

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технології та обладнання переробних і харчових виробництв

Пояснювальна записка
до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»

на тему: «Обґрунтування швидкості руху ковшового елеватора для зменшення
травмування зерна»

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «магістр»
208АІмз_2курса 2 групи
Шелудько С.А
Керівник: Арендаренко В.М.
Рецензент: Харак Р.М.

Полтава – 2021 року

РЕФЕРАТ

Основна частина кваліфікаційної роботи виконана на 70 сторінках пояснювальної записки і 8 фоліях, відображена у 7 таблицях та 22 рисунках.

Пояснювальна записка складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 40 найменувань та 2 додатків.

Тема кваліфікаційної роботи: «Розробка та дослідження гвинтового пристрою для завантаження зерна у силос».

Мета роботи – розробка пристрою для обережного завантаження зерна у силос на основі побудови, дослідження та обґрунтування моделі швидкості руху зерна у відкритому гвинтовому каналі із двома змінними кутами нахилу..

Об'єкт дослідження – шляхи травмування зерна, способи його усунення.

У першому розділі розглянуто існуючі технічні пристрої і засоби завантаження силосів зерновим матеріалом, а також наявні теоретичні аналітичні моделі та практичні дослідження.

В другому розділі досліджено та обґрунтовано вигляд та структуру теоретичної моделі швидкості руху зерна у відкритому гвинтовому каналі, знайдено співвідношення між кутами нахилу розгінної і гальмівної ділянок. Запропонована модель враховує радіус та висоту силоса, кути нахилу розгінної та гальмівної ділянок гвинтового жолоба, кількість витків спіралей, початкову швидкість, а також коефіцієнт тертя-ковзання зерна по поверхні жолоба.

У третьому розділі запропоновано технічний опис периферійного відкритого гвинтового завантажувального пристрою із змінними кутами нахилу розгінної і гальмівної ділянок. Співставлення теоретичних та експериментальних значень швидкості зерна вказує на прийнятно високий рівень точності розробленого експериментального зразка ПВГК.

У четвертому розділі представлена екологічна експертиза зерносховищ, розглянуті питання охорони праці, наведено заходи щодо їх покращення. Проведено техніко-економічне обґрунтування модернізації силосів.

Ключові слова: силос, зерно, травмування, модель, відкритий гвинтовий канал.

ВСТУП.

Пріоритетна роль зернового виробництва визначається його соціальною значимістю у вирішенні проблеми надійного забезпечення населення України продовольством. Мінімальна прогнозна потреба нашої країни у зерні до 2022 року становитиме 18 ...20 млн тон. Тому отримання насінневого, продовольчого та фуражного зерна, що відповідає певним вимогам, передбаченим стандартами, є основним завданням після збиральної обробки [60].

Одним із резервів збільшення виробництва зерна, а також продуктів його переробки є поліпшення товарних, технологічних та насінневих властивостей зерна пшениці. На сучасному етапі збирання зернових культур важко отримати якісне зерно через наявність макро- та мікроушкоджень зернівок, що утворюються при післязбиральній обробці врожаю. Механічне ушкодження зерна машинами негативно впливає як на насінневий матеріал, так і на продовольче зерно. Зернова маса, що має в своєму складі ту чи іншу кількість механічних пошкоджених зерен, менш стійка до зберігання, так як у пошкодженому зерні відбувається інтенсивне дихання, і воно більше виділяє тепла та вологи. Все це призводить до виникнення вогнищ самозігрівання, і якщо не вжити своєчасних заходів, то вся партія зерна може повністю стати непридатною до споживання. До того ж пошкоджене зерно піддається інтенсивному впливу хвороб (мікроорганізмів) та шкідників [51, 52, 56, 89, 96, 103].

Численними дослідженнями встановлено, що насіння, яке містить у собі високий відсоток травмованих зернівок, характеризується нестабільною схожістю. Цей показник є дуже важливим для сільськогосподарського виробництва і переробної галузі [16, 42, 48, 49, 77, 92, 100, 101, 107, 119, 124, 127]. У роботах Пугачова О.М., Тарасенко О.П., Чорного А.С. та інших встановлено, що 30...40% насіння зернових культур не дають сходів через мікроушкодження. При посіві травмованим насінням врожайність зерна ярої пшениці знижується на 1,9 ц, вівса - на 5,6 ц з гектара (додаток 1). За рахунок

наявності ушкодженого насіння у посівному матеріалі сільськогосподарські господарства України не добирають зернових культур щорічно близько 3 ц з одного гектара [43].

