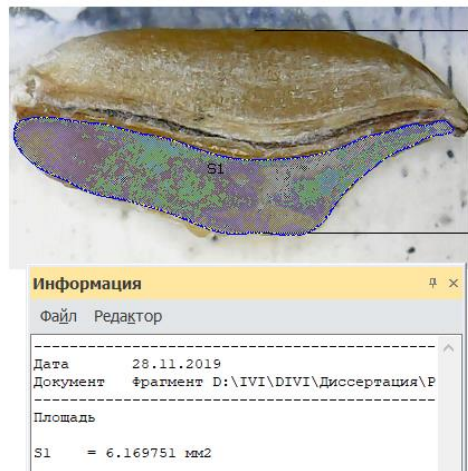


Рисунок 3.19 – Зображення розколотої зернівки по борозенці в програмі Компас 3D

Значення зрізуючих напружень визначали за формулою:

$$\tau = \frac{F_{\text{ср.}}}{S_{\text{зр}}}, \quad (3.7)$$

де $F_{\text{ср.}}$ – величина руйнівного навантаження, Н;

$S_{\text{зр}}$ – площа зрізу зернівки, мм².

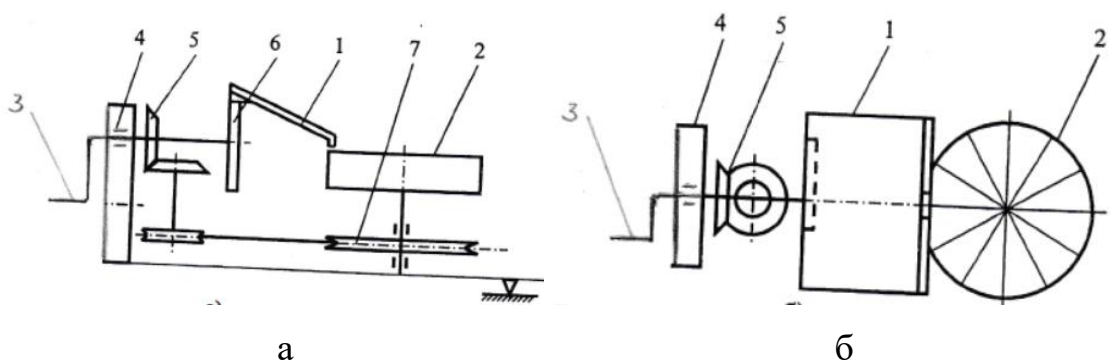
3.7. Методика досліджень коефіцієнта тертя шелушеного зерна пшениці

Для визначення коефіцієнтів тертя використовували широко відомий принцип визначення коефіцієнтів тертя за допомогою похилої площини, в якому через визначення кута нахилу площини під яким починається рух частинок по площині за допомогою формули $f = \text{tg}\varphi$ вираховували коефіцієнт тертя. Коефіцієнт тертя дорівнює тангенсу кута нахилу φ похилої площини при якому починається рух частинки, тобто $f = \text{tg}\varphi$. Однак недоліком цього способу є низька продуктивність визначення коефіцієнтів

тертя сипкої сільськогосподарської сировини.

Цей недолік пояснюється тим, що коефіцієнт тертя кожної з частинок одного й того ж виду сировини має відмінності, тому для визначення середньо статистичної величини коефіцієнту тертя, або для побудови варіаційних кривих потрібно визначити коефіцієнт тертя для великої кількості частинок, як правило до 300 шт., і кожного разу визначення кута нахилу похилої площини потрібно починати з мінімального при якому частинка знаходиться в спокої, і поступово підвищувати його доки вона не почне рухатись. Отже на це витрачається велика кількість часу, тобто недоліком цього способу є низька продуктивність. Для підвищення продуктивності процесу визначення коефіцієнтів тертя сипких матеріалів розроблено прилад, поверхню тертя якого виконано з можливістю зміни кута нахилу, а приймачі продукту виконані у вигляді барабана з радіальними секціями та встановлені з можливістю їх обертання навколо осі барабана, причому механізм підйому поверхні тертя кінематично зв'язаний з механізмом обертання барабана.

Сутність приладу для визначення коефіцієнтів тертя пояснюється кресленням, де на рис. 3.20 (а) зображено схему приладу для визначення коефіцієнтів тертя вигляд збоку, на рис.3.20 (б) те ж вигляд зверху.



а – вигляд збоку; б – вигляд зверху;

1 – похила площина; 2 – приймачі; 3 – рукоятка; 4 – редуктор; 5 – конічна передача; 6 – кулачок; 7 – ланцюгова передача

Рисунок 3.20 – Схема прилад для визначення коефіцієнтів тертя сипких матеріалів

Прилад складається з похилої площини 1, приймачів продукту 2, які виконані у вигляді барабана, електродвигуна 3, редуктора 4, конічної передачі 5, кулачка 6, ланцюгової передачі 7, що зв'язує механізм підйому поверхні тертя з механізмом обертання барабана.



Рисунок 3.21 – Прилад для визначення коефіцієнтів тертя сипких матеріалів

Працює прилад для визначення коефіцієнтів тертя наступним чином. На похилу площину приладу укладається повна наважка зернинок для якої визначається кут тертя. Похила площина встановлюється на мінімальний кут при якому частинки ще залишаються в спокої на похилій площині. При збільшенні кута нахилу, частинки які мають, менший коефіцієнт тертя починають рух вниз по площині і попадають в першу секцію приймачів барабана. Як правило при цьому механізмом підйому площини підіймається на один градус, але ця величина може бути й іншою, наприклад, $1,5^\circ$ або 2° .

При подальшому підйомі похилої площини насіння потрапляє в другу секцію приймачів барабана і так далі. Після підйому площини до величини коли всі частинки перемістяться в секції приймачів, підраховується їх кількість в кожній секції та підраховується середнеарифмітична величина коефіцієнту тертя, або вибудовуються варіаційні ряди або криві цієї величини. Цей процес на відмітку від відомих здійснюється в результаті проведення навіть одного експерименту якщо на похилій площині буде укладена достатня кількість

частинок сипкого матеріалу (як правило до 300 шт.) за рахунок чого продуктивність визначення коефіцієнтів тертя сипких сумішей значно зростає.

3.8. Методика вимірювань і обробка експериментальних даних

Абсолютну похибку приладу визначали за формулою:

$$\Delta U = \frac{\Delta}{2}, \quad (3.8)$$

де Δ – ціна поділки приладу.

Середнє квадратичне відхилення похибки приладу визначали за формулою:

$$S = \frac{\Delta U}{\sqrt{K_0}}, \quad (3.9)$$

де K_0 – кількість повторностей дослідів.

Відносну похибку дослідів розраховували за формулою:

$$\delta = \frac{\Delta X_i}{X_{\text{ср}}}, \quad (3.10)$$

де $X_{\text{ср}}$ – абсолютна похибка вимірювань.

Довірчі границі ε випадкової похибки результату вимірювання визначали за формулою:

$$\varepsilon = t S_{\Sigma}, \quad (3.11)$$

де t – коефіцієнт Стьюдента.

S_{Σ} – емпіричне середньоквадратичне відхилення.

Всі досліді виконували по одному разу, а в центрі плану дублювалися

три рази. Дисперсію досліду розраховували за формулою

$$S_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_0} (y_{0j} - \bar{y}_0)^2}{n_0 - 1}, \quad (3.12)$$

де y_{0j} – результат g -го дубля (повтору) досліду в центрі плану;

\bar{y}_0 – середнє арифметичне значення функції відгуку, отримане за результатами n_0 дослідів в центрі плану.

$n_0 - 1 = 2$ – число ступенів свободи.

Перевірку однорідності при однаковому числі паралельних дослідів проводили за допомогою критерію Кохрена (G-критерій). Визначали дисперсію паралельних дослідів за формулою:

$$S_i^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{i=1}^r (y_{il} - \bar{y}_i)^2, \quad (3.13)$$

де $i=1, 2, \dots, N$;

r – число паралельних дослідів, при одноразових вимірюваннях брали $r=3$;

Обчислювали відношення максимальної дисперсії до суми всіх дисперсій (критерій Кохрена):

$$G = \frac{S_{max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (3.14)$$

Визначили числа ступенів свободи $f_1=r-1=1$ і $f_2=N=15$ і 5 %-му рівні значущості. По таблиці визначили $G_{табл.} = 0,3346$.

Якщо $G \leq G_{табл.}$, то дисперсія однорідна.

Дисперсію S_y^2 відтворюваності експерименту визначали за результатами дослідів в центрі плану, використовуючи формулу:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_{0u} - \bar{y}_0)^2}{n_0 - 1}; \quad (3.15)$$

де \bar{y}_0 – середнє арифметичне значення функції відгуку, отримане за результатами n_0 дослідів в центрі плану.

Коефіцієнти регресійного рівняння визначали за допомогою методу найменших квадратів, для трьох факторів вони мають вигляд:

$$b_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}; \quad (3.16)$$

$$b_i = \sum_{j=1}^N x_{ij} y_j; \quad (3.17)$$

$$b_{ij} = D \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{lj} y_j \quad (3.18)$$

$$b_{ii} = B \sum_{u=1}^N x_{ij}^2 y_j + \sum_{l=1}^k \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 x_{lj} y_j - \frac{1}{p \cdot n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}; \quad (3.19)$$

де n_0 – число дослідів в центрі плану;

u – номер паралельного дослідів в центрі плану;

y_{0u} – значення функції відгуку в u -му досліді;

N – число дослідів в матриці планування;

j – номер дослідів в матриці планування;

i, l – номери чинників;

$x_{ij} x_{lj}$ – кодовані значення i -го і l -го факторів в j -м досліді;

y_j – значення функції відгуку в j -м досліді;

k – число факторів;

A, B, C, D, p – константи, що залежать від числа факторів таблиця Б1.1 додатків.

Після визначення значущості коефіцієнтів за критерієм Стюдента складаємо рівняння регресії в закодованому загальному вигляді:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 \quad (3.20)$$

Перевіряємо коефіцієнти регресії за критерієм Стюдента.

Для коефіцієнтів регресії розраховуємо довірчий інтервал за

формулою:

$$\Delta b_j = \pm t s_{b_j}, \quad (3.21)$$

де t – критерій Стьюдента при заданому рівні значимості α і ступеня свободи f , s_{b_i} – помилка визначення коефіцієнтів b_j .

Помилку визначення коефіцієнтів b_j , визначаємо за формулою:

$$s_{b_i} = \sqrt{s_{b_i}^2}, \quad (3.22)$$

де $s_{b_i}^2$ – дисперсія при визначенні коефіцієнтів.

Розрахунок дисперсії при визначенні коефіцієнтів проводимо за наступними формулами:

$$s_{b_i}^2 = A S_y^2; \quad (3.23)$$

$$s_{b_{ij}}^2 = D S_y^2; \quad (3.24)$$

$$s_{b_{ii}}^2 = \left(B + \frac{1}{p^2 n_0} \right) S_y^2; \quad (3.25)$$

де S_y^2 – дисперсія відтворюваності.

Адекватність математичної моделі перевірялася за допомогою критерію Фішера. Для полінома другого порядку по F -критерієм Фішера розрахункове значення визначаємо за формулою:

$$F = \frac{s_{ад}^2}{S_y^2}, \quad (3.26)$$

де $s_{ад}^2$ – дисперсія адекватності;

S_y^2 – дисперсія відтворюваності.

Гіпотезу про адекватність можна вважати вірною якщо $F_{\text{расч.}} < F_{\text{табл.}}$.

Розкодування рівняння 3.20 проводимо за наступною формулою:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\varepsilon_i}, \quad (3.27)$$

де x_i – кодоване значення фактора;

X_i – натуральне значення фактора;

X_{0i} – натуральне значення фактора на нульовому рівні;

ε_i – натуральне значення інтервалу варіювання відповідного фактора.

При складанні методики використовували матеріал наведений в наступних роботах [62, 63, 64, 74, 75].

Висновки за розділом 3

1. Запропонована програма експериментальних досліджень була спрямована на розв'язок завдань вивчення морфолого-анатомічних та фізико-механічних властивостей зерна пшениці, розробку конструкції на визначення конструктивних параметрів дискового здрібнювача зерна пшениці сколювальної дії, дослідження впливу параметрів робочих органів здрібнювача на енергоємність процесу та вихід повноцінного продукту, перевірку співвідношення теоретичних досліджень до експериментальних.

2. Обрані та обґрунтовані методи та обладнання для дослідження морфолого-анатомічних та фізико-механічних властивостей зерна пшениці та визначення раціональних параметрів процесу здрібнення.

3. Розроблені інноваційні методи та обладнання для визначення фізико механічних властивостей зерна пшениці такі як: прилад для визначення коефіцієнтів тертя шелушеного зерна пшениці, пристрій для відбору склоподібних зерен, прилад для визначення руйнівної сили зерна пшениці, та прилад для мікроз'йомки поверхні зернівки.

4. Розроблено допоміжне обладнання для здійснення запропонованої технології виробництва борошна та круп з використанням дискового здрібнювача таке як: лабораторний циліндричний сепаратор, повітряний сепаратор, шелушільно-шліфувальна машина, лабораторний вертикально – роторний здрібнювач зерна в борошно.

5. Провести експериментальні дослідження згідно з розробленою програмою і методикою.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Аналіз результатів розколювання зерна пшениці

В якості випробуваного матеріалу використовувалися луцке зерно озимої м'якої пшениці сорту "Смуглянка" (оригіна́тор: Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, м Київ і Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла НААН України Київська обл.) з наступними показниками якості: початкова вологість 14 %; натура 746 г/л; скловидність 70 %; маса 1000 зерен 35,2 г; зольність 1,75 %; коефіцієнт луцкєння $C_{III}=6$.

Статистичні характеристики навантажень що руйнують зерно уздовж і поперек наведені в таблиці 4.1. Аналіз цих значень показує, що їх діапазони відрізняються (мінімум 22,54 Н і 50,97 Н, максимум 37,24 Н і 109,76 Н відповідно), а середнє зусилля руйнування вздовж становить 46,4 % від середнього навантаження поперек. Статистичні характеристики площі зрізу вздовж і поперек зернівки наведені в таблиці 4.2, в таблиці 4.3 наведені середні значення напруги і площі зрізу.

Таблиця 4.1 – Статистичні характеристики руйнівного навантаження

Навантаження	Число дослідів	Граничні напруги, Н/мм ²					Станд. поми-лка	Станд. відхи-лення
		Середнє	Медіана	Мода	min	max		
Уздовж	28	29,68	29,4	29,4	22,5	37,24	0,6549	3,4659
Поперек	28	72,38	67,13	58,8	50,9	109,76	3,1718	16,7838

Таблиця 4.2 – Статистичні характеристики площі зрізу

Навантаження	Кільк. дослідів	Площа зрізу, мм ²					Станд. похибка	Станд. відхилення
		Середнє	Медіана	Мода	min	max		
Уздовж	28	4,05	4,15	4,3	3	5,3	0,0964	0,5106
Поперек	28	7,2189	7,25	7,4	5,77	9,5	0,1706	0,9031

Таблиця 4.3 – Середні значення напруги і площі зрізу

	Середня площа $S_{зк.}$, мм	Середнє навантаження P , Н	Середня напруга, Н/мм ²
Уздовж	4,0	29,7	7,4
Поперек	7,2	72,4	10,0

Графічне зображення результатів експериментів в координатах «площа – навантаження» (рис. 4.1, 4.2) наочно демонструє збільшення навантаження зі збільшенням площі.

Середні значення руйнівних навантажень в залежності від площі поперечного перерізу змінюються істотно і по суті для зернівки з більшою площею відколу необхідні більш високі зусилля, а отже і більш високі витрати енергії (табл. 4.3).

Отримано регресійні залежності між площею перетину зернівки і зрізуючими напруженнями представлені на рис. 4.1, рис. 4.2.

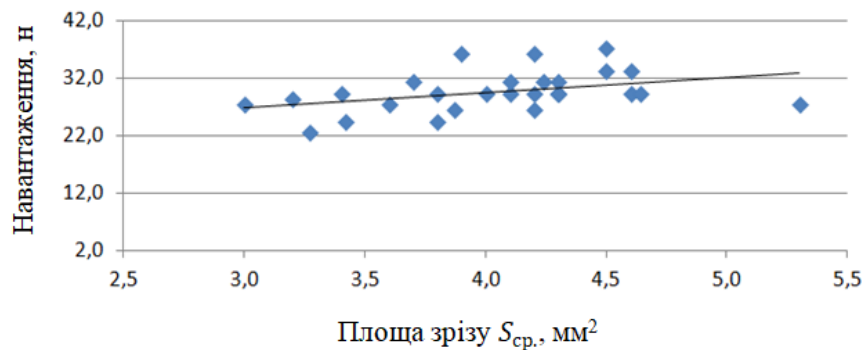


Рисунок 4.1 – Залежність навантаження від площі зрізу при руйнуванні уздовж зернівки по борозенки

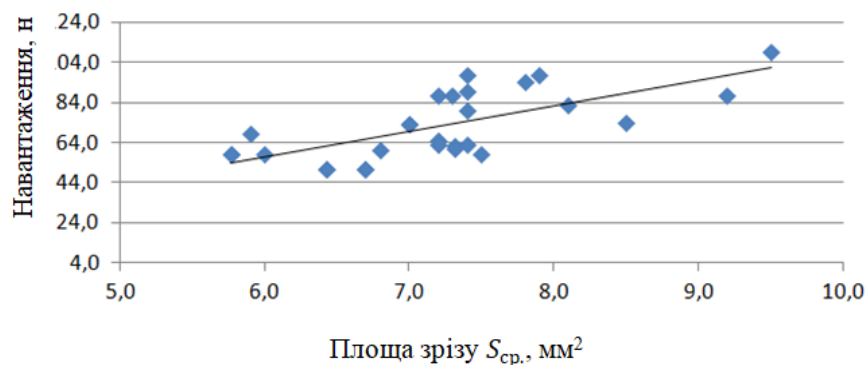


Рисунок 4.2 – Залежність навантаження від площі зрізу при руйнуванні поперек зернівки

Рівняння регресії залежності навантаження від площі зрізу при руйнуванні зернівки уздовж борозенки має такий вигляд:

$$y=2,6726 \cdot S+18,862 \cdot R^2=0,155. \quad (4.1)$$

Рівняння регресії залежності навантаження від площі зрізу при руйнуванні зернівки поперек борозенки має наступний вигляд:

$$y=12,887 \cdot S-20,648 \cdot R^2=0,4809. \quad (4.2)$$

Встановлена слабка залежність зусилля що руйнує від площі відколу. Визначено, що навантаження зростає з ростом площі відколу. Середні значення напружень для зерна пшениці розколотої уздовж зернівки по борозенці складають 7,4 Н/мм², середні значення напружень для зерна пшениці розколотої поперек осі зернівки склали 10,0 Н/мм². Отже скол зерна уздовж по борозенці є менш енергоємним.

4.2. Обґрунтування і визначення частоти обертання ротора

На підставі проведеного аналізу технологічного процесу подрібнення зерна і результатів теоретичних досліджень [19, 20] були визначені три фактори: частота обертання диска $n - X_1$; подача зерна $Q - X_2$; зазор між дисками $h - X_3$. В якості критерію оптимізації визначена питома енергія подрібнення (E , Вт·год./кг) і маса продукту залишком на ситі $\emptyset 2,5$ мм (M , г).

Для визначення значення і інтервалу фактора n проводили однофакторний експеримент. Встановлювали на нульовому рівні два фактора – пропускну здатність $Q=30$ кг/год. і зазор між дисками $h=0,3$ мм.

За допомогою частотного перетворювача 8 встановлювали частоту обертання на валу двигуна здрібнювача в діапазоні від 140 хв⁻¹ до 1600 хв⁻¹. Потужність двигуна визначали за допомогою електронного трифазного

вимірювача потужності мережі N14 з похибкою вимірювання: $\pm 0,1\%$.

Частоту обертання вала двигуна $n_{\text{дв.}}$ заміряли тахометром Venetech GM8905 з похибкою вимірювання: $\pm 1\%$. Частоту обертання диска n визначали з урахуванням передавального відношення клинопасової передачі за формулою:

$$n = i \cdot n_{\text{дв.}}, \quad (4.3)$$

де i – передавальне відношення передачі, $i = 1,52$;

$n_{\text{дв.}}$ – частота обертання вала двигуна.

Результати обчислень занесені в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Значення частоти обертання диска n від частоти обертання вала двигуна $n_{\text{дв.}}$. (Передавальне відношення $i = 1,52$)

	Частота обертів, мин^{-1}						
$n_{\text{дв.}}$	140	270	540	800	1000	1350	1600
n	92,1	177,6	355,3	526,3	657,9	888,2	1052,6

Результати експериментів по визначенню потужності N і маси продукту $m_{(\varnothing 2,5)}$ (залишок на ситі $\varnothing 2,5$), в залежності від частоти обертання диска n , занесені відповідно в таблиці 4.5 і 4.6.

Таблиця 4.5 – Залежність потужності Y_{ui} (N) від частоти обертання диска X_u (n)

u	X_u	Y_{ui}			$\sum_{i=1}^m Y_{ui}$	\bar{Y}_i	S_u^2
		$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$			
1	92,1	11,12	11,31	11,05	33,48	1	92,1
2	177,6	22,22	22,08	22,5	66,8	2	177,6
3	355,3	40,7	40,54	40,23	121,47	3	355,3
4	526,3	59,23	58,96	59,27	177,46	4	526,3
5	657,9	62,1	62,07	62,32	186,49	5	657,9
6	888,2	74,3	73,98	74,45	222,73	6	888,2
7	1052,6	99,9	99,05	99,56	298,51	7	1052,6

Таблиця 4.6 – Залежність сходу продукту Y_{ui} ($m_{(0.2.5)}$) від частоти обертання диска X_u (n)

u	X_u	Y_{ui}			$\sum_{i=1}^m Y_{ui}$	\bar{Y}_i	S_u^2
		$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$			
1	92,1	9,4	9,22	9,41	28,03	1	92,1
2	177,6	13,41	13,65	13,02	40,08	2	177,6
3	355,3	20,85	21,05	19,98	61,88	3	355,3
4	526,3	15,09	15,96	14,95	46,0	4	526,3
5	657,9	15,16	14,85	15,25	45,26	5	657,9
6	888,2	15,92	15,12	16,01	47,05	6	888,2
7	1052,6	16,74	16,25	17,27	50,26	7	1052,6

Для оцінки декількох дисперсій використовуємо критерій Кохрена, за умови наявності однакового числа паралельних дослідів (приймаємо кількість дослідів рівне 3):

$$G_{\text{расч}} = \frac{s_{j \max}^2}{\sum_{j=1}^N s_j^2}, \quad (4.4)$$

де N – кількість дослідів;

s_j^2 – дисперсії в рядках

Табличне значення критерію Кохрена $G_{\text{табл.}}$ визначаємо для відповідного рівня значущості $q=0,05$ числа ступенів свободи $f=N-1=15-1=14$ і числа вимірювань (кількість вибірок) $m=3$.

Результати розрахунків перевірки гіпотези про однорідність дисперсій за критерієм Кохрена представлені в табл. 4.7.

Розрахункові значення $G_{\text{расч}}$ вищі за табличне значення $G_{\text{табл.}}$, отже, можна припустити, що обидві дисперсії однорідні [4].

Використовуємо дані таблиць 4.5, 4.6 та побудуємо залежність потужності N на валу двигуна і маси продукту $m_{(0.2.5)}$ від частоти обертання диска n .

Таблиця 4.7 – Результати розрахунків перевірки гіпотези про однорідність дисперсій за критерієм Кохрена

Значення дисперсного аналізу	Y_{ui} (E)	Y_{ui} ($m_{(\phi 2,5)}$)
Найбільша з дисперсій в рядках плану $S_{j \max}^2$	0,1830	0,3236
Сума дисперсій $\sum_{j=1}^N S_j^2$	0,4087	1,2799
Розрахункове значення критерію Кохрена $G_{расч}$	0,4479	0,2529
Табличне значення критерію Кохрена $G_{табл.}$	0,5612	

Як видно з графіка представленого на рис. 4.3 максимальний вихід продукту відповідає $n=355,3$ об/хв. на валу двигуна. При подальшому зростанні числа обертів йде падіння виходу продукту з одночасним зростанням потужності. Приймаємо значення рівня рівне 350 об/хв., а інтервал фактора в діапазоні від 200 до 500 об/хв.

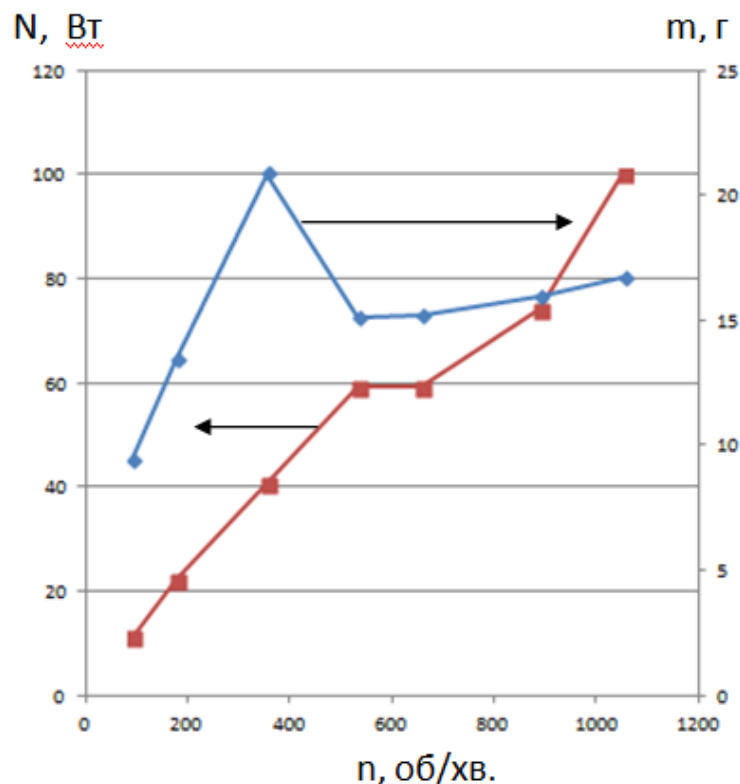


Рисунок 4.3 – Залежність потужності N і маси m (сход продукту з сита $\phi 2,5$) від частоти обертання диска n

Після того як визначені значення рівнів і інтервалів трьох факторів і функція оптимізації можна приступити до факторному аналізу.

4.3. Результати проведення повного факторного експерименту на дисковому здрібнювачі

Для проведення експериментів був обраний трирівневий некомпозіційний план Боксу-Бенкіна 2-го порядку. Для реалізації плану була розроблена програма в Microsoft Excel, рис. А.1 додатків, алгоритм якої відповідав методикам обробки експериментальних даних [3, 62, 63, 64, 100, 102].

Параметрами оптимізації обрані: 1 – питомі енерговитрати, E , кВт·год./кг; 2 – пропускна здатність, P , кг/год.; 3 – відсоток маси залишку на ситі $\varnothing 2,5$, M , %.

Для визначення факторів, які найбільше впливають на критерій оптимізації, застосований метод апіорного ранжирування [62, 100]. В результаті виділено три основні фактори що варіюють: X_1 – частота обертання диска, n , об/хв; x_2 – подача зерна Q , кг/год.; x_3 – зазор між дисками, h , мм. Верхній та нижній рівні факторів були призначені з конструктивних міркувань і за результатами теоретичних досліджень (табл. 4.8).

У таблиці 4.8 наведені значення факторів і інтервали варіювання факторів.

Таблиця 4.8 – Значення факторів і інтервали варіювання факторів

Фактор		Рівні варіювання фактора			Інтервал варіювання	
Найменування	Позначення		+1	0		-1
	натуральне	кодове				
Частота обертання диска n , об/хв.	X_1	x_1	500	350	200	150
Подача зерна, Q , г/хв.	X_2	x_2	30	45	60	15
Зазор між дисками, h , мм	X_3	x_3	0,5	0,3	0,1	0,2

В ході планування експериментальних досліджень задаємося нижченаведеними параметрами: надійність результатів досліду – 0,95; допустима похибка – $\varepsilon = \pm \sigma$; число повторності дослідів – 3. Для усунення помилок використовували критерій Стьюдента.

Перед початком дослідів встановлювали значення факторів згідно матриці планування експерименту для кожного параметра оптимізації (табл. В.1 додатків). При сталому режимі роботи здрібнювача здійснювали збір продуктів подрібнення в перебігу 10 секунд. Потужність визначали за допомогою ватметра, включеного в питому мережу лабораторної установки. Після закінчення досліду продукти подрібнення просіювали на лабораторному просіювачі.

Пропускна здатність здрібнювача P (кг/год.) визначали за формулою:

$$P = \frac{0,36 \cdot M}{t}; \quad (4.5)$$

де M – маса наважки, гр.;

t – тривалість збору наважки, 10 с.

Енергоємність процесу подрібнення E (кВт·год./кг) визначили за формулою:

$$E = \frac{N}{P}; \quad (4.6)$$

де N – потужність електродвигуна при робочому навантаженні, кВт;

P – пропускна здатність, кг/год.

Після проведення експерименту відповідно до матриці планування (табл. В.1 додатків) проведена статистична обробка отриманих результатів. Дисперсію дослідів S_y^2 і відтворюваність дослідів G визначали за формулами відповідно 3.12 і 3.14. Результати обчислень S_y^2 і G для кожної функції оптимізації занесені співвідносно в табл. В3-В6 додатків.

Коефіцієнти регресії визначили за формулами 3.16 – 3.19 результати обчислень наведені в табл. В.7 додатків. Значення констант в формулах для обчислення коефіцієнтів регресії і дисперсій наведені в табл. В.8 додатків.

Після підстановки коефіцієнтів регресії з табл. Б.7 додатків в рівняння 3.20 для кожної функції оптимізації отримаємо наступні рівняння:

$$y_E = 0,92 + 0,08x_1 - 0,08x_2 + 0,04x_3 + 0,6x_1x_2 + 0,4x_1x_3 - 0,08x_2x_3 + 0,8x_1^2 + 0,7x_2^2 + 0,4x_3^2; \quad (4.7)$$

$$y_P = 27,8 + 0,4x_1 + 0,69x_2 + 0,2x_3 + 1,49x_1x_2 + 2,52x_1x_3 + 5,3x_2x_3 - 5,3x_1^2 - 3,4x_2^2 - 1,4x_3^2; \quad (4.8)$$

$$y_M = 67,8 - 0,07x_1 - 0,47x_2 - 0,6x_3 + 1,26x_1x_2 - 2,2x_1x_3 + 0,7x_2x_3 - 2,6x_1^2 - 1,6x_2^2 - 2x_3^2 \quad (4.9)$$

Порівнюючи отримане значення, ts_{b_i} з коефіцієнтами рівняння регресії, представленими в табл. В.7 додатків, отримали наступні рівняння регресій:

$$y_E = 0,92 + 0,08x_1 - 0,08x_2 + 0,04x_3 + 0,6x_1x_2 + 0,4x_1x_3 - 0,08x_2x_3 + 0,8x_1^2 + 0,7x_2^2 + 0,4x_3^2; \quad (4.10)$$

$$y_P = 27,8 + 0,69x_2 + 1,49x_1x_2 + 2,52x_1x_3 + 5,3x_2x_3 - 5,3x_1^2 - 3,4x_2^2 - 1,4x_3^2; \quad (4.11)$$

$$y_M = 67,8 + 1,26x_1x_2 - 2,2x_1x_3 + 0,7x_2x_3 - 2,6x_1^2 - 1,6x_2^2 - 2x_3^2 \quad (4.12)$$

Перевірку адекватності рівнянь проводили шляхом порівняння дисперсії адекватності з дисперсією параметра оптимізації за критерієм Фішера. В результаті отриманих розрахунків $F_{\text{табл.}} > F_{\text{расч.}}$. Отже рівняння (4.10 – 4.12) адекватні (табл. В.6 додатків).

Для визначення значень факторів, що забезпечують мінімальну енергоємність y_G і максимальну пропуску здатність y_P при максимальному виході повноцінного продукту y_M , складені системи диференціальних рівнянь і проведено їх канонічне перетворення [9]. Результати канонічних

перетворень рівнянь регресій для двовимірних перетинів представлені в табл. В.11 додатків.

Використовуючи дані розрахунку з табл. В.11 додатків побудували двовимірні перерізи поверхонь відгуку: E – енергоємності; P – пропускної здатності; M – процентного виходу продукту залишком на ситі $\Phi 2,5$ мм. Для побудови графіків використовували програми MathCad v14 і Компас 3D V15 [9]. Графіки представлені на рис. 4.4, 4.5, 4.6.

На рис. 4.4 показано максимальне значення пропускної здатності при $x_1=0$ $P=27,75$ кг/год. ($Q=45,62$ кг/год., $h=0,27$ мм) і максимальний процентний вихід повноцінного продукту $M=68,1$ % ($Q=45,0$ кг/год., $h=0,2$ мм) відповідають значенням питомої енергоємності $E=0,94$ кВт·год./кг ($Q=43,4$ кг/год., $h=0,19$ мм).

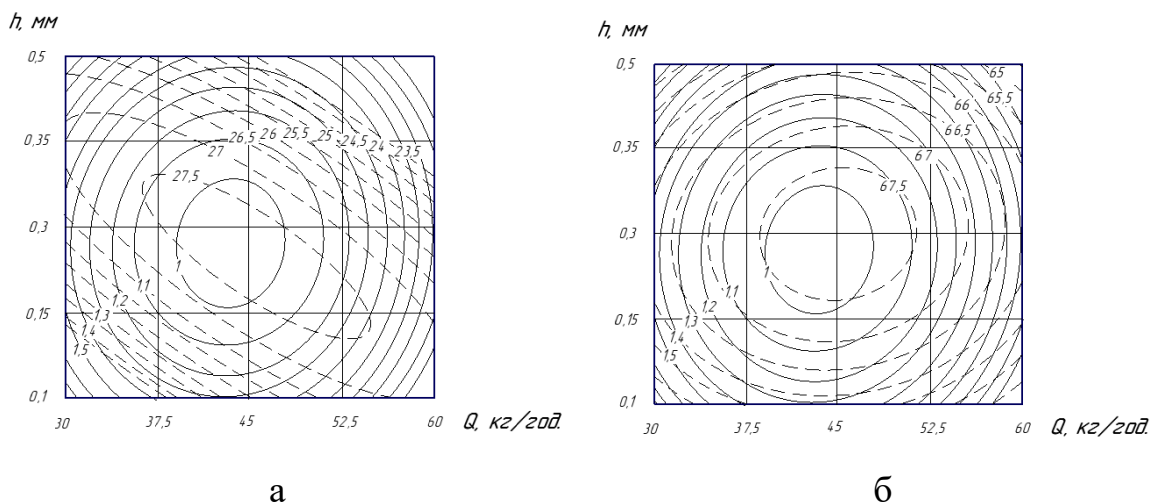
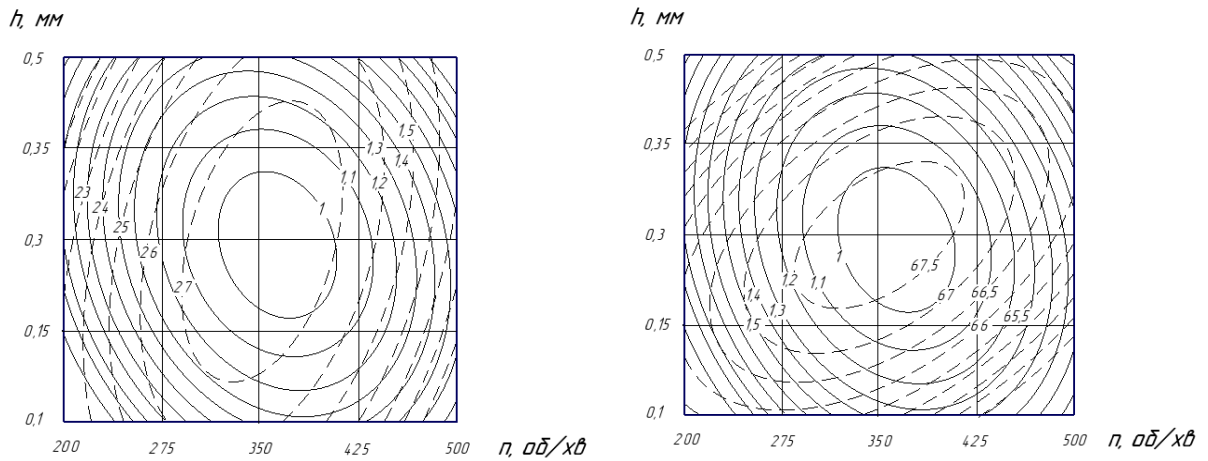


Рисунок 4.4 – Двовимірні перерізи поверхонь відгуку, що характеризують вплив подачі зерна Q (фактор x_2) і зазору між дисками h (фактор x_3) на:

а – питому енергоємність E і пропускну здатність P ; б – питому енергоємність E і відсоток маси залишку на ситі $\Phi 2,5$ M

На рис. 4.5 показано максимальне значення пропускної здатності при $x_2=0$ $P=27,75$ кг/год. ($n=350$ об/хв., $H=0,3$ мм) і максимальний відсоток виходу повноцінного продукту $M=68,1$ ($n=350$ об/хв., $H=0,3$ мм) відповідають значенням питомої енергоємності $E=0,93$ кВт·год./кг ($n=363$ об/хв., $h=0,2$ мм).

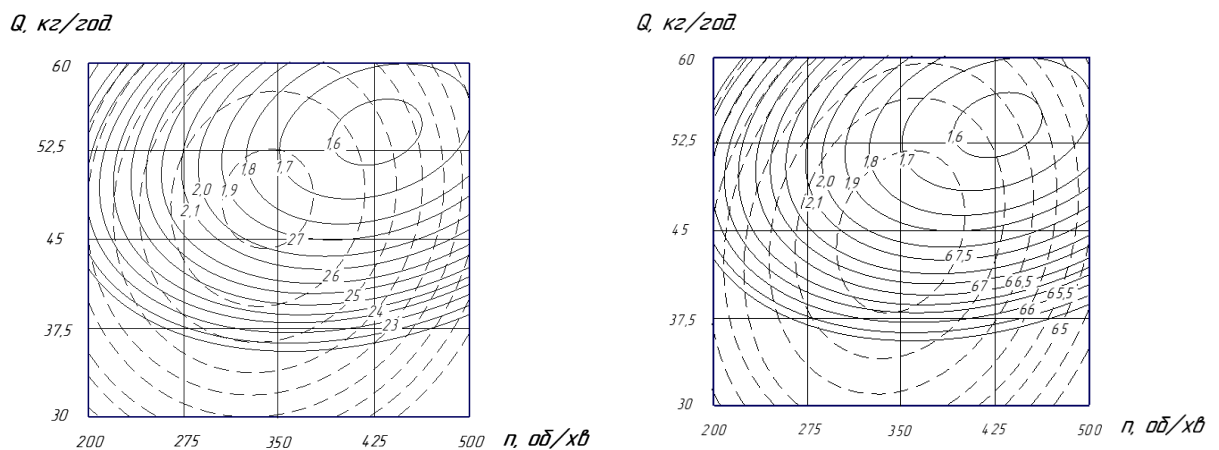


а

б

Рисунок 4.5 – Двовимірні перерізи поверхонь відгуку, що характеризують вплив частоти обертання ротора n (фактор x_1) і зазору між дисками h (фактор x_3) на: а – питому енергоємність E і пропускну здатність P ; б – питому енергоємність E і відсоток маси залишку на ситі $\Phi 2,5 M$

На рис. 4.6 показано максимальне значення пропускну здатності при $x_3=0$ $P=27,75$ кг/год. ($n=317,63$ об/хв., $Q=58,75$ кг/год.) і максимальний відсоток виходу повноцінного продукту $M=68,1\%$ ($n=317$ об/хв., $Q=58,75$ кг/год.) відповідають значенням питомої енергоємності $E=1,57$ кВт·год./кг ($n=430,48$ об/хв., $Q=53,82$ кг/год.



а

б

Рисунок 4.6 – Двовимірні перерізи поверхонь відгуку, що характеризують вплив частоти обертання ротора n (фактор x_1) і подачі зерна Q (фактор x_2) на: а – питому енергоємність E і пропускну здатність P ; б – питому енергоємність E і відсоток маси залишку на ситі $\Phi 2,5 M$

Зі збільшенням подачі зерна спостерігається зменшення пропускної здатності і збільшення питомої енергоємності E кВт·год./кг. Це можна пояснити тим, що збільшення маси зерна в живильній горловині машини збільшує тиск зернової маси зерна на крайній ряд зерна в поясі що подає, порушуючи їх орієнтування, а значить і зростання питомої енергоємності з одночасним зменшенням процентного виходу повноцінного продукту.

Підтвердження цього припущення можна бачити на рис. 4.7. Знімок зроблений після зупинки ротора зі знятою верхньою кришкою здрібнювача на поверхні нижнього диска 1. Крайній ряд містить зерна 2 частково подрібнені але не розколоті по борозенці, що підтверджує додаткові витрати на подрібнення.