Результати досліджень у круп'яних, борошномельних, пивоварних (при виробництві солоду пророслих зерен має бути не менше 95%) та в інших галузях свідчать про великий вплив механічних мікроушкоджень на вихід готової продукції під час переробки зерна пшениці та інших культур.

Отже, усунення механічних пошкоджень зерна машинами є актуальним завдання сьогодення. Однак, незважаючи на це, зниженню механічних ушкоджень у виробничих умовах ще дуже мало приділяють уваги.

Вивчення травмування насіння в період його післязбиральної обробки частіше стосується дослідженню механічного впливу на цілісність насіння робочими органами окремих машин та механізмів.

В роботі вивчені фізико-механічні властивості насіння різних сортів пшениці та їх зміна у процесі транспортування машинами безперервноготранспорту; проведена оцінка якості насінневого матеріалу, котре бралось пристроєм для відбору проб зерна.

Розвиток техніки для післязбиральної обробки зерна в даний час обґрунтовано: інтенсивним зростанням технічного рівня машин, агрегатів та комплексів; появою принципово нових конструкцій; широким використанням модернізованих пристосувань до традиційного обладнання.

Водно час, як показує практика, зі зростанням рівня механізації, дуже низькою залишається ефективність використання наявного обладнання, яке впливає на характер ушкодження насіння. Тому застосування нових машин та технологій дозволить підвищити відсоток біологічно повноцінного насіння при післязбиральній обробці зерна.

Мета дослідження. Удосконалення технологічного процесу транспортування зерна шляхом зміни швидкості руху смуги ковшового елеватора для зниження травмування зерна.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес транспортування зернового матеріалу ковшовим елеватором.

Предмет дослідження. Закономірності взаємодії робочих органів ковшового елеватора із зерновим матеріалом.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз сучасного стану досліджень із травмування зерна транспортними машинами.
2. Дати характеристику причинно-наслідкових зв'язків травмування зерна у технологічному процесі його транспортування ковшовим елеватором,
3. Розробити модель, що описує процес механічного травмування зерна ковшем при завантаженні його та обґрунтувати рекомендації щодо зміни швидкості руху смуги ковшового елеватора, які спрямовані на зниження травмування зерна під час його транспортування.
4. Розробити методику та експериментальну установку, за допомогою якої можна проводити відбір проб зерна у ковшовому елеваторі.
5. Дати техніко-економічну оцінку результатів наукових досліджень.

1. СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Фізико - механічні властивості зерна с-г культур

Фізико-механічні властивості зерна сільськогосподарських культур не постійні і мають великий діапазон мінливості залежно від багатьох причин [17,31,57,75,105].

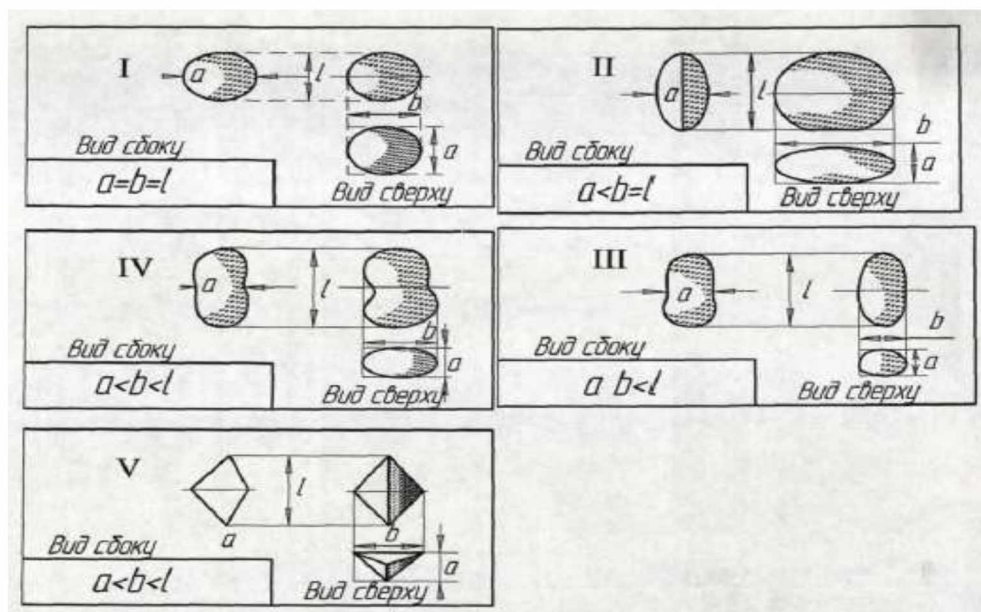
Фізико-механічні властивості зерна характеризуються досить великою кількістю показників. До таких показників відносяться форма насіння, абсолютна та питома вага, характер поверхні зернівки, гігроскопічність, пружність, склоподібність, щуплість та інше. Але не всі ці показники в однаковій мірі впливають на механічні ушкодження зерна.