1 – поверхня нижнього диска; 2 – зерна частково подрібнені

Рис. 4.7 – Поверхня нижнього диска при знятій верхній кришці

При збільшенні зазору між дисками питома енергоємність зростає. Це пов'язано з тим що частинки подрібненого зерна потрапляють на плоскі поверхні дисків (поверхню між сусідніми рифлями) тим самим викликаючи додаткове збільшення енергії на їх подрібнення (до процесу сколювання додається процес стирання).

За результатами аналізу рівнянь (4.10), (4.11) і (4.12) методом

накладання двовимірних перерізів поверхонь відгуку (рис. 4.4, 4.5, 4.6) прийнято компромісне рішення і визначені раціональні значення досліджуваних факторів за умови досягнення максимального відсотка виходу повноцінного продукту і мінімальної питомої енергоємності. Частота обертання ротора $n=336,5$ об/хв.; подача зерна $Q=46,5$ кг/год.; зазор між дисками $h=0,3$ мм.

Висновки за розділом 4

1. Середні значення руйнівних навантажень в залежності від площі поперечного перерізу змінюються істотно і для зернівки з більшою площею відколу необхідні більш високі зусилля.

2. Середні значення напруг для зерна пшениці складають $7,4$ Н/мм², а середні значення напруг для зерна пшениці розколотої поперек осі зернівки складають $10,0$ Н/мм², тобто скол зерна уздовж борозенці є менш енергоємним.

3. Для визначення значення і інтервалу фактора n проведено однофакторний експеримент. Встановлено, що максимальний вихід продукту відповідає $n=355,3$ об/хв. на валу двигуна. При подальшому зростанні числа обертів йде падіння виходу продукту з одночасним зростанням потужності.

4. Установлені інтервали факторів: частота обертання диска $n=200\dots500$ об/хв., подача зерна, $Q=30\dots60$ г/хв., зазор між дисками, $h=0,1\dots0,5$ мм.

5. Визначені значення факторів, що забезпечують мінімальну енергоємність Y_G і максимальну пропускну здатність Y_P при максимальному виході повноцінного продукту Y_M . Частота обертання ротора $n=336,5$ об/хв.; подача зерна $Q=46,5$ кг/год.; зазор між дисками $h=0,3$ мм.

РОЗДІЛ 5

ВИПРОБУВАННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСКОВОГО ЗДРІБНЮВАЧА ЗЕРНА
ПШЕНИЦІ

5.1. Новий напрямок в технології переробки зерна пшениці

Суть нового напрямку в технології переробки зерна пшениці полягає в формуванні на певному етапі переробки зерна пшениці нового зернового продукту – половинок зерна пшениці розколотих уздовж борозенки. Цей продукт є напівфабрикатом з якого можна отримати крупу нового виду або борошно обойне з низьким вмістом зольності. Схема запропонованого інноваційного спрямування в технології переробки зерна пшениці представлена на рис. 5.1. Суть нового напрямку полягає в формуванні на певному етапі переробки зерна пшениці нового зернового продукту – частинок (часточки) зерна отриманих після розколювання зернівки по борозенці. Визначимо цей продукт, як зерновий напівфабрикат, з якого можна отримати крупу нового виду або борошно обойне з низьким показником зольності.

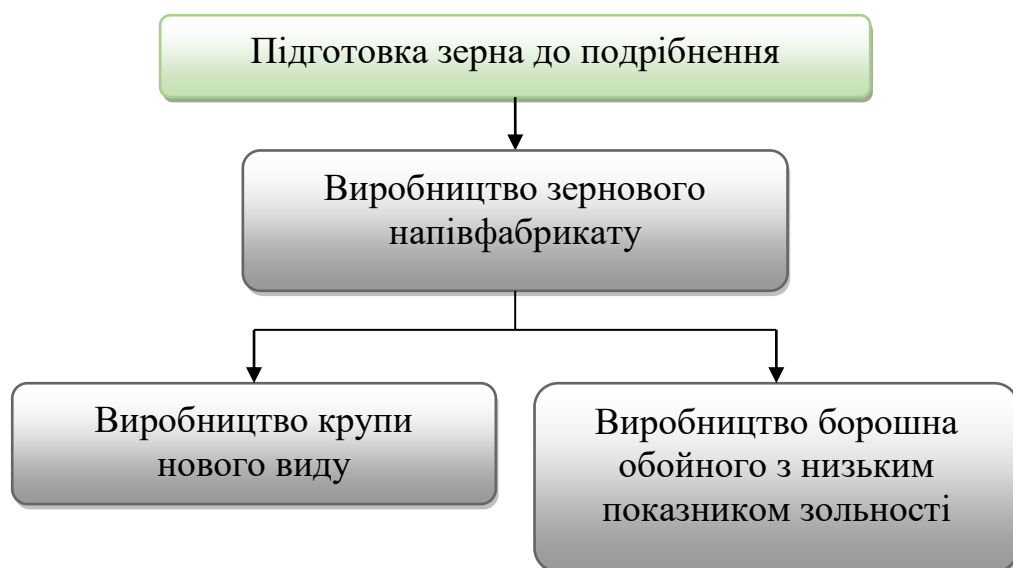


Рисунок 5.1 – Схема інноваційного спрямування в технології переробки зерна пшениці

Підготовка зерна до подрібнення здійснювалася наступним чином. Спочатку зерно, що пройшло попереднє очищення направляється в лабораторний циліндричний просіювач, на якому відділяється некондиційне зерно проходом через сито 2,2x20 і формуються два потоки зерна (таблиця 5.1). Перший потік сход з сита 2,8x20, другий потік сход з сита 2,2x20.

Таблиця 5.1 – Фракції зерна після просіювання

	Сх. 2,8x20	Сх. 2,2x20	Дно 2,2x20
m, г	4110	2861	95
%	58,17	40,49	1,34

Луцнення кожного потоку зерна проводили на лабораторній вертикально-роторній шелушильній машині. Ступінь луцнення зерна встановлювали в межах 5...6 %. На рис.5.2 показана пшениця після обробки поверхні цілого зерна пшениці.



Рисунок 5.2 – Оброблена поверхня пшениці в шелушильній машині (ступінь луцнення 5 %)

Формування нового зернового продукту здійснюється за схемою, представленою на рис. 5.3. За цією схемою луцнене зерно кожного потоку подають в здрібнювач, де відбувається його розколювання на дві половини по борозенці.

Потім подрібнене зерно надходить в циліндричний просіювач, де розділяється на фракції: фракція №1 сход з сита $\varnothing 2,5$ – зерно розколоте по борозенці на дві половини (рис. 4.10); фракція №2 сход з сита $\varnothing 1,5$ і фракція №3 сход з сита 063.

Далі здійснюється луцнення фракції №1 в шелушильній машині з гладким циліндром, з відбором мучки в лабораторному повітряному сепараторі за схемою показаною на рис. 5.3. Обробка поверхні зерна

лущенням проводилася з метою видалення новостворених оболонок і контамінантів з поверхні борозенки.

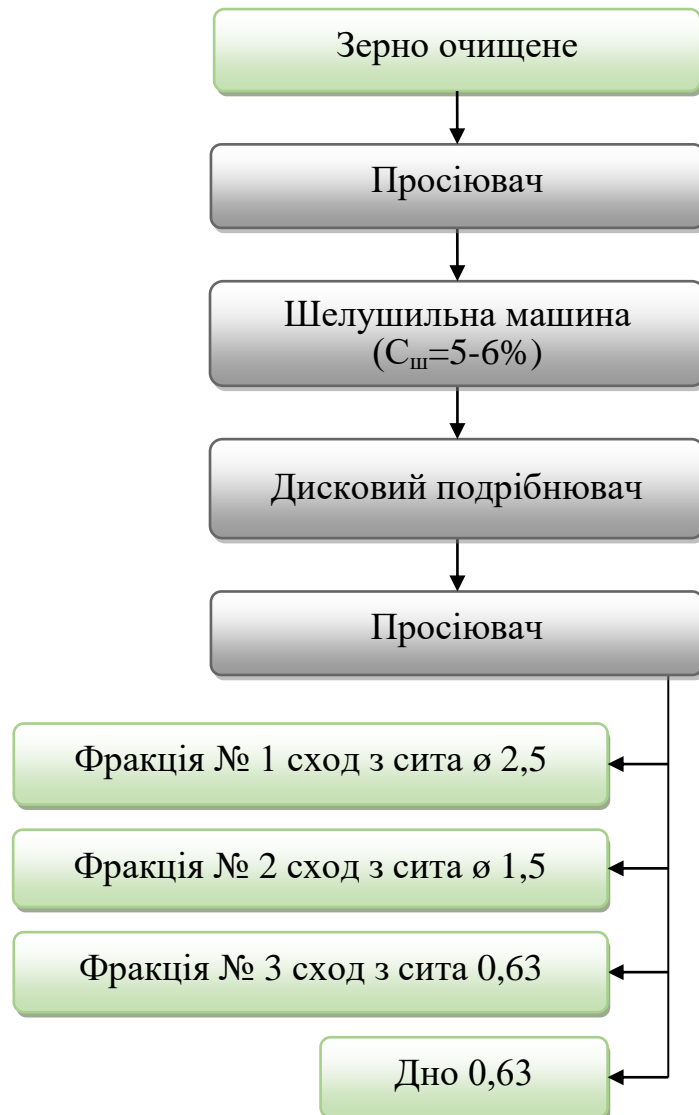


Рисунок 5.3 – Технологічна схема формування нового зернового продукту

На рис. 5.4 представлені частинки лущеного зерна після його розколювання.



Рисунок 5.4 – Частинки лущеного зерна після його розколювання по борозенці (фракція №1)

В результаті отримали нову крупу відповідну Полтавської №2, але з подовженою формою. Аналогічно переробляли фракції №2 і №3. В результаті отримали крупи відповідно Полтавська №4 і Артек [40, 41, 27]. На рис. 5.5 представлений зовнішній вигляд нової крупи відповідній Полтавської №2.



Рисунок 5.5 – Крупа відповідна Полтавської №2 після луцення фракції №1 в шелушильній машині з гладким циліндром

Для розширення асортименту випуску зернових продуктів отриману крупу, яка відповідає Полтавської №2 можна переробити в обойне борошно з низьким показником зольності [174,186].

Схема переробки Полтавської крупи №2 в обойне борошно показана на рис. 5.6. Крупа проходить додаткове луцення, відбір мучки і подрібнюється в лабораторному вертикально-ротаторному молотковому млині.

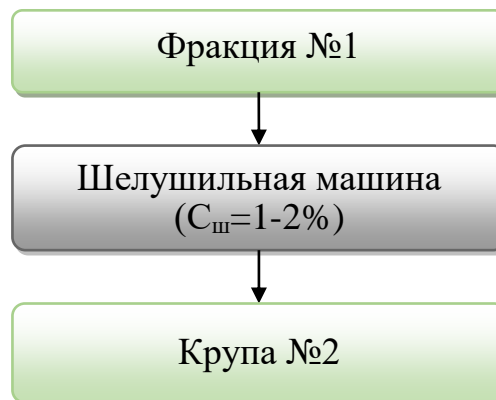


Рисунок 5.6 – Технологічна схема переробки фракції №1 в крупу Полтавську №2

У таблиці 5.2 представлені виходи крупи Полтавської за відомою технологією, крупи нової та борошна обойного отримані за новою технологією переробки зерна пшениці.

Таблиця 5.2 – Асортимент продукції

	№1 сх. ø3,0	№2 сх. ø2,5	№3 сх. ø2,0	№4 сх. ø1,5	Артек сх. ø0,63	Мучка	Кормові відходи	Не кормові відходи
Крупа Полтавська	8%		43%		12%	30%	5,3%	1,7%
Крупа нова	-	53%	-	28%	3,2%	9%	5%	1,8%
Борошно	-	48%	-	28%	3,2%	14%	5%	1,8%

Як видно з таблиці 5.2 вихід крупи нової з подовженою формою становить 53 %. При її переробці в обойне борошно можна отримати 48 % обойного борошна підвищеної біологічної цінності, практично без контамінантів, які містяться в борозенці пшениці і при класичній, її переробці потрапляють в усі види борошна.

Якщо також подрібнити крупи Полтавська №4 і Артек, то вихід борошна обойного підвищується до 79,2 %.

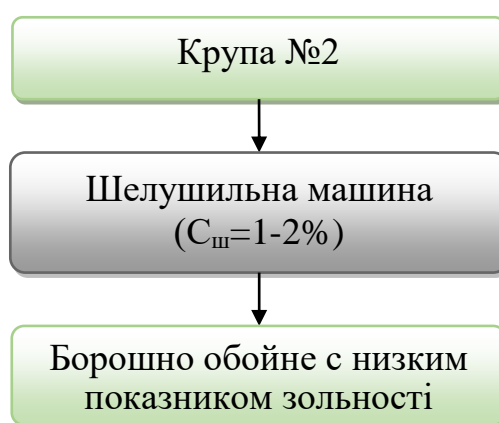


Рисунок 5.7 – Схема переробки крупи №2 в обойне борошно

У табл. 5.3 представлені результати визначення зольності отриманих при дослідженні продуктів. Як видно з таблиці 5.3 показник зольності

борошна з крупи №2 становить 0,72, тобто по зольності це обойне борошно відповідає борошну 1-го сорту [76, 77].

Таблиця 5.3 – Результати визначення зольності отриманих продуктів

№ зразка	Продукт	Зольність, %
1	Зерно лущене	1,36
3	Мучка (дно $\varnothing 0,63$)	2,23
4	Фракція №3 (сход $\varnothing 0,63$)	1,86
5	Фракція №2 (сход $\varnothing 1,5$)	1,32
6	Фракція №1 (сход $\varnothing 2,5$)	1,11
7	Крупа №2	0,96
8	Борошно з крупи №2 після повторного лущення	0,72
9	Мучка	2,39

Результати досліджень впроваджені у виробництво в СФГ "Калина" Вовчанського району, ПП "Агротехремонт" Богодухівського району Харківської області та навчальний процес ХНТУСГ ім. П. Василенка.



Рисунок 5.8 – Технологічна лінія виробництва борошна та круп в СФГ "Калина"



Рисунок 5.9 – Технологічна лінія виробництва борошна та круп в ПП "Агротехремонт"



Рисунок 5.10 – Науково – практична навчальна лабораторія кафедри "Обладнання та інжиніринг переробних і харчових виробництв"

5.2. Розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження дискового здрібнювача зерна пшениці

В якості базового обладнання по переробці зерна пшениці в крупу взяли обладнання круп'яне універсальне "Фермер".

Характеристика обладнання:

- споживана потужність, кВт 5,6
- кількість обслуговуючого персоналу, чол. 1
- продуктивність по пшеничній крупі, кг/год. 400

Як проектне обладнання вибираємо обладнання з двома системами розколу із загальною продуктивністю 250 кг/год. кожна.

5.2.1. Вихідні данні

Найменування показників	Значення		Одиниці виміру
	Базовий	Проектний	
C_E – тариф на електроенергію	2,75	2,75	грн./кВт
C_B – тариф на воду	10,24	10,24	грн./м ³
T_O – тариф на газ	8,5	8,5	грн./м ³
W_I – кількість спожитої електроенергії за годину	2,3	0,94	кВт/год.
V_{VI} – витрати води за годину	0	0	м ³ /год
G_C – середньорічне споживання газу	0	0	м ³
B_V – вартість 1-ї упаковки	0	0	грн.
B_{TKM} – вартість 1 -го тонно-кілометра	27	27	грн.
C_P – реалізаційна ціна продукту			грн./кг
v – норма відрахувань на ремонт обладнання	12,5	12,5	%
a – норма відрахувань на амортизацію обладнання	15	15	%
Прибуток платників податку	21	21	%
$K_{ЗМ}$ – кількість змін на день;	3	3	змін
D_I – кількість днів роботи	20	20	діб
T_I – тривалість роботи за добу	3	3	год
$T_{ЗМ}$ – тривалість зміни	8	8	годин
$A_{ВП}$ – вантажопідйомність автомобіля	5	5	т
$B_{ПЕР}$ – середня відстань перевезень	10	10	км
$ПДВ_C$ – податок на додану вартість	20		%

Витрати на сировину, B_C , тис.грн.

Показник	Базовий	Проектний
Кількість сировини на годину, т	0,4	0,5
Кількість сировини на зміну, т	3,2	4,00
Кількість змін за рік, змін	60	60
Річний обсяг сировини, т	192	240
Вартість сировини, тис.грн/т	9,1	9,1
Витрати на сировину, тис.грн.	1747,2	2184

Розрахунок обсягу виробництва продукції, *A*, т

<i>Показник</i>	<i>Базовий</i>	<i>Проектний</i>
Продуктивність виробництва, т/годину	0,4	0,5
Обсяг виробництва за зміну, т	3,2	4
Кількість змін за рік, змін	60	60
Річний обсяг виробництва продукції, т	192	240

Розрахунок суми абсолютних капітальних вкладень, *K*, тис.грн.

<i>Показники</i>	<i>Базовий</i>	<i>Проектний</i>
Вартість обладнання, тис.грн.	60	52
Вартість монтажних, пусконаладжувальних робіт та гарантійного обслуговування, тис.грн.	30	26
Вартість будівель та споруд, тис.грн.	60	52
Сума капіталовкладень, тис.грн.	150	130

Розрахунок витрат на оплату праці персоналу, *Z_B*, грн.

<i>Категорія працівників</i>	<i>Чисельність працівників, осіб</i>	<i>Відпрацьовано за місяць, люд.-днів</i>	<i>Тарифний розряд по оплаті праці</i>	<i>Щомісячна тарифна ставка, грн.</i>	<i>Фонд оплати праці, грн.</i>
Виробничий персонал					
Апаратчик	2			3723	3723
Начальник зміни	0			0	0
Механік	0			0	0
Енергетик	0			0	0
Начальник ПТЛ	0			0	0
Допоміжний персонал					
Вантажник	1			1415	1415
Прибиральниця	1			1415	1415
Адміністративно-управлінський персонал					
Директор	1			5094	5094
Головний інженер	1			3538	3538
Головний бухгалтер	0			0	0
Начальник відділу кадрів	0			0	0
Інженер по ТБ	0			0	0
Разом:	6		X	X	3723
Нарахування до єдиного соціального внеску, 37,18 %, грн.					6050,7
Разом за рік з нарахуваннями, тис.грн.					267,9

5.2.2. Розрахунок обсягів виробництва продукції та визначення суми абсолютних і відносних капітальних вкладень

Розмір відносних капіталовкладень здійснюється за формулою:

$$K_B = \frac{K}{A}, \quad (5.1)$$

де K_{B1} , K_{B2} – відносний розмір капітальних вкладень, тис.грн./т;

K – сумарні капітальні вкладення, тис.грн.;

A – річний обсяг виробництва продукції, т.

Базовий $K_{B1}=0,7813$ тис.грн./т;

Проект $K_{B2}=0,5417$ тис.грн./т;

5.2.3. Розрахунок собівартості реалізації продукції

Формула розрахунку собівартості реалізації продукції (C , тис.грн.) має наступний вигляд:

$$C = B_C + Z_B + A_M + B_P + B_E + B_B + B_O + B_{II} + B_T + B_I + B_3, \quad (5.2)$$

Базовий $C_1 = 2139,3$ тис.грн.

Проектний $C_2 = 2574,5$ тис.грн.

де B_C – витрати на сировину, тис.грн.;

Z_B – витрати на оплату праці персоналу з нарахуваннями, тис.грн.;

A_M – витрати на амортизацію, тис.грн.;

B_P – витрати на ремонт, тис.грн.;

B_E – витрати на електроенергію, тис.грн.;

B_B – витрати на воду, тис.грн.;

B_O – витрати на газ, тис.грн.;

B_{II} – витрати на пакування продукції, тис.грн.;

B_T – витрати на транспортування, тис.грн.;

B_I – інші прямі витрати, тис.грн.;

B_3 – загально-виробничі витрати, тис.грн.

Амортизаційні відрахування (A_M , грн.) визначаються у відповідності з державними нормами у відсотках від балансової вартості основних фондів, споруд і технічних засобів. Аналогічно обчислюються відрахування на ремонт (B_P , грн.). Так, для розрахунку застосовують наступні формули (5.3) та (5.4):

$$A_M = \frac{B \cdot a}{100} \text{ тис. грн.}, \quad (5.3)$$

де A_{M1} , A_{M2} – відрахування на амортизацію, тис.грн.;

B – балансова вартість основних засобів, тис.грн.;

a – норма амортизаційних відрахувань, %.

Базовий $A_{M1} = 18,75$ тис.грн.

Проектний $A_{M2} = 16,25$ тис.грн.

$$B_P = \frac{B \cdot \epsilon}{100}, \quad (5.4)$$

де B_{P1} , B_{P2} – відрахування на ремонт, тис.грн.;

B – балансова вартість основних засобів, тис.грн.;

ϵ – норма відрахувань на ремонт, %.