На механічні ушкодження зерна найбільший вплив чинять такі показники як форма зерна, щуплість, вологість його, стан поверхні, розмірні (лінійні та вагові) показники, склоподібність. На ушкодження зерна робочими органами машин впливають фізичні властивості зернової маси. До цих властивостей відносяться гігроскопічність, вирівняність зерна, сипкість та теплові властивості (тепломісткість, теплопровідність тощо). Зерно є дуже складною біологічною системою. Складові такої системи мають різні механічні властивості, тобто здатністю учиняти опір руйнуванню з синхронною зміною форми [79].

Форма і стан поверхні зерна бувають найрізноманітнішими. Це залежить від виду і сорту культури [72]. Але навіть у межах одного виду, сорту форма і поверхня зернівок можуть значно відрізнятися в залежності від умов розвитку та інших факторів. Існує багато класифікацій зерна за його формою, але в основному дослідники використовують тип і форму насіння за Н.М. Ульріха [99]. На рис. 1.1, зображені п'ять загальних типів, які характеризують геометричну форму зерна. Перша форма - куляста, (довжина, ширина та товщина зерна практично рівні або відрізняються дуже незначно). До такого зерна відносяться горох, просо, сорго і т.д.; Друга форма - чечевице подібна,

коли ширина дорівнює довжині при значно меншій товщині (наприклад, чечевиця). Третя форма - еліптична, коли товщина дорівнює ширині при значно більшій довжині (соє та інше насіння бобових рослин). Четверта форма - подовжена, коли всі три розміри відмінні один від одного (пшениця, жито, ячмінь, кукурудза і т.д.). П'ята форма - трикутна, коли всі три розміри рівні або відмінні один від одного, але розташування площин має бути трикутним (гречка).

Поверхня зерна може бути гладкою і глянцевою, горбкуватою і зморшкуватою, ребристою та шорсткою і т.д. Ці властивості зерна дуже впливають на його транспортування, очищення та сортування. На механічну дію робочих органів машин на зерно вказані властивості діють на пряму.



I – кулеподібні; II – чечеподібні; III – еліптичні; IV – подовжені; V – трикутні; a – товщина насіння (найменший розмір); b – ширина; l – довжина.

Рисунок 1.1 - Типи насіння по формі по Н.Н. Ульріху [99].

Під впливом зовнішніх умов та властивостей самої рослини поверхня зерна може змінюватись. Від зовнішніх умов змінюється і крупність зерна. Розмір зерна різних культур дуже розмаїтий. Коливання розмірів зерна посилюються під впливом індивідуальних особливостей кожної окремої рослини. На розміри зерна також впливають зовнішні умови в яких проростає

рослина. Лінійними вимірами (довжина, ширина, товщина) визначається розмір зерна.

Вологість чинить вплив на геометричні розміри зерна, які змінюються у неоднаковій мірою. При підвищеній вологості дуже збільшується ширина (на 108%), товщина (на 62%). При цьому найбільш стійкою до підвищеної вологості є довжина (на 5,2%). При цьому відомо, що мікроушкодження вологого зерна набагато більше, ніж сухого. Мікроушкодження зерна приводить до зміни розміру зародка, а ще в свою чергу сприяє збільшенню ушкоджень зародка.