Базовий $B_{P1} = 0,3795$ тис.грн.

Проектний $B_{P2} = 0,1551$ тис.грн.

Витрати на електроенергію (B_E , грн.), визначаються за формулою:

$$B_E = W_I \cdot D_I \cdot T_I \cdot C_E, \quad (5.5)$$

де B_{E1} , B_{E2} – витрати на технологічну електроенергію, тис.грн.;

W_I – кількість спожитої електроенергії за годину, кВт/год.;

D_I – кількість днів роботи;

T_I – тривалість роботи за добу, год.;

C_E – тариф на електроенергію, грн. /кВт.

Базовий $B_{E1} = 0,3795$ тис.грн.

Проектний $B_{E2} = 0,1551$ тис.грн.

Витрати на воду для технологічних потреб (B_B , грн.), визначаються за формулою:

$$B_B = V_{BI} \cdot D_I \cdot T_I \cdot C_B, \quad (5.6)$$

де B_{B1} , B_{B2} – витрати на воду для технологічних цілей, тис.грн.;

V_{BI} – витрати води за годину, м³/год.;

D_I – кількість днів роботи;

T_I – тривалість роботи за день, год.;

C_B – тариф на воду, грн. /м³.

Базовий $B_{B1} = 0$ тис.грн.

Проектний $B_{B2} = 0$ тис.грн.

Витрати на споживання газу (B_O , грн.) обчислюються за формулою:

$$B_O = G_C \cdot T_O, \quad (5.7)$$

де B_{O1} , B_{O2} – витрати на споживання газу, тис.грн.;

G_C – середньорічне споживання газу, м³;

T_O – тариф на газ, грн./м³.

Базовий $B_{O1} = 0$ тис.грн.

Проектний $B_{O2} = 0$ тис.грн.

Витрати на транспортування (B_T , грн.), розраховуються за формулою:

$$B_T = \frac{A}{A_{ВП}} \cdot B_{ПЕР} \cdot B_{ТКМ}, \quad (5.8)$$

де B_{T1} , B_{T2} – витрати на транспортування, тис.грн.;

A – річний обсяг виробництва продукції, т;

$A_{ВП}$ – вантажопідйомність автомобіля, т;

$B_{ПЕР}$ – середня відстань перевезень, км;

$B_{ТКМ}$ – вартість 1 -го тонно-кілометра, грн.

Базовий $B_{T1} = 20,736$ тис.грн.

Проектний $B_{T2} = 25,92$ тис.грн.

Величина інших прямих витрат (B_I), приймається на рівні 5 %, а загально-виробничих (накладних) (B_3) – 15 % від суми витрат на оплату праці виробничого персоналу з нарахуваннями, амортизаційних відрахувань і відрахувань на поточний ремонт.

Їх розрахунок матиме наступний вигляд (5.9) та (5.10):

$$B_I = \frac{(B_3 + A_M + B_P) \cdot 5}{100}, \quad (5.9)$$

Базовий $B_{I1} = 15,457$ тис.грн.

Проектний $B_{I2} = 45,547$ тис.грн.

де B_{I1} , B_{I2} – інші прямі витрати, тис.грн.;

B_{31} , B_{32} – загально-виробничі (накладні) витрати, тис.грн.;

B_B – витрати на оплату праці виробничого персоналу з нарахуваннями, грн.;

A_M – амортизаційні відрахування, грн.;

B_P – відрахування на ремонт, грн.

$$B_3 = \frac{(3_B + A_M + B_P) \cdot 15}{100}, \quad (5.10)$$

Базовий $B_{31} = 46,372$ тис.грн.

Проектний $B_{32} = 45,547$ тис.грн.

5.2.4. Фінансово-економічні результати роботи обладнання

Розрахунок валового доходу (виручки) ($ВД$) від реалізації продукції, здійснюється за формулою:

$$ВД = A \cdot Ц_p, \quad (5.11)$$

де $ВД_1, ВД_2$ – валовий дохід (виручка) від реалізації продукції, тис.грн.;

A – обсяг реалізованої продукції, кг;

$Ц_p$ – реалізаційна ціна продукту, грн./кг.

Базовий $ВД_1 = 2304$ тис.грн.

Проектний $ВД_2 = 3840$ тис.грн.

Наступним етапом є визначення чистого доходу (виручки) ($ЧД$) від реалізації продукції за формулою:

$$ЧД = ВД - ПДВ_c, \quad (5.12)$$

Базовий $ЧД_1 = 1843,2$ тис.грн.

Проектний $ЧД_2 = 3072$ тис.грн.

де $ЧД_1, ЧД_2$ – чистий дохід (виручка) від реалізації продукції, тис.грн.;

$ВД$ – валовий дохід (виручка) від реалізації продукції, тис.грн.;

$ПДВ_c$ – податок на додану вартість, що підлягає сплаті до бюджету або відшкодуванню з бюджету, тис.грн.

Прибуток більшості платників податку, включаючи підприємства, засновані на власності окремої фізичної особи, оподатковується за ставкою (з 01.01.2012 по 31.12.2012 включно – 21 %; з 01.01.2013 по 31.12.2013 – 19 %; з 01.01.2014 – 16 %) до бази оподаткування.

Розрахунок суми податку на прибуток (P_{II}) проводиться за формулою:

$$P_{II} = \frac{ВД \cdot 21}{100}, \quad (5.13)$$

Базовий $P_{II1} = 483,84$ тис.грн.

Проектний $P_{II2} = 806,4$ тис.грн.

де P_{II1} , P_{II2} – податок на прибуток, тис.грн.;

$ВД$ – валовий дохід від реалізації продукції, тис.грн.

Чистий прибуток ($ЧП$), визначається за формулою:

$$ЧП = ВД - P_{II}, \quad (5.14)$$

Базовий $ЧП_1 = 1820,2$ тис.грн.

Проектний $ЧП_2 = 3033,6$ тис.грн.

де $ЧП_1$, $ЧП_2$ – чистий прибуток, тис.грн.;

P_{II} – податок на прибуток, тис.грн.;

$ВД$ – валовий дохід від реалізації продукції, тис.грн.

5.2.5. Ефективність використання матеріальних ресурсів

Матеріаломісткість (M_M) показує величину витрат матеріальних ресурсів на виробництво одиниці продукції. Визначається як відношення витрат матеріальних ресурсів у вартісному виразі (MB) до виробленої

продукції у вартісному виразі (P_B) за формулою:

$$M_M = \frac{MB}{P_B}, \quad (5.15)$$

Базовий $M_{M1} = 0,76$.

Проектний $M_{M2} = 0,57$.

де M_{M1} , M_{M2} – матеріаломісткість;

MB – вартість матеріальних витрат, тис.грн.;

P_B – вартість валової продукції, тис.грн.

Матеріаломісткість визначає фактичний обсяг матеріальних витрат в розрахунку на виробництво одиниці продукції. Вона характеризує рівень використання матеріальних ресурсів.

Електромісткість (E_M), характеризує кількість затраченої електроенергії на виробництво 1 кг продукції та визначається за формулою:

$$E_M = \frac{Q_{EE}}{A}, \quad (5.16)$$

Базовий $E_{M1} = 0,0007$ кВт/год/кг.

Проектний $E_{M2} = 0,000077$ кВт/год/кг.

де E_{M1} , E_{M2} – електромісткість, кВт/год/кг;

Q_{EE} – витрати електроенергії на виробничі потреби, кВт/год.;

A – обсяг виробленої продукції, кг.

5.2.6. Ефективність використання праці (трудових ресурсів)

Продуктивність праці (P_{IP}), відображає обсяг виробленої продукції за одиницю часу. Визначається за формулою:

$$P_{PP} = \frac{A}{Ч \cdot Д \cdot K_{3M} \cdot T_{3M}}, \quad (5.17)$$

Базовий $P_{PP1} = 200$ кг/люд.-год.

Проектний $P_{PP2} = 250$ кг/люд.-год.

де P_{PP1} , P_{PP2} – продуктивність праці, кг/люд.-год.;

A – обсяг реалізованої продукції, кг;

$Ч$ – чисельність виробничого персоналу, що працюють в одну зміну, осіб;

$Д$ – кількість днів роботи;

K_{3M} – кількість змін на день;

T_{3M} – тривалість зміни, годин.

Ефективність праці (E_{PP}), відображає обсяг виробленої продукції в грошовому виразі за одиницю часу. Визначається за формулою:

$$E_{PP} = \frac{ЧД}{Ч \cdot Д \cdot K_{3M} \cdot T_{3M}}, \quad (5.18)$$

Базовий $E_{PP1} = 1920$ кг/люд.-год.

Проектний $E_{PP2} = 3200$ кг/люд.-год.

де E_{PP1} , E_{PP2} – продуктивність праці, кг/люд.-год.;

$ЧД$ – чистий дохід від реалізації продукції, грн.;

$Ч$ – чисельність виробничого персоналу, що працюють в одну зміну, осіб;

$Д$ – кількість днів роботи;

K_{3M} – кількість змін на день;

T_{3M} – тривалість зміни, годин.

5.2.7. Ефективність виробничих інвестицій (капітальних вкладень)

Собівартість одиниці продукції (C_o). визначається за формулою:

$$C_o \frac{C}{A}, \quad (5.19)$$

Базовий $C_{o1} = 11,142$ грн./кг.

Проектний $C_{o2} = 10,727$ грн./кг.

де C_{o1} , C_{o2} – собівартість 1 кг продукції, грн./кг;

C – собівартість реалізованої продукції, грн.;

A – обсяг реалізованої продукції, кг.

Термін окупності первинних капітальних вкладень (термін повернення капіталу) (T_{OK}) знаходиться за формулою:

$$T_{OK} = \frac{K}{ЧП} \cdot 12, \quad (5.20)$$

Базовий $T_{OK1} = 3,7$.

Проектний $T_{OK2} = 0,5$.

де T_{OK1} , T_{OK2} – термін окупності первинних капітальних вкладень (термін повернення капіталу), міс.;

K – сумарні капіталовкладення, грн.;

$ЧП$ – чистий прибуток, грн.

Приведені витрати на одиницю продукції ($B_{ПРИВ}$), обчислюються за формулою:

$$B_{ПРИВ} = C_o + E_H \cdot K_B, \quad (5.21)$$

Базовий $B_{ПРИВ1} = 11,259$ грн./кг.

Проектний $B_{ПРИВ2} = 10,808$ грн./кг.

де $B_{ПРИВ1}$, $B_{ПРИВ2}$ – приведені витрати на 1 кг продукції, грн.;

C_o – собівартість 1 кг продукції, грн./кг;

E_H – нормативний коефіцієнт капіталовкладень - (0,15);

K_B – відносний розмір капітальних вкладень, грн./кг.

Річний економічний ефект по приведених витратах ($PE_{ВП}$), знаходиться за формулою:

$$PE_{ВП} = [(C_{O1} + E_H \cdot K_{B1}) - (C_{O2} + E_H \cdot K_{B2})] \cdot A_2, \quad (5.22)$$

$$PE_{ВП} = 108,29 \text{ тис.грн.}$$

де $PE_{ВП}$ – річний економічний ефект по приведених витратах, тис.грн.;

C_{O1} , C_{O2} – собівартість 1 кг продукції, відповідно базовий і проектований варіант, грн./кг;

E_H – нормативний коефіцієнт капіталовкладень – (0,15);

K_{B1} , K_{B2} – відносний розмір капітальних вкладень, відповідно базовий і проектований варіант, грн./кг;

A_2 – обсяг реалізованої продукції (проектований варіант), кг.

5.2.8. Узагальнена ефективність діяльності підприємства

Рентабельність продукції по чистому прибутку ($P_{ЧП}$), характеризує ефективність витрат на її виробництво [203] і збут визначається за формулою:

$$P_{ЧП} = \frac{ЧП}{C} \cdot 100\%, \quad (5.23)$$

Базовий $P_{ЧП1} = 85,082$.

Проектний $P_{ЧП2} = 117,83$.

де $P_{ЧП1}$, $P_{ЧП2}$ – рентабельність продукції по чистому прибутку, %;

$ЧП$ – чистий прибуток підприємства, тис.грн.;

C – собівартість реалізованої продукції, тис.грн.

Рентабельність продажу продукції по чистому прибутку ($PP_{\text{чп}}$), до чистої виручки від реалізації чистого доходу ($ЧД$), визначається за формулою:

$$PP_{\text{чп}} = \frac{ЧП}{ЧД} \cdot 100\% , \quad (5.24)$$

Базовий $PP_{\text{чп1}} = 98,75$.

Проектний $PP_{\text{чп2}} = 98,75$.

де $PP_{\text{чп1}}$, $PP_{\text{чп2}}$ – рентабельність по чистому прибутку, %;

$ЧП$ – чистий прибуток, тис.грн.;

$ЧД$ – чистий дохід (виручка) від реалізації продукції, тис.грн.

5.2.9. Розрахунок та аналіз беззбиткового (критичного) обсягу реалізації продукції

Беззбитковий (критичний) обсяг реалізації продукції – це такий обсяг, який забезпечує покриття всіх витрат за рахунок виручки, тобто прибуток має дорівнювати «0».

Визначення беззбиткового (критичного) обсягу реалізації продукції проводиться на основі графічного способів розрахунків.

Визначення точки беззбитковості графічним способом потребує побудування графіку беззбитковості. На вісі абсцис відображається обсяг виробництва продукції, на вісі ординат – витрати, виручка від реалізації продукції та прибуток. Графік дає можливість визначити обсяг реалізації продукції, що забезпечить покриття валовим доходом сукупних витрат, тобто буде досягнуто беззбитковий обсяг реалізації.

На рис. 5.11 схематично зображено графік «точки беззбитковості».

Обсяг виробництва	0	240	т
Виручка від реалізації	0	3840	тис.грн.
Сукупні витрати	130	2574,5	тис.грн.
Виручка від реалізації, тис. грн.			
Сукупні витрати, тис.грн.			

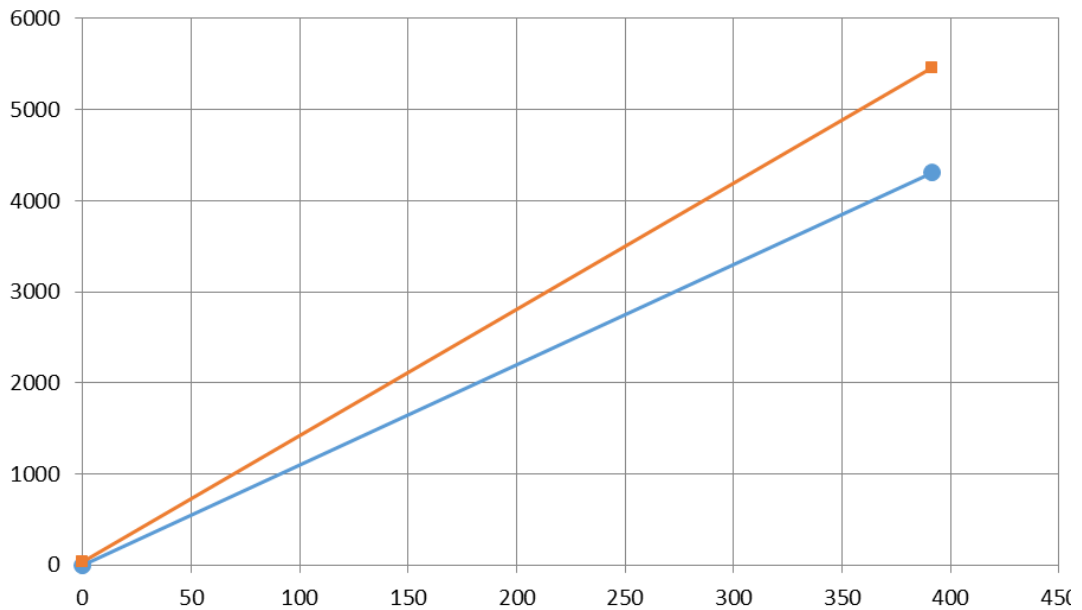


Рисунок 5.11 – Графік «точки беззбитковості»

5.2.10. Техніко-економічні показники виробництва

Показники	Базовий	Проект.	Проект. к базов.
Річний обсяг виробництва продукції, т	192	240	125
Сумарні капіталовкладення, тис.грн.	150	105	70
Собівартість виробництва продукції, тис.грн.	932	1068	114,6
Валовий дохід від реалізації продукції, тис.грн.	2304	3360	145,83
Чистий прибуток, тис.грн.	2189,9	3403,7	145,83
Продуктивність праці, кг/люд.-год.	400	500	125
Собівартість одиниці продукції, грн.	4,86	4,45	91,695
Термін окупності капітальних вкладень, роки	3,7	0,5	-
Річний економічний ефект, тис.грн.	-	109,18	-
Рентабельність виробництва продукції, %	195,2	248,3	-

Висновки за розділом 5

1. Запропоновано інноваційний напрямок в технології переробки зерна пшениці, який за рахунок формування нового зернового продукту дозволяє отримати борошно обойне з низьким показником зольності, а також новий вид крупи подовженої форми, з поверхні якої вилучені контамінанти.

Розроблена технологія виробництва крупи та борошно з склоподібних пшениць має низьку енергоємність з високим відсотком виходу повноцінного продукту. Результати досліджень в проведенні у виробництво в СФГ "Калина" Вовчанського району, ПП "Агротехремонт" Богодухівського району Харківської області та навчальний процес ХНТУСГ ім. П. Василенка.

2. Встановлено, що в умовах господарств застосування дискового здрібнювача дозволяє отримати 65 % повноцінного продукту.

3. Розроблене обладнання дозволяє отримати за один прохід до 53 % екологічно чистої крупи нового виду, до 28 % традиційної крупи Полтавська №4, 3,2 % крупи Артек, в також у разі виробництва борошна до 79,2 % борошна обойного з показником зольності відповідним борошну 1-го сорту.

4. Розрахунковий річний економічний ефект від впровадження дискового здрібнювача становить 109,18 тис. грн. Фактичний економічний ефект від впровадження склав 237 тис. грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота спрямована на вирішення науково-технічної задачі, яка полягає у підвищенні ефективності процесу здрібнення зерна пшениці методом розколу по борозенці на дві частини за допомогою розробленого для цієї мети дискового здрібнювача сколювальної дії.

За результатами виконання дисертації були зроблені наступні висновки:

1. Аналіз морфологічної будови зерна дозволив визначити скол зерна уздовж борозенки найменш енергоємним. Зусилля необхідне для руйнування склоподібного зерна стисненням більше у 3,5 рази, ніж при руйнуванні зерна сколюванням. Зі збільшенням розміру зерна зростає величина руйнівного зусилля.

2. Запропоновано інноваційна технологія переробки зерна пшениці, яка за рахунок формування нового зернового продукту дозволяє отримати новий вид крупи подовженої форми, з поверхні якої вилучені контамінанти, а також борошно обдирне з низьким показником зольності.

Запропонована конструктивно-технологічна схема розколу зернівок уздовж борозенки на дві частини та конструктивна схема здрібнювача сколювальної дії. Обґрунтовано геометричні параметри дискової пари, наведені умови взаємодії зернівки з робочими органами дискового здрібнювача.

3. Отримано регресійні залежності між площею перетину зернівки і зрізуючими напруженнями. Встановлена слабка залежність руйнівного зусилля від площі сколу. Визначено, що навантаження зростає з ростом площі сколу. Середні значення напруг для зерна пшениці розколотої уздовж зернівки по борозенці складають $7,4 \text{ Н/мм}^2$, середні значення напруг для зерна пшениці розколотої поперек осі зернівки складають $10,0 \text{ Н/мм}^2$. Отже скол зерна уздовж по борозенці є менш енергоємним.

4. Запропонована математична модель виборчого здрібнення зерна в

сколювальному каналі дискового здрібнювача, яка дає можливість оптимізувати параметри і режими роботи здрібнювача.

В програми «MathCad» отримано рішення диференціального рівняння у вигляді функції $x = x(t)$. Знайдені, за допомогою цієї функції, кінематичні характеристики показали, що після захвату зернин рифлями швидкість зернин стрімко зростає в результаті чого подрібнення відбувається протягом короткого відрізка часу порядку сотих часток секунди. Встановлено залежності часу t_h перебування зернин в каналі рифлю від радіуса R напрямного поясу, довжини h каналу рифлів, частоти ω обертання диску та коефіцієнта тертя f .

5. Знайдено залежність оптимального розміру діаметра D_p рифлів від величин R, h, ω, f і розміру зернин. Встановлено, що зростання величин R, h, ω, f приводить до збільшення діаметра D_p . Для мілкої і крупної фракцій зерна пшениці визначені оптимальні значення діаметра D_p , які відповідно складають: $D_{\min} = 3,8$ мм, $D_{\max} = 4,4$ мм.

6. Теоретично встановлені закономірності руйнування зернівки під дією силу зрізу, яка становить 3,46 Н, що розбігається з експериментальними дослідженнями в межах 15 %, обчислено розмір випереджаючої тріщини крізь яку сколюється зернівка та споживану потужність здрібнювача, яка знаходиться в межах 43,2...86,4 Вт і цей діапазон в більшості збігається з результатами експериментальних досліджень.

7. Визначено функції оптимізації і фактори, які впливають на роботу здрібнювача – енергоємність процесу; пропускна здатність здрібнювача; маса виходу готового продукту; подача матеріалу; частота обертання ротора та зазор між дисками. За результатами аналізу графіків накладення двовимірних перерізів поверхонь відгуку прийнято компромісне рішення і визначені раціональні значення досліджуваних факторів з умови досягнення максимального відсотка виходу повноцінного продукту і мінімальної питомої енергоємності. Частота обертання ротора $n=336,5$ 1/хв.; подача зерна $Q=46,5$ кг/год.; зазор між дисками $h=0,3$ мм.

8. Розроблене обладнання дозволяє отримати за один прохід до 53 % екологічно чистої крупи нового виду, до 28 % традиційної крупи Полтавська №4, 3,2 % крупи Артек або у разі виробництва борошна до 79,2 % борошна обойного з показником зольності відповідним борошну 1-го сорту.

Розрахунковий річний економічний ефект від впровадження дискового здрібнювача становить 109,18 тис. грн. Фактичний економічний ефект від впровадження склав 217 тис. грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов А. А. Измельчитель зерна скалывающего типа / Хлебопродукты. – 2006. – № 10. С. 16-18.
2. Абрамов А.А. Обоснование параметров и режимов работы измельчителя зерна скалывающего типа. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук г. Ростов-на-Дону 2006 г. 20 с.
3. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Издательство «Наука», М., 1976 г. с. 278
4. Бабин А.В., Ракипов Д.Ф. Организация и математическое планирование эксперимента. Екатеринбург 2014. Информационный портал УрФУ <https://www.urfu.ru/>.
5. Бакоев С.Ю., Мокриевич А.Г. Математическое моделирование и оптимизация в системе компьютерной математики Mathcad. Учебное пособие для самостоятельной работы. – пос. Персиановский, Донской ГАУ, 2013. – 64 с.
6. Безухов Н.И. Теория упругости и пластичности / Н.И. Безухов. М.: Гостехиздат, 1953. 420 с.
7. Е.Н. Белоусов, А.Н. Курочкин. Определение скорости движения частиц твердых органических удобрений по поверхности ротора сферического типа. Механизация и электрификация животноводства, растениеводства №2 2010 г. С. 17-22.
8. Беркутова Н. С., Швецова И. А. Микроструктура пшеницы / – М. : Колос, 1977. – 122 с.).
9. Беркутова Н.С. Качество муки в зависимости от микроструктуры алейронового слоя зерновки пшеницы / Н.С. Беркутова // Мукомольно-элеваторная промышленность. – 1967. – №. – С.25.
10. Беркутова Н.С. О морфологическом строении оболочек и

химическом составе зерна пшеницы целинного края / Н.С. Беркутова, У.Д. Казаков // Известия вузов. Пищевая технология. – 1964. – №6. – С.17-19.

11. Беркутова Н.С. О морфологическом строении оболочек и химическом составе зерна пшеницы целинного края / Н.С. Беркутова, У.Д. Казаков // Известия вузов. Пищевая технология. – 1964. – №6. – С.17-19.

12. Богомолов А. В., Иркиенко В. И., Богомолова В. П. Новое направление в технологии переработки зерна пшеницы: сборник научных трудов / Вісник Харківського нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка / ХНТУСГ. - Х., 2018. - Вип. 194: Сучасні напрямки технології та механізації процесів перероб. і харч. вир-в. - Т. 2. - С. 5-12.

13. Богомолов А.В., д.т.н., проф., Белостоцкий В.А., к.т.н., доц., Лукьянов И.М. Определение прочности зерна пшеницы при ударе и выбор кинематического режима работы нории. с. 26-33.

14. Богомолов А. В., Иркиенко В. И., Богомолова В. П. Универсальный малогабаритный комплекс для производства муки и крупы [Текст] : сборник научных трудов / А. В. Богомолов, В. И. Иркиенко, В. П. Богомолова // Вісник Харківського нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка / ХНТУСГ. - Х., 2004. - Вип. 28: Сучасні напрямки технології та механізації процесів перероб. і харч. вир-в. - Т. 2. - С. 5-14.

15. Богомолов А. В., Иркиенко В. И. К вопросу энергоемкости измельчения зерна пшеницы / А. В. Богомолов, В. И. Иркиенко // Вісник Харків. нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка. - Харків : ХНТУСГ, 2019. - Вип. 207: Сучасні напрямки технології та механізації процесів перероб. і харч. виробництв. - С. 68-74.

16. Фролов Е. А., Богомолова В. П., Иркиенко В. И. Повышение эффективности функционирования малых хозяйств агропромышленного комплекса // Вісник 17 Харків. держ. техн. ун-ту сіл. госп-ва. - Харків : ХДТУСГ, 2002. - Вип. 9: Сучасні напрямки технології та механізації процесів перероб. та харч. вир-в. - С. 252-259.

17. Богомолов А. В., Слоновский Н. В., Иркиенко В. И. О фрактально-

кластерной структуре частиц, полученных дроблением // Вісник Харків. держ. техн. ун-ту сіл. госп-ва. - Харків : ХНТУСГ, 2002. - Вип. 9: Сучасні напрямки технології та механізації процесів перероб. та харч. вир-в. - С. 14-19.

18. Богомолов О.В., Сафонова О.Н., Чудик Ю.В., Ірклиєнко В.І. Получение мучных смесей с помощью универсальной малогабаритной мини-мельницы. Вестник ХГПУ. Выпуск 123. 2000г.

19. Богомолов О.В., Ірклиєнко В.І. Інноваційна технологія виробництва крупи нового виду // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2019. Випуск 207. С. 68-75.

20. Богомолов О.В., Ірклиєнко В.І. Новий напрямок в технології переробки зерна пшениці. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2019. Випуск 207. С. 5-12.

21. Богомолов О.В., Ірклиєнко В.І., Завгородній О.І., Нетецький Л.Г., Кісь-Коркіщенко Л.В. Моделювання процесу здрібнення зернівки у робочий камері здрібнювача сколювальної дії. Журнал "Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів" № 23, 2021 р. с. 194-199. E-mail: viktorirklienko@gmail.com.

22. Браславский, И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод : учеб. пособие / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков. – М. : Academia, 2004. – 248 с.

23. Брюховецкий А.Н., Чурсин В.Ю. Факторы, влияющие на энергоемкость процесса измельчения кормов в измельчителе роторного типа ирт-ф-25/40 "фермер" с применением универсального рабочего органа . В сборнике: Современные научно-практические решения XXI века Материалы международной научно-практической конференции. Общая редакция: В.И. Орбинский, В.Г. Козлов. 2016. С. 246-251.

24. Борщев В. Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки

и мельницы: учебное пособие, Тамбов: издательство Тамбовского Государственного Технического Университета, 2004. 75с.

25. Бутко Г.Ю., Никифоров А.О. Механика жидкости и газа: учебное пособие/ВШЕЭ СПбГУПТД - СПб., 2018. - 100с.

26. Бутковский В.А., Л.С. Галкина, Г.Е. Птушкина. Современная техника и технология производства муки. – М.: ДеЛи принт, 2006. 85с.

27. Бутковский В.А., Мельников Е.М. Технология мукомольного крупяного и комбикормового производства. – М.: Агропромиздат, 1989. 232с.

28. Бутковский В.А. Мукомольное производство. – М.: Агропромиздат, 1990. 272 с.

29. Бутковский В.А., Мерко А.И., Мельников Е.М. Технологии зерноперерабатывающих производств. - М.: Интеграф сервис -1999 - 472 с.

30. Быкова А.С., Ващенко Е.В. Учебно-методическое пособие по микробиологии для студентов направления подготовки 6091501 «Товароведение» – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2016. – с.181.

31. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки результатов опытных данных. М.: Колос. 1967. 125 с.

32. Верещинский А.П. Крупнообразование при размоле шелушеного зерна. Хлебопродукты. Издательство "Хлебопродукты" (Москва) ISSN: 0235-2508 № 6 2013. с. 17-19

33. Верещинский А.П. Очистка зерна от примесей в процессе шелушения при сортовых помолах пшеницы / А.П. Верещинский, А.В. Шевченко // Хранение и переработка зерна. – 2012. – №7. – С.36-37.

34. Верещинский А.П. Свойства и особенности взаимодействия шлифовальных кругов с зерном в процессе шелушения / А.П. Верещинский // Хранение и переработка зерна. – 2011. – №11. – С.62-65.

35. Верещинский А.П. Свойства и особенности взаимодействия шлифовальных кругов с зерном в процессе шелушения / А.П. Верещинский // Хранение и переработка зерна. – 2011. – №11. – С.62-65.

36. Верещинський О.П. Техніко-економічна оцінка ефективності

сортів помелів пшениці / О.П. Верещинський // Хранение и переработка зерна. – 2009. – №9. – С.34-35.

37. Гиршон В.Я. Экспериментальное исследование процессов технологии зерна / В.Я. Гиршон. – М.: Заготиздат, 1949. – 151с.

38. Егоров Г. А. Практикум по технологии муки, крупы и комбикормов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 208 с.

39. Егоров Г.А. Технологические свойства зерна. – М.: Агропромиздат, 1985. – 335 с.

40. Егоров Г. А., Линниченко В. Т., Мельников Е. М., Петренко Т. П. - М. Практикум по технологии муки, крупы и комбикормов. - 2-е изд., доп. и перераб. - : Агропромиздат, 1991. - 208 с.: ил.

41. Егоров Г.А, Мельников Е.М., Максимчук Б.М. Технология муки, крупы и комбикормов. – М.: Колос, 1984. – 375 с.

42. Егоров Г.А. Технология муки. Технология крупы. —4-е изд., перераб.и доп. — М.: Колос С, 2005. — 296 с.

43. Злочевский В.Л., Борисов А. П. Автоматический комплекс для исследования разрушения зерновых материалов / вестник алтайской науки, №1, 2015 с. 372-379.

44. Злочевский В., Е. Чикина. Определение потребляемой мощности при плющении зерна. ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» Комбикорма №7, 2011г.с. 47-48.

45. Злочевский В. Л. // Хранение и переработка сельхозсырья.-2009.- №2.-С.28-32.

46. Повышение технологической эффективности лабораторного помола зерна В. Злочевский, А. Борисов, Э. Могучева, 9/2011 хлебопродукты с. 71-73.

47. Злочевский В. Л., Борисов А. П. Автоматизированный комплекс для исследования разрушения зерновых материалов. Вестник Алтайской науки, №1, 2015. с. 371-378.

48. Злочевский В.Л., Борисов А.П. Исследование прочностных свойств

зерновых материалов: Учебное пособие. - СПб,: Издательство "Лань", 2017. - 180с.

49. Злочевский, В.Л. Направление совершенствования процесса измельчения зерна / В.Л. Злочевский // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств. Сборник докладов, Барнаул.- 2005.- с.

50. Злочевский, В.Л. Совершенствование технологии и техники размола зерна / В.Л. Злочевский // Хранение и переработка сельхозсырья.- 2009.№2.-С. 28-32.

51. Злочевский, В. Л. Исследования работы маятникового деформатора и свойств зерна при измельчении. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания, № 1, 2017. с. 15-19.

52. Злочевский, В.Л., Борисов А.П. Исследование зависимости энергозатрат от стекловидности зерна посредством маятникового деформатора / В.Л. Злочевский, // Актуальные вопросы науки, технологии и производства: сб. науч. стат. XI Междунар. науч.-практ. конф. - 2015. - С. 20.

53. Иванов В. В., Михайлович С. А., Гуриненко Л. А., Шкондин В. Н. Особенности деформации зерна рабочими органами измельчителей. Научный журнал КубГАУ, №97(03), 2014.

54. Игнатенко И.В., Механцева И.Ю.. Математическое моделирование движения шероховатой частицы по каналам центробежного рабочего органа с наклонным диском. Вестник ДГТУ. 2001. Т.1. №3(9) . с. 42-46.

55. Ірклієнко В.І. Оптимізація параметрів процесу сколювання зерна пшениці в дисковому здрібнювачі. Журнал "Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів", № 21, 2020 р. с. 235-242.

56. Искендеров, Р.Р. Измельчение зерновых материалов: проблемы и способы их решения / Р.Р. Искендеров, А.Т. Лебедев, В.В. Очинский // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей «Агроуниверсал-2015». - 2015. - С 19-22.

57. Искендеров Р.Р., Очинский В.В., Лебедев А.Т., Павлюк Р.В.

Методологический подход к обоснованию принципа работы роторной дробилки. Ставропольский государственный аграрный университет. 2015 г.

58. Искендеров, Р.Р. Анализ способов измельчения материалов. / А.Т. Лебедев, Р.Р. Искендеров // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей. - 2013. - 221-224с.

59. Кандроков Р.Х., Панкратов Г.Н. Роль шелушения зерна в технологии переработки твердой пшеницы. Хлебопродукты 3/2013, с. 44-45.

60. Карпова О.П., Постнікова М.В. Енергоємність як енергетична характеристика технологічного процесу очищення зерна. Зернові продукти і комбікорми Vol.17, I. 4 / 2017.

61. Кононюк А.Е. Основы научных исследований том 1 . Издательство «КТН» 04210, г.Киев, пр. Героев Сталинграда, 8, корпус 8, оф. 1. Киев 2010

62. Кононюк А.Е. Основы научных исследований том 2 . Издательство «КТН» 04210, г.Киев, пр. Героев Сталинграда, 8, корпус 8, оф. 1. Киев 2010

63. Кононюк А.Е. Основы научных исследований том 3 . Издательство «КТН» 04210, г.Киев, пр. Героев Сталинграда, 8, корпус 8, оф. 1. Киев 2010

64. Кононюк А.Е. Основы научных исследований том 4 . Издательство «КТН» 04210, г.Киев, пр. Героев Сталинграда, 8, корпус 8, оф. 1. Киев 2010

65. Кошак Ж. В. Морфолого-анатомические свойства зерна твердой пшеницы] / Ж. В. Кошак, Е. М. Минина, А. Э. Кошак // Материалы III Международной конференции «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса». - Ставрополь, 2014. - Т. 2 вып. 7. - С. 289-292

66. Кошак Ж.В. Минина Е.М. Кошак Ф.Э. Научные труды, выпуск 44, том 1. Одесская национальная академия пищевых технологий прочностных характеристик зерна / Зернові продукти і комбікорми № 4 2010. Таврический государственный агротехнологический университет. с. 29-34.

67. Купченко А.В., Ялпачик О.В., Шпиганович Т.А., Алексеенко В.А./ Определение прочностных характеристик зерна / Зернові продукти і комбікорми № 4 2010. Таврический государственный агротехнологический

университет. 11-15 с.

68. Лебедев А. Т., Искендеров Р.Р., Шумский А. С. Обоснование конструктивных параметров горизонтальной роторной дробилки фуражного зерна. Технический сервис машин. Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. Москва, 2018г., 55-62с.

69. Лебедев А.Т., Искендеров Р.Р., Шумский. А.С, К вопросу оценки процесса измельчения зерновых материалов / А.Т. Лебедев, Р.Р. Искендеров, А.С Шумский. - Сборник «Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК». Материалы XIV Международной научно-практической конференции // Ставрополь, 2018. С. 177-181.

70. Лебедев А.Т., Искендеров Р.Р., Шумский. А.С . Экспериментальные исследования измельчения зерна срезом / Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: сборник научных трудов конференции / Белгород, 2018. - С. 117-120.

71. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. — М.: Дрофа, 2003. — 840 с.

72. Матвийчук Н.М. Приоритеты реализации политики энергосбережения в Украине. ECONOMICS AND MANAGEMENT. Juvenis scientia 2016 № 1 Восточноевропейский национальный университет имени Леси Украинки. Луцк.

73. Мачихина Л.И. Научные основы продовольственной безопасности зерна (хранение и переработка).— М.: ДеЛи принт, 2007. — 382с.

74. Мигуренко Р. А. Научно-исследовательская работа: учебно - методическое пособие / Р. А. Мигуренко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт дистанционного образования (ИДО). – 2-е изд., стер. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 184 с.

75. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Роцин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – 2-е изд., перераб. И доп. – Л.: Колос. Ленингр. Отд-ние, 1980. – 168 с.

76. Мерко И.Т. Структура и эффективность технологических процессов

производства муки [Текст] / И.Т. Мерко, В.А. Моргун, Н.Е. Погирной. – М.: Колос, 1983. – 239с.

77. Мерко И.Т., Моргун В.А. Научные основы и технология переработки зерна. - О. 2001. – 285 с.

78. Нанка О. В. Прилад та методика дослідження динамічних зусиль різання фуражного зерна., Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. - 2016. - Вип. 241. - С. 227-232.

79. Нанка О. В. Теоретичні і практичні аспекти розробки енергозберігаючої конструкції здрібнювача зернових кормів / О. В. Нанка // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2011. – Вип. 119. – С. 89–96.

80. Нанка А.В. Кинематика процесса измельчения зерна в роторной дробилке и затраты мощности на ее работу / А. В. Нанка // [Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка](#). - 2015. - Вип. 156. - С. 480-489.

81. Нанка О.В. Способы механического воздействия при измельчении фуражного зерна и их энергетическая оценка. Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – № 1 (1) с.204-209.

82. Нанка О.В. Энергосбережение в механических процессах при приготовлении комбикормов. Праці ТДАТУ. Вип. 11. Т5. с. 238-244.

83. Новиковский, Е. А. Учебное пособие «Работа в системе MathCAD» [Текст] / Е. А. Новиковский. – Барнаул: Типография АлтГТУ, 2013. – 114 с.

84. Острецов В.Н., Сухляев В.А. Исследование энергосберегающего метода разрушения зерна «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина» Молочнохозяйственный вестник, №1 (9), I кв. 2013. 21-23 с.

85. Сабиев У.К., Пушкарев А.С. Модернизированный измельчитель зерновых материалов // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. - 2017. -№1 32-38.

86. Роева Н.Н. Безопасность продовольственного сырья и продуктов питания. Учебно-практическое пособие. – М., МГУТУ, 2009. 156с. <https://studfile.net/preview/6894094/>

87. Рой А.А. К вопросу о новом направлении в теории дробления фуражного зерна/ А.А. Рой// Проектирование рабочих органов машин для животноводческих хозяйств. Тр. Ростовского-на-Дону института с/х машиностроения. – 1972. – Вып. 3. – С. 130-138.

88. Романьски, Л. Изменение внутренней структуры зерна пшеницы при его плющении // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2007. – № 10. – С. 105- 110.

89. Сабиев У.К., Роледер А.И. Пути создания эффективных измельчителей зерновых материалов // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. - 2018. -№1 (12) январь - март. - URL <http://ejournal.omgau.ru/images/issues/2018/1/00508.pdf>. - ISSN 2413-4066.

90. Савиных П. А., Миронов К. Е./ Совершенствование способов измельчения зерна. /Вестник НГИЭИ, 2011.

91. Савиных П. А., Палицын А. В., Иванов И. И. Исследование измельчителя фуражного зерна роторно-центробежного типа с различными рабочими органами. Молочнохозяйственный вестник №2 (26), II кв. 2017 12-18 с.

92. Сакович Г.С., Безматерных М.А. Физиология и количественный учет микроорганизмов. Учебное электронное текстовое издание. Подготовлено кафедрой «Технология органического синтеза» Научный редактор: доц., канд. хим. наук И.С. Селезнева ГОУ ВПО УГТУ–УПИ Екатеринбург, 2005. 164с.

93. Семенихин А.М. Гуриненко Л.А., Иванов В.В. Шкондин В.Н. /Особенности деформации зерна рабочими органами измельчителей./ Научный журнал КубГАУ, №97(03), 2014 года. 19-22с.

94. Семенихин А.М., Шкондин В.Н., Гуриненко Л.А., Иванов В.В., Баимов А.П. /Параметры вальцовой ступени двухступенчатого измельчителя

зерна./ Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование 3(35) 2016. 5-11 с.

95. Созонтов А.В., Лопатин Л.А. Исследование и оптимизация рабочего процесса дробилки зерна ударного действия 2018. Вятская государственная сельскохозяйственная академия, Киров (Россия) Вестник НГИЭИ. 2018. № 6 (85) с. 27-36.

96. Солнцев Р.В. Определение энергозатрат процесса разрушения зерна скальванием. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. Воронеж. - 2009 - Вып. 1(24).-С. 39-42.