Найбільш стабільним показником у межах сорту є маса 1000 зерен. Вона характеризується вирівняністю. Вирівняність зерна - ступінь однорідності самостійних зерен, що являють собою зернову масу за тією чи іншою ознакою. На практиці при очищенні та транспортування зерна вирівняність оцінюється за вологістю та розмірам. Під час переробки Вирівняне зерно під час переробки поліпшує процес транспортування та очищення зернової маси.

За даними О.М. Семенова [86], найбільша вирівняність зерна досягається по товщині і ширині. В залежності від культури і сорту вона може змінюватись від 75 до 80%. По довжині вирівняність може бути значно нижчою і коливатись від 19 до 80%.

Важливим фактором, що визначає якість насінневого матеріалу, є його вологість. При дослідженні зерна було встановлено, що зміна вологості у бік зниження чи збільшення супроводжується різким травмуванням зерна. При зниженні вологості відбувається зменшення опірності зерна ударним навантаженням. В другому випадку – за рахунок зниження покривних тканин зернівок.

Вміст вологи в зерні відіграє важливу роль у технологічному процесі вантажних операцій. Всі зерна мають певну гігроскопічність. Характерною особливістю свіжо зібраного зерна – значна нерівномірність по вологості окремих зерен. Це пояснюється різним терміном дозрівання зерна у колосі.

По даним досліджень приведених [90], у партії зерна пшениці вологістю 17,7% коливання вологості між окремими зернівкам знаходилась в межах від 14% до 24%.

Таким чином при конструюванні транспортних та очисних машин, встановлені необхідних регулювань та їх режимів роботи необхідно враховувати фізико-механічні властивості насіння [39, 41].

1.2 Стійкість зерна до механічних навантажень

При взаємодії зерна з робочими органами машини на нього діють різноманітні механічні зусилля: статичні, вони плавно зростають; динамічні, ці навантаження виражається ударами; знакозмінні, вони змінюються за величиною або за величиною та напрямом сили тертя.

Кількість механічно ушкодженого зерна робочими органами машинами – результат дії багатьох факторів. На рис. 1.2 приведена схема взаємодії факторів, які на пряму впливають на травмування насіння у зерновій масі.

Головними факторами, які суттєво впливають на кількість механічно травмованого зерна машинами є його природна міцність та дія на зерно робочих органів машини.

Численні дослідження зерна різних культур і сортів показують, що природна механічна міцність зерна коливається у дуже широких межах. Механічна міцність зерна залежить від культури, сорту, вологості зерна та його розміру, виду механічного зусилля (удар, стиск, зсув, тертя), положенням зерна, виду матеріалу, з якого виготовлені робочі органи машини. Тому, для одного і того ж робочого органу при однакових навантаженнях можна отримати різну оцінку з якості роботи машини і вона буде залежати від фізико-механічні властивості зерна [11, 14, 19, 84, 88].



Рисунок 1. 2 - Схема взаємодії факторів які впливають на ушкодження насіння у зерновій масі

Дослідження руйнівних сил під час транспортування зерна є основним завданням науковців, які ставлять перед собою завдання - пошук раціональних методів транспортування. До цих завдань відноситься і швидкість робочих органів транспортуючих машин, при якій все зерно можна транспортувати без механічних ушкоджень.

Більшість досліджень було проведено на стійкість зерна проти статичних навантажень на пресах різних конструкцій [18, 32, 59, 63, 98, 116, 126]. Деякі дослідники додатково з'ясовували величину руйнівних сил зсуву, сколювання та вигину в окремих зерен. Деформацію стиснення зерна при статичних та динамічних (ударних) навантаженнях досліджувала А. А. Шполянська [121].

Міцність зерна різна і коливається в широких межах. Вона залежно від культури та особливо від сорту зерна. Вченими встановлено, що дроблення зменшується зі зменшенням розмірів зернівки, дрібне зерно дробиться за великих швидкостей і навпаки.