97. Соломка В.О. Аналітичні дослідження процесу подрібнення зерна / В.О. Соломка, В.П. Ковбаса, О.В. Соломка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Механізація сільськогосподарського виробництва. Харків, 2012. Вип. 124. С. 174-181.

98. Соломка О.В. Визначення показників міцності зернових матеріалів / О.В. Соломка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. Харків, 2010. Вип. 96. С. 267-278.

99. Соломка О.В. Обґрунтування конструкції та основних параметрів здрібнювача зерна / О.В. Соломка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Механізація сільськогосподарського виробництва. Харків, 2008. Вип. 75. Т. 1. С. 230-236.

100. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. М., "Легкая индустрия", 1974, 262с.

101. Фабричникова И.А., Коломиец В.В. Условия образования стружки при срезании корнеплода сахарной свеклы свеклорезными ножами. Вісник Національного технічного університету "ХП" . Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. - Харків:

НТУ „ХП” - 2010.-№46 с. 267-272.

102. Федотов В. А. Связь морфолого-анатомических характеристик зерна пшеницы с технологическими свойствами. Опубликовано в 2017, Выпуск № 12 (66) Декабрь 2017, 21-28.

103. Филин В. обоснование разработки оборудования для мини-цехов по переработке зерна. Журнал: Хлебопродукты (Москва) Номер: 2 Год: 2009 47-49 с.

104. Филин В.М., Филин Д.В. Многофункциональные машины для миникрупцехов // Хлебопродукты. – 2002. – № 5. – С. 12–13.

105. Хусид С. Д., Измельчение зерна.- М.: Хлебоиздат, 1958. - С.232.

106. Хусид С.Д. Исследование механических свойств основных частей зерна [Текст] / С.Д. Хусид, Л.В. Ильинская // – М.: Мукомольно-элеваторная промышленность, 1954. – №9. – С.15-19.

107. Хусид С.Д. Измельчение зерна на молотковых мельницах. М.: Заготиздат, 1947. — 126 с.

108. Шкондин В.Н. Особенности деформации зерна рабочими органами измельчителей / А.М. Семенихин, Л.А. Гуриненко, В.В. Иванов, В.Н. Шкондин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №03(097).

109. Шкондин В.Н. Обоснование факторной модели двухступенчатого измельчителя зерна // Современная техника и технологии. 2016. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2016/01/9164> (дата обращения: 11.02.2019).

110. Штейнберг Т. Исследование оптических характеристик зерна пшеницы. Хлебопродукты 9/2010. с. 50-53.

111. Jessica Anderson Whole grain wheat – effects of peeling and pearling on chemical composition, taste and colour Institutionen för Livsmedelsvetenskap Publikation nr 311 Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala 2011 Department of Food Science.

112. Antoine C, Peyron S, Mabilille F, Lapierre C, Bouchet B, Abecassis J, Rouau X. Individual contribution of grain outer layers and their cell wall structure to the mechanical properties of wheat bran. *J. Agric. Food Chem.* 51, 2026–2033. (doi:10.1021/jf0261598) CrossRefPubMedWeb of ScienceGoogle Scholar. 2003.

113. E.D. Baudelaire. *Handbook of Food Powders Processes and Properties*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2013, Pages 132-149.

114. Mustafa Bayram, Mehmet Durdu Öner. Stone, disc and hammer milling of bulgur *Journal of Cereal Science* Volume 41, Issue 3 May 2005 Pages 291-296.

115. Mustafa Bayram, Mehmet D. Öne/ Bulgur milling using roller, double disc and vertical disc mills/ *Journal of Food Engineering/* Volume 79, Issue 1 March 2007 Pages 181-187.

116. D.B.Bechtel J.Abecassis P.R.Shewry A.D.Evers CHAPTER 3 - Development, Structure, and Mechanical Properties of the Wheat Grain Wheat (Fourth Edition) *Chemistry and Technology* American Associate of Cereal Chemists International 2009, Pages 51-95.

117. Beyer M., Klix M. B., Klink H., Verreet J.-A. Quantifying the effects of previous crop, tillage, cultivar and triazole fungicides on the deoxynivalenol content of wheat grain — a review // *Journal of Plant Diseases and Protection*. — 2006. — Декабрь (т. 113, № 6). — С. 241—246. — ISSN 1861-3829. — DOI:10.1007/BF03356188.

118. Blanka Bucsellá, Dóra Molnár, Anna Helga Harasztos, Sándor Tömösközi. Comparison of the rheological and end product properties of an industrial aleurone. rich wheat flour, whole grain wheat and rye flour. *Journal of Cereal Science* Volume 69 May 2016 Pages 40-48.

119. J. A. Budny, J. Fornal, W. Obuchowski . Analysis of correlations between contents of protein fractions in wheat endosperm models and their mechanical resistance *Journal of Cereal Science* Volume 71 September 2016 Pages 10-18.

120. G.t M.Campbell, CalumSharp, KevinWall, FernánMateos-Salvador,

SabineGubatz, AlisonHuttly, PeterShewry. Modelling wheat breakage during roller milling using the Double Normalised Kumaraswamy Breakage Function: Effects of kernel shape and hardness Author links open overlay panel. *Journal of Cereal Science* Volume 55, Issue 3, May 2012, Pages 415-425.

121. Cappelli, A., Oliva, N., Cini, E., Stone milling versus roller milling: A systematic review of the effects on wheat flour quality, dough rheology, and bread characteristics. *Trends in Food Science & Technology* Volume 97 March 2020 Pages 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.008>.

122. Delwiche, S.R., Morris, C.F., Kiszonas, A.M. Compressive strength of Super Soft wheat endosperm. *Journal of Cereal Science* (2020).

123. J.E.Dexter. P.J.Wood. Recent applications of debranning of wheat before milling *Trends in Food Science & Technology* Volume 7, Issue 2, February 1996, Pages 35-41.

124. Andres F.Doblado-Maldonadoa Oscar A.PikebJess C.SweleyaDevin J.Rose Key issues and challenges in whole wheat flour milling and storage. *Journal of Cereal Science* Volume 56, Issue 2, September 2012, Pages 119-126.

125. Dobraszczyk BJ . 1994 Fracture mechanics of vitreous and mealy wheat endosperm. *J. Cereal Sci.* 19, 273–282. (doi:10.1006/jcrs.1994.1034) Google Scholar Endosperm texture in wheat.*J. Cereal Sci.* 36, 327–337. (doi:10.1006/jcrs.2002.0468).

126. Dariusz Dziki. Effect of preliminary grinding of the wheat grain on the pulverizing process. *Journal of Food Engineering* Volume 104, Issue 4 June 2011 Pages 585-591.

127. Mark Andrew Edwards. 'Morphological features of wheat grain and genotype affecting flour yield', PhD thesis, Southern Cross University, Lismore, NSW. Copyright M Edwards 2010.

128. Enoch T. Quayson, William Atwell, Craig F. Morris. Alessandra Marti Empirical rheology and pasting properties of soft-textured durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) and hard-textured common wheat (*T. aestivum*) *Journal of Cereal Science* Volume 69 May 2016 Pages 252-258. DOI:

10.1016/j.jcs.2016.03.017.

129. Fellers D.A. Mechanical debranning of whole–kerntl wheat [Текст] / D.A. Fellers // Cereal Chem. – 1976. – vol.53, №3. – P.308-317.

130. S.P. Galindez - NajeraaP. Choomjaihanb C. Barronc V. Lullien-Pellerinc G.M. Campbell A compositional breakage equation for wheat milling Journal of Food Engineering Volume 182, August 2016, Pages 46-64.

131. Elisa Giambanelli, Federico Ferioli, L. Filippo D’Antuono. Assessing the effect of traditional hulledwheat processing on bioactive compounds retention. Journal of Cereal Science 72 (2016) 60e68.

132. S. Grundas, C. W. Wrigley. Ultrastructure of the Wheat Grain, Flour, and Dough Encyclopedia of Food Grains (Second Edition) VOLUME 32016Pages 384-395.

133. Mary J. Guttieri, Edward J. Souza, Clay Sneller. Laboratory Milling Method for Whole Grain Soft Wheat Flour Evaluation . Vol. 88, No. 1, 2011 1. DOI:10.1094/CCHEM-02-10-0017.

134. Y. Haddada , F. Mabilille b,), A. Mermet a , J. Abecassis b , J.C. Benet Rheological properties of wheat endosperm with a view on grinding behaviour Powder Technology Volume 105, Issues 1–3, 1 November 1999, Pages 89-94.

135. James E. Hourston, Michael Ignatz, Martin Reith, Gerhard Leubner-Metzger, Tina Steinbrecher Biomechanical properties of wheat grains: the implications on milling. Published 18 January 2017.DOI: 10.1098/rsif.2016.0828

136. Manju Kundu, Bhupendar Singh Khatkar. Assessment of chapatti quality of wheat varieties based on physicochemical, rheological and sensory traits. Food Chemistry Volume 2261 July 2017Pages 95-101 Neelam Gulia.

137. Morgan A.I. World wheat – a product of chemical peeling [Текст] / A.I. Morgan // North – Western Miller. – 1966. – vol.6, №176. – P.40-43.

138. Zoe Mousia, Sarah Edherly, Severino S. Pandiella Colin Webb. Effect of wheat pearling on flour quality. Food Research International Volume 37, Issue 5, June 2004, Pages 449-459.

139. Ida I.Muhamad, Grant M.Campbell. Effects of kernel hardness and

moisture content on wheat breakage in the single kernel characterisation system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* Volume 5, Issue 1, March 2004, Pages 119-125.

140. V.I. Irklienko, O.V. Bogomolov, I.M.Lukivanov, L.V. Kis-Korkishchenko, P.S. Syromiatnikov // Developing environmentally friendly technology for wheat grain processing // Petro Vasylenko Notional Technical University of Agriculture, 44 Alchevskih St., Kharkiv, 61002, Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2021, 11(2), x-xx, doi: 10.15421/2021 Kharkiv.

141. W.G.Owens Wheat, corn and coarse grains milling. *Cereals Processing Technology* Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition 2001, Pages 27-52.

142. Elieser S.Posner Wheat (Fourth Edition) Chemistry and Technology American Associate of Cereal Chemists International 2009, Pages 119-152

143. Savinyh P. Simulation of particle movement in crushing chamber of rotary grain crusher / P. Savinyh, A. Aleshkin, V. Nechaev, S. Ivanovs // 16th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. 2017. pp. 309-316.

144. Soliman Nassif Soliman, Mohamed A.F.Abd El Maksoud, Qaid, Y.A. Mechanical properties of wheat grains. *Misr J. Ag. Eng.*, 26(4): 1878- 1900 process engineering. *Misr J. Ag. Eng.*, October 2009.

145. S. Uthayakumaran C.W. Wrigley 4 - Wheat: characteristics and quality requirements *Cereal Grains Assessing and Managing Quality* Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition 2010, Pages 59-111

146. C.W. Wrigley Definitions of Terms for the Food- and Grain-Processing Industries. Reference Module in Food Science 2016.

147. Lili Yang. Benefits of debranning in wheat flour milling ProQuest LLC. 789 East Eisenhower Parkway P.O. Box 1346 Ann Arbor, MI 48106- 1346. 2006.

148. Ali Yıldırım, Mustafa Bayram, Mehmet D. Öner . Bulgur milling using a helical disc mill *Journal of Food Engineering* Volume 87, Issue 4 August

2008Pages 564-570.

149. Zeyad Arif Ahmed, Rafał Nadulski, Zbigniew Kobus, Kazimierz Zawiślak. The influence of grain moisture content on specific energy during spring wheat grinding. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 7 (2015) Pages 309-312.

150. V. Olshansky, O. Bogomolov, O. Bogomoiov, V. Irklienko, L. Kys-Korkyshchenko. A QUARTERLY JOURNAL OF AGRI-FOOD INDUSTRY—2019, Vol. I 9, No. I, 49-Oscillations with positional friction under mechanical shock. Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture 44 Alchevskih St, Kharkiv, Ukraine. E-mail: oipxv@ub'. net 44 Alchevskih St, Kharkiv, Ukraine Abstract.

151. Bofang Yan, Marie-Pierre Isaure, Sandra Mounicou, Hiram Castillo-Michel, Wout De Nolf, Christophe Nguyen, Jean-Yves Cornu. Cadmium distribution in mature durum wheat grains using dissection, laser ablation-ICP-MS and synchrotron techniques, *Environmental Pollution* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016>

ДОДАТКИ

№ опыта	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ²	Δ ₁₋₂ ²	S ²	Σ ²	Σ ² ·Y ²	Y _{min}	Y _{max}	$\frac{Y_{max}-Y_{min}}{k}$	$\frac{Y_{max}+Y_{min}}{2}$	S	n-1	
1	44,03	44,16	44,26	44,15	0,0266	0,0133	43,7575	0,1541	44,03	44,26	0,05	0,05	2,2525	0,39	2
2	34,00	34,07	34,11	34,06	0,0062	0,0031	34,4525	0,1541	34,00	34,11	0,03	0,02	2,2525	-0,39	2
3	30,17	30,87	30,94	30,66	0,3626	0,1813	31,9050	1,5500	30,17	30,94	0,22	0,12	2,2525	-1,24	2
4	33,75	33,12	34,20	33,69	0,5886	0,2943	32,4450	1,5500	33,12	34,20	0,25	0,23	2,2525	1,25	2
5	45,93	45,07	44,72	45,24	0,7754	0,3877	48,5387	10,8818	44,72	45,93	0,23	0,31	2,2525	-3,30	2
6	46,02	46,25	46,09	46,12	0,0278	0,0139	42,8212	10,8818	46,02	46,25	0,04	0,06	2,2525	3,30	2
7	44,11	44,33	44,22	44,22	0,0242	0,0121	40,0687	17,2329	44,11	44,33	0,05	0,05	2,2525	4,15	2
8	33,02	32,50	33,09	32,87	0,2078	0,1039	37,0212	17,2329	32,50	33,09	0,16	0,10	2,2525	-4,15	2
9	62,49	62,98	62,36	62,61	0,2138	0,1069	59,7037	8,4463	62,36	62,98	0,11	0,16	2,2525	2,91	2
10	50,19	50,64	50,79	50,54	0,1950	0,0975	53,4462	8,4463	50,19	50,79	0,16	0,11	2,2525	-2,91	2
11	33,06	32,02	33,32	32,80	0,9464	0,4732	37,3437	20,6457	32,02	33,32	0,35	0,23	2,2525	-4,54	2
12	38,13	38,41	38,36	38,30	0,0446	0,0223	33,7562	20,6457	38,13	38,41	0,08	0,05	2,2525	4,54	2
13	51,45	51,56	52,18	51,73	0,3098	0,1549	51,73	5,9536	51,45	52,18	0,12	0,20	2,2525	0,00	2
14	56,05	56,42	56,04	56,17	0,0838	0,0469	56,17	4,0000	56,04	56,42	0,06	0,11	2,2525	0,00	2
15	54,88	55,23	53,72	54,61	1,2494	0,6247	54,61	0,1936	53,72	55,23	0,40	0,28	2,2525	0,00	2
				54,17	5,0720	2,5360		127,968528		4,3026527		0,40	2,25	0,00	
5,9536															
4,0000															
0,1936															
5,0736															
				G, Вт*ч/кг											
				сф2,5 сф1,5 с0,63 дно											
п. об/мин	X1	200	350	500	150										
Q, г/мин	X2	350	500	650	150										
h мм	X3	0,1	0,2	0,3	0,1										
Расчетная матрица															
Y _i	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X11	X22	X33						
44,15	1	1	0	1	0	0	1	1	0						
34,06	-1	-1	0	1	0	0	1	1	0						
30,66	1	-1	0	-1	0	0	1	1	0						
33,69	-1	1	0	-1	0	0	1	1	0						
45,24	1	0	1	0	1	0	1	0	1						
46,12	-1	0	-1	0	1	0	1	0	1						
44,22	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1						
32,87	-1	0	1	0	-1	0	1	0	1						
62,61	0	1	1	0	0	1	0	1	1						
50,54	0	-1	-1	0	0	1	0	1	1						
32,80	0	1	-1	0	0	0	-1	0	1						
38,30	0	-1	1	0	0	-1	0	1	1						
54,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
54,17	2,1913	2,4613	0,6675	3,4650	3,5675	10,5125	-11,2400	-7,2900	-0,8175						
549,43	9,21	25,56	30,83	10,46	12,37	24,31	311,01	326,81	352,70						
-274,715	8,32	-5,87	-25,49	3,40	1,9	17,74		990,52							
	17,53	19,69	5,34	13,86	14,27	42,05		185,7225							
								-88,99							
								77,75	81,70	88,18					
54,17	2,1913	2,4613	0,6675	3,4650	3,5675	10,5125	-11,2400	-7,2900	-0,8175						
2,6559		1,6264			2,3001			3,0427							
1	1	1	0	1	1	1	1	1	0						
54,17	2,19	2,46	0,00	3,47	3,57	10,51	-11,24	-7,29	0,00						
b ₀	X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X11	X22	X33						
54,17	2,19125	2,4613	0	3,465	3,5675	10,513	-11,24	-7,29	0						

A	B	C	D	p	B _i	1/p*ln0
0,1250	0,2500	0,0625	0,2500	2	0,2708333	0,16667

$S_i^2 = \frac{1}{n} \cdot S_i^2$	$S_1^2 = AS_i^2$	$S_2^2 = BS_i^2$	$S_3^2 = CS_i^2$	$S_4^2 = DS_i^2$
1,69120	0,63420	1,26840	2,21970	
1,30046	0,79637	1,12623	1,48987	

t = 2,04227

f = 0,3346

$$S_{\text{дн}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_n)^2}{N - (k+1)} = 4,3488 \quad F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{дн}}^2}{S_y^2}$$

$$\sum_{i=1}^N y_i^2 = 2,5360 \quad \sigma_{\text{нмал}}^2 = 0,6247 \quad G_{\text{расч}} = 0,2463 \leq G_{\text{таб}}$$

$$a_1 = (b_{11} + b_{22})$$




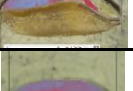







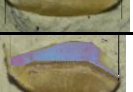
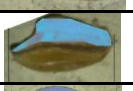




$$a_2 = b_{11}b_{22} + (0,25b_{12})^2$$

Рисунок А.1 – Фрагмент программы по статистичній обробці багатofакторного експерименту, створеної в MS Excel

Таблиця Б.1 – Геометричні параметри зерна

№ виміру	<i>L</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	№ виміру	<i>L</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
1	6,75	3,5	2,65	26	5,69	2,86	2,71
2	6,23	3,46	2,98	27	6,34	2,92	3,39
3	6,60	3,38	3,01	28	5,81	2,9	3,12
4	5,25	3,47	2,56	29	6,40	2,25	3,19
5	5,68	3,55	2,46	30	6,85	3,17	2,42
6	6,28	3,45	3,0	31	5,71	2,85	2,71
7	6,36	2,96	2,39	32	6,18	3,35	3,1
8	6,27	3,79	2,92	33	6,32	2,92	2,30
9	6,23	3,68	2,85	34	6,23	3,79	2,91
10	5,7	3,12	2,59	35	6,34	3,62	2,88
11	5,44	2,75	2,8	36	5,72	3,15	2,69
12	6,1	3,79	2,92	37	5,34	2,65	2,78
13	6,27	3,79	2,92	38	6,1	3,79	2,92
14	6,11	3,64	2,8	39	6,27	3,79	2,74
15	5,68	2,81	3,1	40	5,68	3,64	2,8
16	6,07	3,22	2,82	41	6,31	2,81	2,85
17	6,08	3,08	2,6	42	6,07	3,22	2,82
18	5,93	2,9	3,14	43	6,11	3,72	3,1
19	6,43	2,22	3,15	44	6,27	3,69	2,81
20	6,43	3,45	3,2	45	6,16	3,47	2,92
21	6,49	3,43	2,9	46	6,60	3,38	3,01
22	5,44	2,75	2,8	47	5,25	3,39	2,56
23	6,17	2,88	3,21	48	5,89	3,55	2,46
24	6,34	2,92	3,39	49	6,28	3,45	2,86
25	6,85	3,14	2,4	50	5,68	3,57	3,0

Таблиця Б.2 – Результати експериментальних досліджень

№ виміру	A, мм	B, мм	L, мм	I, мА	P, кг	S, мм ²	Фото
8	3,3	2,9	6,0	2,0	2,3	3,27	
1	3,4	2,8	6,2	2,7	3,0	4,64	
12	3,3	2,7	5,8	6,4	4,0	2,8	
3	3,4	2,9	6,2	7,0	4,0	3,84	
16	3,5	2,7	5,4	9,9	7,2	3,66	
13	3,7	3,4	6,4	11,4	2,2	4,09	
5	3,6	2,8	6,1	13,0	3,5	2,92	
2	3,1	2,8	7,2	13,4	2,7	3,87	
9	3,5	2,7	6,1	14,0	3,3	2,73	
7	3,3	2,9	6,2	15,7	3,0	3,17	
11	3,4	2,7	5,7	17,1	4,3	2,85	
15	3,2	2,8	6,2	18,0	2,5	3,42	
6	3,5	2,9	5,7	18,1	3,4	3,25	
14	3,3	2,7	6,4	19,7	4,6	3,31	
10	3,4	2,9	6,0	21,6	4,2	2,79	
17	3,0	2,7	6,2	22,1	3,5	3,7	
4	3,3	2,8	6,3	22,9	3,2	4,24	

Таблиця В.1 – матриця планування дослідів

№ п/п	№ виміру	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_{12}	x_{22}	x_{32}
1	14	+	+	0	+	0	0	+	+	0
2	9	+	-	0	-	0	0	+	+	0
3	15	-	+	0	-	0	0	+	+	0
4	10	-	-	0	+	0	0	+	+	0
5	3	+	0	+	0	+	0	+	0	+
6	5	+	0	-	0	-	0	+	0	+
7	2	-	0	+	0	-	0	+	0	+
8	6	-	0	-	0	+	0	+	0	+
9	7	0	+	+	0	0	+	0	+	+
10	11	0	+	-	0	0	-	0	+	+
11	4	0	-	+	0	0	-	0	+	+
12	12	0	-	-	0	0	+	0	+	+
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблиця В.2 – Результати дослідів згідно матриці

№ п/п	Рандомизация	n , об/хв.	Q , г/хв.	h , мм	E , Вт·год./кг	P , кг/год.	M , %
1	14	500	60	0,3	3,29	23,63	63,83
2	9	500	30	0,3	2,72	17,55	66,01
3	15	200	60	0,3	1,94	17,12	60,99
4	10	200	30	0,3	1,67	18,11	63,65
5	3	500	45	0,5	2,60	21,47	60,30
6	5	500	45	0,1	2,44	25,82	61,67
7	2	200	45	0,5	1,52	19,74	68,21
8	6	200	45	0,1	1,91	17,48	62,55
9	7	350	60	0,5	1,61	29,91	63,83
10	11	350	60	0,1	2,18	26,67	64,95
11	4	350	30	0,5	1,92	15,25	62,50
12	12	350	30	0,1	2,28	20,03	65,68
13	1	350	45	0,3	0,89	28,06	67,53
14	13	350	45	0,3	0,95	27,06	68,59
15	8	350	45	0,3	0,93	28,27	67,29

Таблиця В.3 – Результати реалізації матриці планування (критерій оптимізації – питома енергія подрібнення E , Вт·год./кг) і результати статистичної обробки

№ п/п	№ виміру	Результати експериментів			\bar{y}	$\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$	S_i^2	\hat{y}	$\sum_{i=1}^N (\bar{y} - \hat{y})^2$
		y_1	y_2	y_3					
1	14	3,25	3,31	3,31	3,29	0,0027	0,0013	3,0023	0,0818
2	9	2,69	2,76	2,71	2,72	0,0023	0,0012	3,0080	0,0818
3	15	1,89	2,01	1,93	1,94	0,0074	0,0037	1,9666	0,0005
4	10	1,69	1,65	1,67	1,67	0,0006	0,0003	1,6499	0,0005
5	3	2,55	2,64	2,62	2,60	0,0042	0,0021	2,6386	0,0014
6	5	2,45	2,43	2,44	2,44	0,0002	0,0001	2,3986	0,0014
7	2	1,53	1,49	1,55	1,52	0,0020	0,0010	1,7498	0,0515
8	6	1,94	1,88	1,90	1,91	0,0023	0,0012	1,6788	0,0515
9	7	1,59	1,62	1,62	1,61	0,0007	0,0004	1,8568	0,0618
10	11	2,18	2,24	2,13	2,18	0,0052	0,0026	1,9335	0,0618
11	4	1,94	1,91	1,90	1,92	0,0008	0,0004	1,9780	0,0035
12	12	2,26	2,32	2,27	2,28	0,0019	0,0010	2,2237	0,0035
13	1	0,90	0,89	0,87	0,89	0,0006	0,0003	0,89	0,0014
14	13	0,99	0,92	0,95	0,95	0,0028	0,0014	0,95	0,0010
15	8	0,91	0,93	0,94	0,93	0,0004	0,0002	0,93	0,0000

Таблиця В.4 – Результати реалізації матриці планування і результати статистичної обробки (критерій оптимізації пропускна здатність, P , кг/год.) і результати статистичної обробки

№ п/п	№ виміру	Результати експериментів			\bar{y}	$\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$	S_i^2	\hat{y}	$\sum_{i=1}^N (\bar{y} - \hat{y})^2$
		y_1	y_2	y_3					
1	14	23,56	23,65	23,67	23,63	0,0065	0,0033	21,6549	3,8959
2	9	17,56	17,43	17,66	17,55	0,0283	0,0141	19,5236	3,8959
3	15	17,14	17,16	17,07	17,12	0,0039	0,0020	17,2996	0,0320
4	10	18,24	17,90	18,18	18,11	0,0663	0,0332	17,9263	0,0320
5	3	21,62	21,54	21,24	21,47	0,0783	0,0391	24,1941	7,4361
6	5	25,55	26,12	25,79	25,82	0,1671	0,0836	23,0933	7,4361
7	2	19,67	19,80	19,75	19,74	0,0088	0,0044	18,8109	0,8688
8	6	17,34	17,36	17,72	17,48	0,0924	0,0462	18,4072	0,8688
9	7	29,95	29,91	29,87	29,91	0,0032	0,0016	29,1541	0,5672
10	11	26,59	26,62	26,81	26,67	0,0290	0,0145	27,4266	0,5672
11	4	15,30	15,01	15,45	15,25	0,0990	0,0495	18,1586	8,4443
12	12	20,19	19,93	19,98	20,03	0,0362	0,0181	17,1281	8,4443
13	1	27,99	27,97	28,22	28,06	0,0390	0,0195	28,06	0,0688
14	13	26,81	27,35	27,03	27,06	0,1435	0,0718	27,06	0,5379
15	8	28,25	28,67	27,88	28,27	0,3113	0,1557	28,27	0,2220

Таблиця В.5 – Результати реалізації матриці планування і результати статистичної обробки (критерій оптимізації – відсоток маси залишку на ситі ф2,5 М, %)

№ п/п	№ виміру	Результати експериментів			\bar{y}	$\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$	S_i^2	\hat{y}	$\sum_{i=1}^N (\bar{y} - \hat{y})^2$
		У ₁	У ₂	У ₃					
1	14	63,85	63,77	63,87	63,83	0,0054	0,0027	64,3759	0,2951
2	9	65,95	66,30	65,78	66,01	0,1412	0,0706	65,4661	0,2951
3	15	60,19	61,43	61,36	60,99	0,9758	0,4879	62,7288	3,0168
4	10	63,32	63,22	64,40	63,65	0,8476	0,4238	61,9087	3,0168
5	3	60,86	59,73	60,31	60,30	0,6466	0,3233	60,2971	0,0000
6	5	62,22	61,11	61,68	61,67	0,6152	0,3076	61,6710	0,0000
7	2	68,35	67,95	68,32	68,21	0,0992	0,0496	65,9285	5,1849
8	6	63,34	62,13	62,18	62,55	0,9468	0,4734	64,8247	5,1849
9	7	63,64	64,04	63,82	63,83	0,0782	0,0391	63,2917	0,2918
10	11	64,71	65,17	64,95	64,95	0,1032	0,0516	65,4857	0,2918
11	4	62,80	61,85	62,85	62,50	0,6290	0,3145	64,2313	3,0063
12	12	64,91	66,25	65,89	65,68	0,9604	0,4802	63,9476	3,0063
13	1	67,52	67,28	67,80	67,53	0,1371	0,0685	67,53	0,0747
14	13	69,10	68,16	68,52	68,59	0,4483	0,2241	68,59	0,6225
15	8	67,70	67,08	67,09	67,29	0,2504	0,1252	67,29	0,2658

Таблиця В.6 – Результати статистичної обробки рівнянь регресій

№ п/п	Позначення	Питома енергія E, Вт·год/кг	Пропускна здатність P, г/хв	Маса сход з сита Ø2,5 М, г
1	S_y^2	0,0012	0,4144	0,4816
2	S	0,0345	0,6437	0,6939
3	$S_{ад}^2$	0,0014	0,3552	0,3612
4	F _{расч.}	1,2000	0,8571	0,7500
5	F _{табл.}	2,1200	2,1200	2,1200
6	$\sum S_u^2$	0,0171	0,5565	3,4423
7	$S_{умах}^2$	0,0037	0,1557	0,4879
8	G _{расч.}	0,2170	0,2797	0,1417
9	G _{табл.}	0,3346	0,3346	0,3346
10	t _{мах}	1,9139	0,6246	1,1611
11	t _{ст}	4,3027	4,3027	4,3027

Таблиця В.7 – Коефіцієнти регресії і їх значущість

Y_E										
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
b_i	0,9229	0,0777	-0,0806	0,0422	0,5984	0,4021	-0,1028	0,8011	0,6827	0,3924
tS_{b_i}	0,0407	0,0249	0,0249	0,0249	0,0352	0,0352	0,0352	0,0466	0,0466	0,0466
b^*	0,9229	0,0777	-0,0806	0,0422	0,5984	0,4021	-0,1028	0,8011	0,6827	0,3924
Y_P										
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
b_i	27,7979	0,3761	0,6895	0,1743	1,4881	2,5173	5,3235	-5,2687	-3,4282	-1,4029
tS_{b_i}	0,7590	0,4648	0,4648	0,4648	0,6573	0,6573	0,6573	0,8695	0,8695	0,8695
b^*	27,7979	0,0000	0,6895	0,0000	1,4881	2,5173	5,3235	-5,2687	-3,4282	-1,4029
Y_M										
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
b_i	67,8054	-0,0675	-0,4776	-0,6194	1,3011	-2,1963	0,1496	-2,6221	-1,5634	-2,0029
tS_{b_i}	0,8182	0,6252	0,6252	0,6252	0,7086	0,7086	0,7086	0,9374	0,9374	0,9374
b^*	67,8054	0,0000	0,0000	0,0000	1,3011	-2,1963	0,7150	-2,6221	-1,5634	-2,0029

Таблиця В.8 – Значення констант в формулах для обчислення коефіцієнтів регресії і дисперсій для трьох факторів

A	B	B_1	C	D	p
1/8	1/4	13/48	-1/16	1/4	2

Таблиця В.9 – Результати дослідів по визначенню потужності N , кВт

№	n , об/хв	Q , Г/хв	h , мм	N_1	N_2	N_3	$\sum N/3$
14	500	60	0,3	76,50	78,20	78,40	77,70
9	500	30	0,3	47,30	49,10	47,90	48,10
15	200	60	0,3	32,40	34,50	33,00	33,30
10	200	30	0,3	30,80	27,60	30,40	29,60
3	500	45	0,5	54,10	56,80	55,60	55,50
5	500	45	0,1	62,50	63,40	62,80	62,90
2	200	45	0,5	30,04	28,10	30,66	29,60
6	200	45	0,1	33,70	32,60	33,60	33,30
7	350	60	0,5	47,50	48,40	48,40	48,10
11	350	60	0,1	57,90	62,50	57,20	59,20
4	350	30	0,5	30,70	28,70	29,40	29,60
12	350	30	0,1	42,60	46,20	44,40	44,40
1	350	45	0,3	27,30	24,80	24,49	25,53
13	350	45	0,3	26,60	24,10	24,78	25,16
8	350	45	0,3	24,80	26,70	26,20	25,90

Таблиця В.10 – Результати канонічних перетворень рівнянь регресій

№ п/п	Параметри оптимізації	Координати нового центру, S			Знач. параметра опт.	Кут пов. осей	Значення коефіцієнтів			
		x_1	x_2	x_3			Y	φ	B^3	B^2
1	E , Вт-год/кг	-0,09	0,10	0,00	0,92	30,39	1,00	-1,88	1,18	-0,12
2	P , г/хв.	-0,07	-0,09	-0,22	27,77	26,56	1,00	10,10	35,85	-32,14
3	M , г	0,00	0,00	0,00	67,81	18,12	1,00	6,19	16,5	2,97

Таблиця В.11 – Результати канонічних перетворень рівнянь регресій для двомірних перетинів поверхонь відгуків

	Параметри оптимізації	Не відомі рівнян	Коефіцієнти рівняння		Координати нового центру, S			Знач. Параметра опт. в точці S	Значення факторів в центрі S			Кут пов. осей в центрі S $\varphi, ^\circ$
			B_1	B_2	x_{s1}	x_{s2}	x_{s3}		n , об/хв	Q , г/хв.	h , мм	
1	E , Вт-год/кг	$x_1=0$	0,64	0,43		-0,11	-0,08	0,94		43,41	0,19	-10
		$x_2=0$	0,80	0,39	0,09		-0,02	0,93	363,29		0,20	22
		$x_3=0$	0,89	0,60	0,54	0,59		1,57	430,48	53,82		19
2	P , г/хв.	$x_1=0$	-0,47	-4,36		0,04	-0,16	27,75		45,62	0,27	-34
		$x_2=0$	-5,64	-1,29	0,00		0,00	27,80	350,00		0,30	-16
		$x_3=0$	-5,31	-3,39	-0,06	0,23		27,73	317,63	58,75		-20
3	M , г	$x_1=0$	-2,21	-1,88		0,00	0,00	68,10		45,00	0,20	10
		$x_2=0$	-1,20	-3,21	0,00		0,00	68,10	350,00		0,30	37
		$x_3=0$	-3,19	-1,59	0,00	0,00		68,10	350,00	45,00		-20

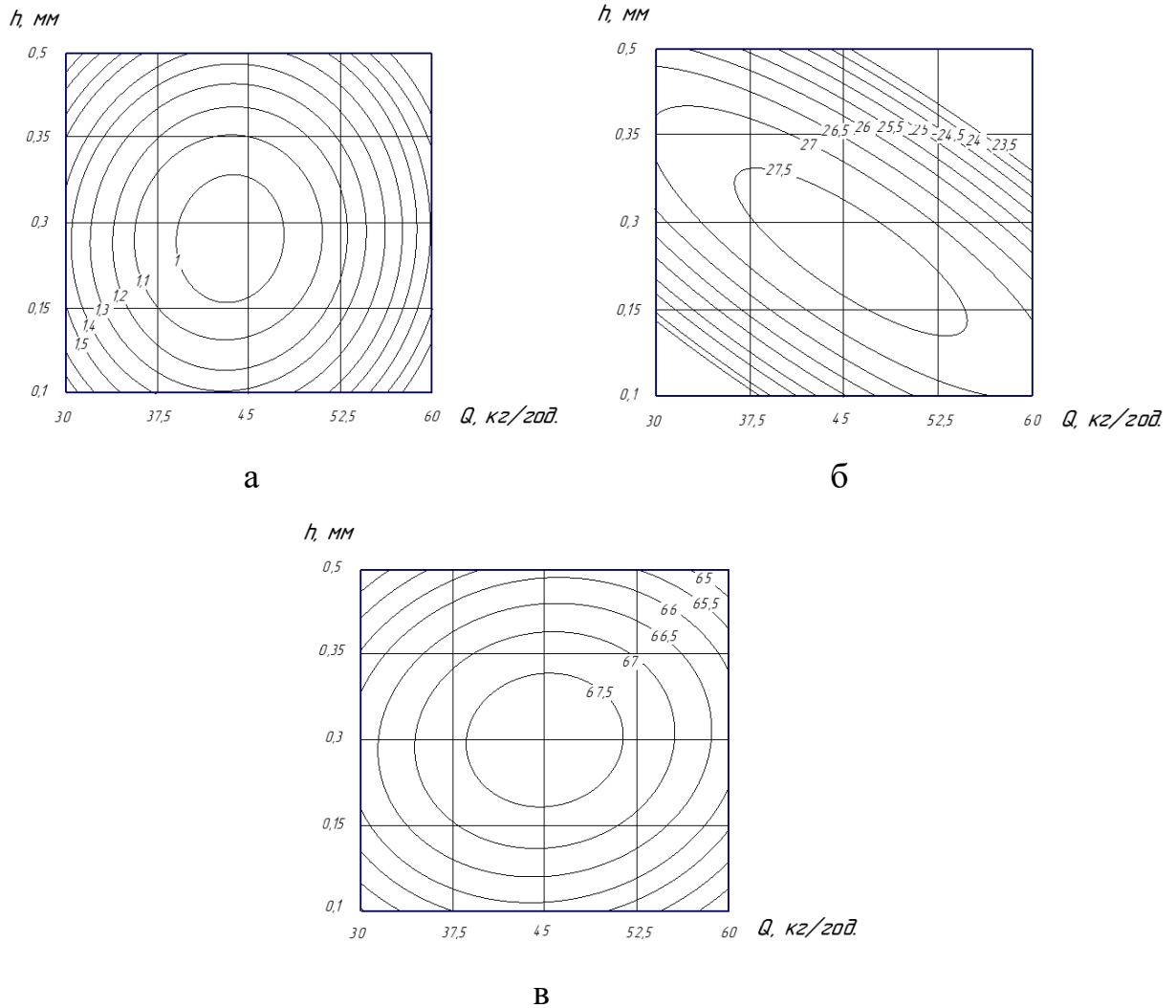


Рисунок Г.1 – Двовимірні перетину поверхонь відгуку, що характеризують вплив подачі зерна Q кг/год. (фактор x_2) і зазору між дисками h мм (фактор x_3) на: а – питомі енерговитрати E кВт·год./кг; б – пропускну здатність P кг/год.; в – відсоток маси залишку на ситі $\Phi 2,5$ мм M (%)

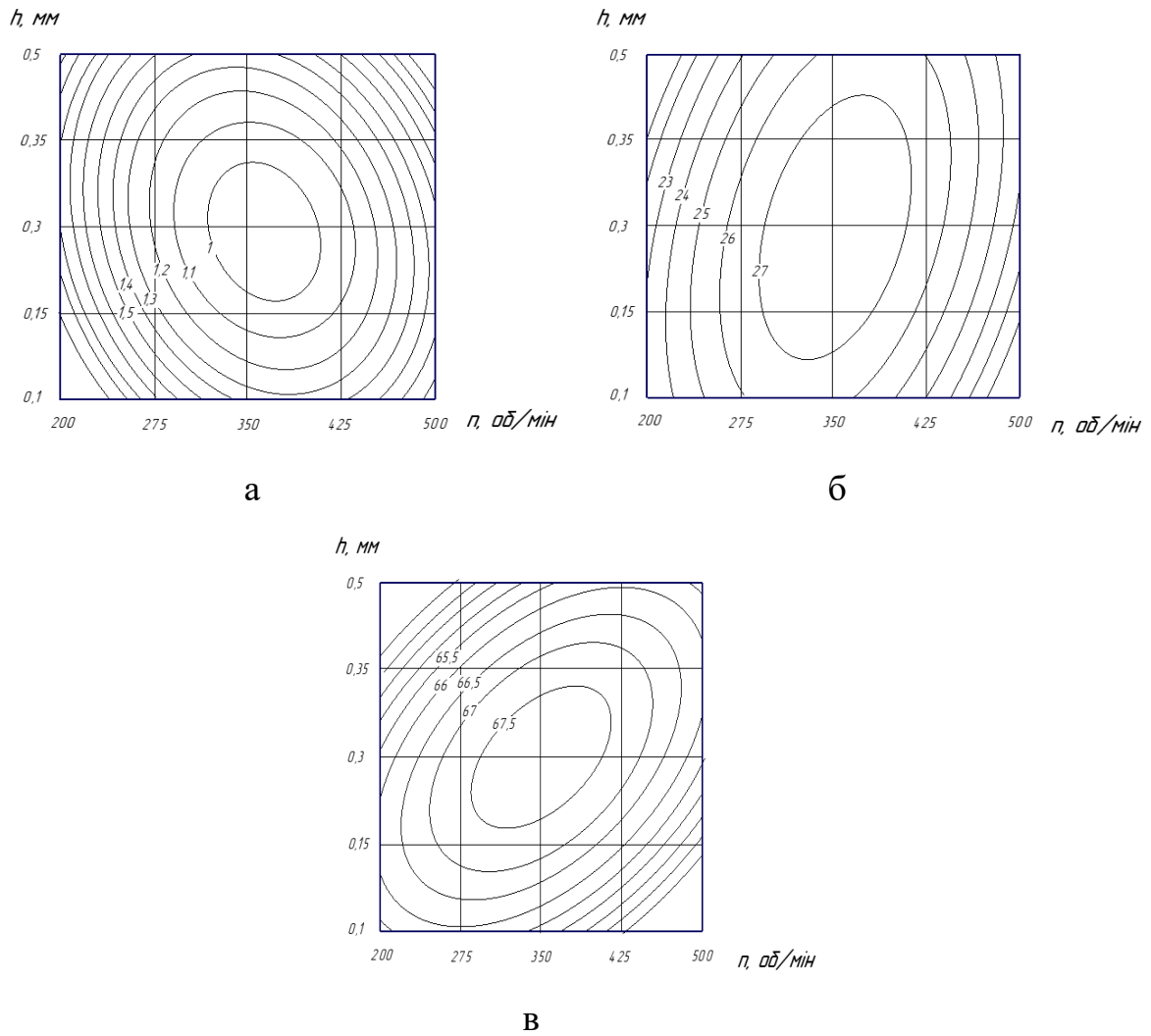


Рисунок Г.2 – Двовимірні перетину поверхонь відгуку, що характеризують вплив частоти обертання n об/хв. (фактор x_1) і зазору між дисками h мм (фактор x_3) на: а – питомі енерговитрати E кВт·год./кг; б – пропускну здатність P кг/год.; в – відсоток продукту залишком на сіте $\varnothing 2,5 M$ (%)