Дослідженнями встановлено, що для зерна кожної культури та кожного сорту є своя мінімальна швидкість удару, при якій може іде руйнація зерна (поява тріщин). За ступенем міцності зерна можна виділити кілька груп, у кожній групі будуть різні сорти з різноманітною морфологічною будовою.

Подальші дослідження механічної міцності повинні бути направлені на виявлені впливу анатомо - морфологічних особливостей зерна на його стійкість проти різних механічних навантажень.

Відомо, що кількість механічно пошкодженого насіння зростає при багаторазовій ударній дії на нього робочими органами транспортних машин..

1.2 Класифікація та методи визначення механічних пошкоджень зернівок

Класифікацію механічних пошкоджень зерна робочими органами транспортних машин розробив Ульріх Н.М. [99]. Він усі пошкодження розділив на дві великі групи: мікроушкодження та макроушкодження. Загальну класифікацію механічних пошкоджень зерна, але з різних причин, запропонував І.Г. Строна [93]. На рис. 1.3 наведена класифікація механічних ушкоджень зерна зернових колосових культур. дана класифікація основана на зміні фізико-механічних властивостей зерна і відображає всі існуючі види ушкодження зерна.



Рисунок 1.3 – Класифікація механічних ушкоджень зерна транспортерами

Між макроушкодженнями та мікроушкодженнями зерна існує різка відмінність. Природа цих відмінностей полягає в тому, що подрібнені (вздовж або поперек), роздавлені або сплющені та обвалені зерна за своїми фізико-механічними показниками (розміром, масою, формою) та аеродинамічними показниками суттєво відрізняються від цілих. Як правило більшість таких пошкоджених зерен легко можна відокремити на зерноочисних та сортувальних машинах. В свою чергу мікро-пошкоджені зерна не мають подібних відмінностей. Тому їх не можна відділити від неушкоджених на існуючих, навіть найскладніших, зерноочисних та сортувальних машинах [12, 128].

Більшість науковців вказують на те, що для оцінки якості роботи будь яких машин та характеристики зернової маси необхідно визначати макро- та мікроушкодження зерна [8, 73, 108, 111]. При оцінці роботи нових сільськогосподарських машин в останні роки виробничники стали визначати, кількість механічних пошкоджень зерна комплексно [81, 82, 91]. Методи визначення їх кількості у насінневому матеріалі або зерновій масі дуже різноманітні. В даний час при визначенні ушкоджень зерна використовують кілька методів, які можна розділити на дві групи - прямі та непрямі. Макроушкодження визначають прямим або органолептичним (візуальним) методом. Мікроушкодження визначають прямим, непрямим або біологічним методами [61, 83, 95].

Сутність органолептичного або прямого методу полягає у визначенні кількості мікроушкодженого зерна. Для цього використовують лупу. При виявленні зерна із різними травмами їх виділяють. Деякі типи мікроушкоджень (повністю вибитий зародок, частково пошкоджений зародок, пошкоджений ендосперм) можуть бути встановлені неозброєним оком, а більш дрібні травми оболонок виявляються за допомогою лупи достатнього збільшення. Зважаючи на те, що найбільш незначні мікроушкодження зерна залишаються, як правило непоміченими навіть під лупою, а також з метою спрощення виявлення всіх ушкоджень оболонок використовують фарбування зерна та інші існуючі прийоми, котрі дозволяють встановити приховані мікропоушкодження - тріщини в ендоспермі.

За допомогою органолептичного методу дуже легко і швидко та з великою точністю можна визначити не лише загальну кількість мікроушкоджених зернівок, а й провести класифікацію їх за типами травм. За допомогою органолептичного методу не можна визначити загальну кількість внутрішніх прихованих ушкоджень. Тому вони виявляються науковцями і виробничниками лише непрямим шляхом, за величиною схожості насіння.

Суть біологічного чи непрямого методу полягає в тому, що про кількість мікроушкоджень судять за лабораторною або польовою схожістю зерна. Вада

цього методу полягає в тому, що він дає лише відносне значення про кількість мікроушкодженого зерна у зразку чи партії. Зниження схожості як відомо може бути викликано різними причинами (наявність без зародкових, недорозвинених, пошкоджених шкідниками або хворобами зерен, умовами пророщування і т.д.), а не лише механічними ушкодженнями. Такий метод не дозволяє установити види мікроушкоджень окремих зерен. До того ж визначення схожості потребує до 7...10 днів та спеціального лабораторного обладнання. Але цей метод поки залишається єдиним для виявлення прихованих внутрішніх ушкоджень травмованого робочими органами машин зерна.

Біологічний метод дає можливість встановити вплив різних типів мікроушкоджень на продуктивні та посівні якості зерна шляхом порівняльної оцінки енергії проростання, як у лабораторних так і в польових умовах. Відповідно до цілей та завдань у дослідженнях можуть бути використані прямі і непрямі методи визначення кількості механічно пошкоджених зерен або один із них.

Деякі науковці класифікують методи виявлення механічних пошкоджень зерна комплексно. З такою класифікацією методів виявлення механічних пошкоджень погодитися не можна. Тому що перші два методи – основані тільки на пошуках допоміжних або додаткових засобів виявлення механічних пошкоджень зерна, особливо мікроушкоджень.

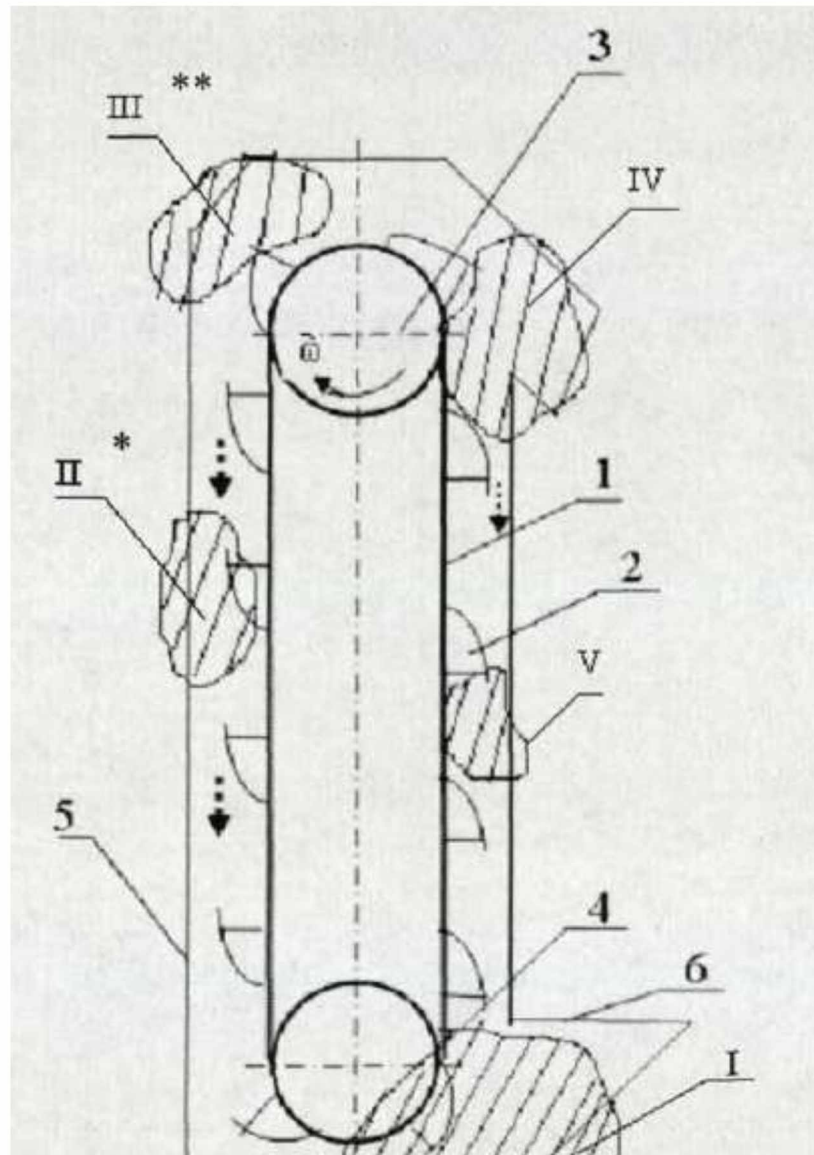
1.4 Дослідження травмування зерна у ковшових елеваторах