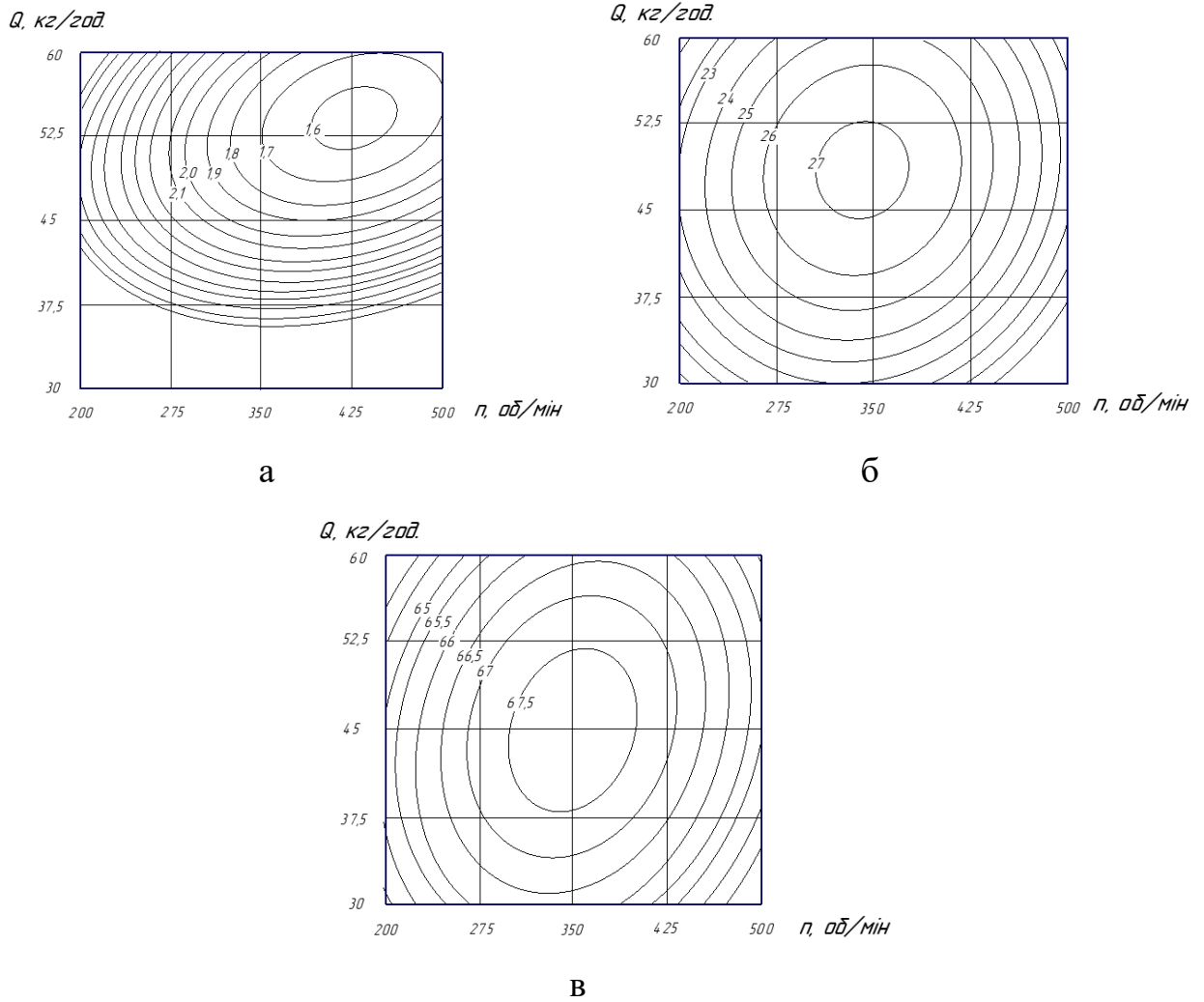


Рисунок Г.3 – Двовимірні перетину поверхонь відгуку, що характеризують вплив частоти обертання n об/хв. (фактор x_1) і подачі зерна Q кг/год. (фактор x_2) на: а – питомі енерговитрати E кВт·год./кг; б – пропускну здатність P кг/год.; в – відсоток продукту залишком на сіте $\Phi 2,5 M$ (%)

УЗГОДЖЕНО

Проректор з наукової роботи
Харківського національного
технічного університету сільського
господарства ім. Петра Василенка
д. т. н., професор

 В. І. Мельник

« 30 » листопада 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Харківського
національного технічного
університету сільського
господарства ім. Петра Василенка
к. т. н., професор

 О. В. Нанка

« 30 » листопада 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських і
технологічних робіт у навчальний процес вищих навчальних закладів

Замовник Харківський національний технічний університет сільського
господарства ім. Петра Василенка
найменування організації
ректор ХНТУСГ ім. П. Василенка к. т. н. проф. Нанка О.В.
П.І.Б. керівника підприємства

Дійсним актом підтверджується, що результати науково-дослідної роботи
«Обґрунтування параметрів робочих органів дискового здрібнювача зерна пшениці»
найменування теми, № держ. реєстрації

виконаної на кафедрі обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв
найменування кафедри

виконуваної з 01.10.2019 по 30.10.2020 року
терміни виконання

впроваджені в навчальний процес на кафедрі обладнання та інжинірингу переробних і
харчових виробництв

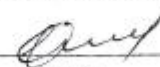
1. Вид впроваджених результатів: Лабораторно-практична робота
2. Форма впровадження: Методичні вказівки до лабораторно-практичної роботи «Устрій та принцип роботи лабораторного вертикально-роторного здрібнювача зерна і харчових продуктів»
3. Новизна результатів науково-дослідних робіт: якісно нове
4. Перелік курсів та дисциплін, в рамках яких викладені результати НДР: дисципліна «Інженерія переробних і харчових виробництв» для студентів ННІ ПХВ спеціальності 133 Галузеве машинобудування. Лабораторна робота.
5. Впроваджені: в навчальний процес ХНТУСГ ім. П. Василенка
6. Соціальний і науковий ефект: підвищення якості навчання. Визначення параметрів роботи вертикально-роторного здрібнювача зерна і харчових продуктів

Керівник НДР

 О.В.Богомолов
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 30 » листопада 2020 р.

Відповідальний за впровадження

 В.І.Ірклієнко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 30 » листопада 2020 р.

УЗГОДЖЕНО
Проректор з наукової роботи
Харківського національного
технічного університету сільського
господарства ім. Петра Василенка
д. т. н., професор

 В. І. Мельник

« » 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Ректор Харківського
національного технічного
університету сільського
господарства ім. Петра Василенка
к. т. н., професор

 О. В. Нанка

« » 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських і
технологічних робіт у навчальний процес вищих навчальних закладів

Замовник Харківський національний технічний університет сільського
господарства ім. Петра Василенка
найменування організації
ректор ХНТУСГ ім. П. Василенка к. т. н. проф. Нанка О.В.
П.І.Б. керівника підприємства

Дійсним актом підтверджується, що результати науково-дослідної роботи
«Обґрунтування параметрів робочих органів дискового здрибнювача зерна пшениці»
найменування теми, № держ. реєстрації

виконаної на кафедрі обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв
найменування кафедри

виконуваної з 01.10.2019 по 30.10.2020 року
терміни виконання

впроваджені в навчальний процес на кафедрі обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв

- Вид впроваджених результатів:** Лабораторно-практична робота
- Форма впровадження:** Методичні вказівки до лабораторно-практичної роботи «Устрій та принцип роботи лабораторної вертикально-роторної машини для виробництва борошна
- Новизна результатів науково-дослідних робіт:** якісно нове
- Перелік курсів та дисциплін, в рамках яких викладені результати НДР:** дисципліна «Інженерія переробних і харчових виробництв» для студентів ННІ ПХВ спеціальності 133 Галузеве машинобудування. Лабораторна робота.
- Впроваджені:** в навчальний процес ХНТУСГ ім. П. Василенка
- Соціальний і науковий ефект:** підвищення якості навчання. Визначення параметрів роботи вертикально-роторної машини для виробництва борошна

Керівник НДР

 О.В.Богомолов
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 30 » лютого 2020 р.

Відповідальний за впровадження

 В.І.Ірклієнко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 30 » лютого 2020 р.

УЗГОДЖЕНО
Проректор з наукової роботи
Харківського національного
технічного університету сільськогосподарства ім. Петра Василенка
д. т. н., професор


_____ В. І. Мельник

« ____ » _____ 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Ректор Харківського
національного технічного
університету сільськогосподарства ім. Петра Василенка
к. т. н., професор


_____ О. В. Нанка

« ____ » _____ 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських і технологічних робіт у навчальний процес вищих навчальних закладів

Замовник Харківський національний технічний університет сільськогосподарства ім. Петра Василенка
найменування організації
ректор ХНТУСГ ім. П. Василенка к. т. н. проф. Нанка О.В.
П.І.Б. керівника підприємства

Дійсним актом підтверджується, що результати науково-дослідної роботи
«Обґрунтування параметрів робочих органів дискового здрібнювача зерна пшениці»
найменування теми, № держ. реєстрації

виконаної на кафедрі обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв
найменування кафедри

виконуваної з 01.10.2019 по 30.10.2020 року
терміни виконання

впроваджені в навчальний процес на кафедрі обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв

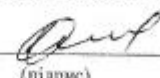
- 1. Вид впроваджених результатів:** Лабораторно-практична робота
- 2. Форма впровадження:** Методичні вказівки до лабораторно-практичної роботи «Устрій та принцип роботи циліндричного сепаратора»
- 3. Новизна результатів науково-дослідних робіт:** якісно нове
- 4. Перелік курсів та дисциплін, в рамках яких викладені результати НДР:**
дисципліна «Інженерія переробних і харчових виробництв» для студентів ННІ ПХВ спеціальності 133 Галузеве машинобудування. Лабораторна робота.
- 5. Впроваджені:** в навчальний процес ХНТУСГ ім. П. Василенка
- 6. Соціальний і науковий ефект:** підвищення якості навчання. Визначення параметрів роботи циліндричного сепаратора

Керівник НДР


_____ О.В.Богомолів
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 30 » листопада _____ 2020 р.

Відповідальний за впровадження


_____ В.І.Ірклієнко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 30 » листопада _____ 2020 р.

УЗГОДЖЕНО
Проректор з наукової роботи
Харківського національного
технічного університету сільського
господарства ім. Петра Василенка
д. т. н., професор

 В. І. Мельник

« » _____ 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Ректор Харківського
національного технічного
університету сільського
господарства ім. Петра Василенка
к. т. н., професор

 О. В. Нанка

« » _____ 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських і
технологічних робіт у навчальний процес вищих навчальних закладів

Замовник Харківський національний технічний університет сільського
господарства ім. Петра Василенка
найменування організації
ректор ХНТУСГ ім. П. Василенка к. т. н. проф. Нанка О.В.
П.І.Б. керівника підприємства

Дійсним актом підтверджується, що результати науково-дослідної роботи
«Обґрунтування параметрів робочих органів дискового здрибнювача зерна пшениці»
найменування теми, № держ. реєстрації

виконаної на кафедрі обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв
найменування кафедри

виконуваної з 01.10.2019 по 30.10.2020 року
терміни виконання

впроваджені в навчальний процес на кафедрі обладнання та інжинірингу переробних і
харчових виробництв

1. Вид впроваджених результатів: Лабораторно-практична робота
2. Форма впровадження: Методичні вказівки до лабораторно-практичної роботи «Устрій та
принцип роботи лабораторного пневмосепаратора»
3. Новизна результатів науково-дослідних робіт: якісно нове
4. Перелік курсів та дисциплін, в рамках яких викладені результати НДР: дисципліна «Інженерія переробних і харчових виробництв» для студентів ННІ ПХВ спеціальності 133
Галузеве машинобудування. Лабораторна робота.
5. Впроваджені: в навчальний процес ХНТУСГ ім. П. Василенка
6. Соціальний і науковий ефект: підвищення якості навчання. Визначення параметрів роботи
лабораторного пневмосепаратора

Керівник НДР

(підпис) О.В.Богомолів
(ініціали, прізвище)


« » лютий 2020 р.

Відповідальний за впровадження

(підпис) В.І.Ірклієнко
(ініціали, прізвище)

« » лютий 2020 р.

УЗГОДЖЕНО
 Проректор з наукової роботи
 Харківського національного
 технічного університету сільського
 господарства ім. Петра Василенка
 д. т. н., професор

 В. І. Мельник

« ___ » _____ 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Ректор Харківського
 національного технічного
 університету сільського
 господарства ім. Петра Василенка
 к. т. н., професор

 О. В. Нанка

« ___ » _____ 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських і
 технологічних робіт у навчальний процес вищих навчальних закладів

Замовник Харківський національний технічний університет сільського
господарства ім. Петра Василенка
 найменування організації
ректор ХНТУСГ ім. П. Василенка к. т. н. проф. Нанка О.В.
 П.І.Б. керівника підприємства

Дійсним актом підтверджується, що результати науково-дослідної роботи
«Обґрунтування параметрів робочих органів дискового здрибнювача зерна пшениці»
 найменування теми, № держ. реєстрації

виконаної на кафедрі обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв
 найменування кафедри

виконуваної з 01.10.2019 по 30.10.2020 року
 терміни виконання

впроваджені в навчальний процес на кафедрі обладнання та інжинірингу переробних і
харчових виробництв

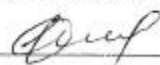
1. Вид впроваджених результатів: Лабораторно-практична робота
2. Форма впровадження: Методичні вказівки до лабораторно-практичної роботи «Устрій та принцип роботи шелушильно-шліфувальної машини»
3. Новизна результатів науково-дослідних робіт: якісно нове
4. Перелік курсів та дисциплін, в рамках яких викладені результати НДР: дисципліна «Інженерія переробних і харчових виробництв» для студентів ННІ ПХВ спеціальності 133 Галузеве машинобудування. Лабораторна робота.
5. Впроваджені: в навчальний процес ХНТУСГ ім. П. Василенка
6. Соціальний і науковий ефект: підвищення якості навчання. Визначення параметрів роботи шелушильно-шліфувальної машини

Керівник НДР

 О.В.Богомолов
 (підпис) (ініціали, прізвище)

« 30 » листопада 2020 р.

Відповідальний за впровадження

 В.І.Ірклієнко
 (підпис) (ініціали, прізвище)

« 30 » листопада 2020 р.



УКРАЇНА

(19) UA

ДЕРЖПАТЕНТ

(11) 25482 A

(51) B 02B 3/02,
B02C 7/08

ПАТЕНТ на винахід

заресстровано відповідно
до Постанови Верховної Ради України
від 23 грудня 1993 року № 3769-XII



Голова Держпатенту України

В. Петров

(21) 97115345

(22) 04.11.97

(24) 30.10.98

(47) 30.10.98

(72) Ірклієнко Віктор Іванович, Єсіпов Олександр Іванович

(73) Ірклієнко Віктор Іванович, UA

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЛУЩЕННЯ ЗЕРНА

ОКП 514265

Група 67.260 Г-73

Согласовано

Директор НПП "ПОЛАГРОТЕХ"



И. А. Мочалов

1998 г.

Утверждаю

Директор НПП "АГРОТЕХ" ООО



В. И. Иркиенко

1998 г.

Машина борознякова ММ - I 20

Машина мукомольная ММ - 1 - 20

Технические условия
ТУУ 25184834 001 - 98
(вводится впервые)

Срок введения с 11.12 1998г.
Без ограничения срока действия

Согласовано

главный санитарный врач
Харьковской области



1998 г.

Разработано

Главный конструктор
НПП "АГРОТЕХ"

В. И. Иркиенко

1998 г.

Согласовано

Начальник
Восточного экспертно-технического
центра ГОСНАДЗОРХВАНТРУДА



В. С. Слыш

1998 г.

ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ
Харківський державний центр
стандартизації, метрології
та сертифікації
Зареєстровано 11.12.1998 р.
В книзі об'єкту за № 100/006217

1998 г.

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
РЕКТОР ХНТУСГ ім. П. Василенка
Напка С.В.



" 31 " 12 2019 г.

М.П.

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
ДИРЕКТОР СФГ «Калина»
Кулінічев О.О.



" 31 " 12 2019 г.

М.П.

А К Т

про впровадження закінченої науково - дослідної, дослідно-конструкторської роботи (потрібне підкреслити)

Ми що нижче підписалися, представник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка в особі керівника науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи, доктора техн. наук, проф. Богомолова О. В. представник СФГ «Калина»

в особі Куліничева А.А

(найменування організації, підприємства)

склали цей акт про те, що результати науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи на тему: Обґрунтування конструктивних параметрів дискового здрібнювача

виконаної кафедрою (лабораторією) «Обладнання та інжиніринг переробних і харчових виробництв»

в період з 03.01.2019 по 31.12.2019 впроваджені
в СФГ «Калина»

(підприємство, організація)

шляхом використання дослідного зразка дискового здрібнювача для виробництва крупи нового типу

(вказати, в чому виражається впровадження)

з впровадженням винаходу по а-с № деклараційний патент на винахід №25482 А

Впровадження результатів досліджень дало можливість підприємству (організації) отримати наступний техніко-економічний ефект «Підвищити якість і вихід крупи і знизити енерговитрати на її виробництво». Економічний ефект від впровадження роботи склав 125

тис. гривень (сто двадцять п'ять).

Зауваження та пропозиції щодо подальшої роботи з впровадження Продовжити науково-дослідні роботи з удосконалення та розробці нових робочих органів для виробництва нової крупи. Підвищити продуктивність дискового здрібнювача.

Представник підприємства,
організації

Кулінічев А.А.



" 31 " 12 2019г.

Представник, науковий
керівник роботи

О.В. Богомолов



" 31 " 12 2019г.

Виконавці:



Ірклієнко В.І.



Богомолов О.В.

“УТВЕРЖДАЮ”

ДИРЕКТОР «Агротех ремонт»

Пасько В.А.



" 27 " 12 2018 г.

“УТВЕРЖДАЮ”

РЕКТОР ХНТУСХ ім. П. Василенко

Нанка А.В.



" 27 " 12 2018 г.

А К Т

о внедрении законченной научно - исследовательской, опытно-конструкторской работы (нужное подчеркнуть)

Мы нижеподписавшиеся, представитель Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко в лице руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы, доктора техн. наук, проф. Богомолова А. В.

и представитель «Агротех ремонт»

в лице Пасько В. А.

(наименование организации, предприятия)

составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы на тему: Обоснование конструктивных параметров крупорушки

выполненной кафедрой (лабораторией) «Оборудование и инжиниринг перерабатывающих и пищевых производств»

в период с 03.01.17 по 30.09.18 внедрены на «Агротех ремонт»

(предприятие, организация)

путем использования опытного образца крупорушки для производства крупы нового типа

(указать, в чем выражается внедрение)

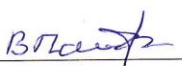
с внедрением изобретения по а-с № деклараційний патент на винахід № 25482 А

Внедрение результатов исследований дало возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект Повысить качество и выход крупы и снизить энергозатраты на ее производство. Экономический эффект от внедрения работы составил 112 тыс. гривен (сто двенадцать).

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению

Продолжить научно-исследовательские работы по совершенствованию и разработке новых рабочих органов для производства новой крупы. Повысить производительность крупорушки.

Представитель предприятия,
организации

Пасько В.А. 

Представитель, научный
руководитель работы

А.В. Богомолов 

" 27 " декабря_2019 г.

" 27 " декабря 2019 г.

Исполнители:



Иркиенко В.И.



Богомолов А.В.