Відомо, що найбільше травмування зерна відбувається при його транспортуванні ковшовими елеваторами (норіями), до 12%. Численними дослідженнями встановлено, що величина травмування насіння залежить від конструктивних параметрів та режимів роботи норії, стану вихідного вороху, способу заповнення ковшів та «зворотного висипу» зернового матеріалу. Під час роботи ковшового елеватора спостерігаються: удар ковшів об зерно під час їх завантаженні в нижній головці, співудар із ковзанням об кожух норії у

верхній голівці та «зворотний висип» зерна в холосту і робочу ділянки В технологічній схемі роботи норії можна виділити п'ять характерних зон, у яких відбувається ушкодження зерна (рис. 1.4): I - башмак; II – робоча смуга норії; III - верхня головка норії у місці переходу ковшів з прямолінійного руху у криволінійний; IV - верхня головка норії у місці розвантаження ковшів; V – холоста смуга норії. У зоні I ступінь травмування зерна можна визначити, використовуючи моделювання травмування зерна ковшем норії в башмаку під час його завантаження. Ушкодження зерен у II та V зонах, в яких відбувається «зворотний висип» матеріалу, що переміщається, можливо визначити за допомогою пристрою активної дії для відбору проб зерна. Встановлення активного пробовідбірника робить норію «прозорою» і дає можливість брати проби у будь-якому місці робочої та холостої смуги норії, і таким чином оцінювати динаміку пошкодження зерна по всій висоті норії. Травмування у IV-й зоні можна довідатись, вивчивши зерно яке розвантажується норією. Для визначення відсотка травмування зернового матеріалу в III-ій зоні потрібно розробити окрему методику та дослідну установку, для відбору проб зерна в безперервному потоці, що рухається без порушення структури вихідного матеріалу. Вирішенню цього завдання і присвячено наша робота.

Зерно багатьох культур в процесі збирання, післязбиральної обробки та завантаження для зберігання зазнає впливу різних машин і механізмів, які в тій чи іншій мірі пошкоджують його. Особливо пошкоджується насінневий матеріал в силу того, що для його отримання необхідно застосовувати технології, що включають значне число операцій і машин по його подальшому транспортуванню та зберіганню.

Ступінь ушкодження насіння залежить від комплексу різних факторів: фізико-механічних і біологічних властивостей насіння; стану при збиранні та обробці; характеристик машин (конструкція, рівень виконання) і режимів їх роботи. Більшість факторів носить непостійний характер, через що змінюється і стійкість до механічних навантажень.



1 – тягова смуга; 2 – ківш; 3,4 – верхній і нижній барабани; 5 – кожух норії; 6 – завантажувальний лоток; I – башмак; II – робоча смуга норії; III – верхня головка норії у місці переходу ковша з прямолінійного руху у криволінійний; IV – верхня головка норії у місці розвантаження ковшів; V – холоста смуга норії; * - місце встановлення пристрою для активного відборі проб зерна; ** - місце встановлення пристрою пасивної дії для відбору проб зерна.

Рисунок 1.4 – Зони травмування зерна норією

Щоб визначити травмування зерна норіями пропонуємо використовувати спеціальні пристрої за допомогою яких можна провести правильний відбір проб зернового матеріалу . Недбалість і неточність при відборі проб зерна може привести до помилок і фінансових втрат. Методи відбору проб можуть бути

корисні виробникам, посередникам та споживачам сільськогосподарської зернової продукції. Для відбору проб використовуються спеціальні пристрої (пробовідбірники).

Усі існуючі пробовідбірники пропонуємо розділити за таким ознаками:

1. *за ознакою мобільності* - переносні, стаціонарні, мобільні, та комбіновані;

2. *за функцією керуючого пристрою* - активні, пасивні;

3. *за періодичністю відбору проб* - разовий, періодичний (вибірковий), систематичний (постійний);

4. *за кількістю відібраної порції проби* - регульоване, нерегульоване, постійне;

5. *за кількістю разового відбору порції проби* - одинична, множина;

6. *за приводом пробовідбірника* - ручний, механічний, електричний, гідравлічний, пневматичний;

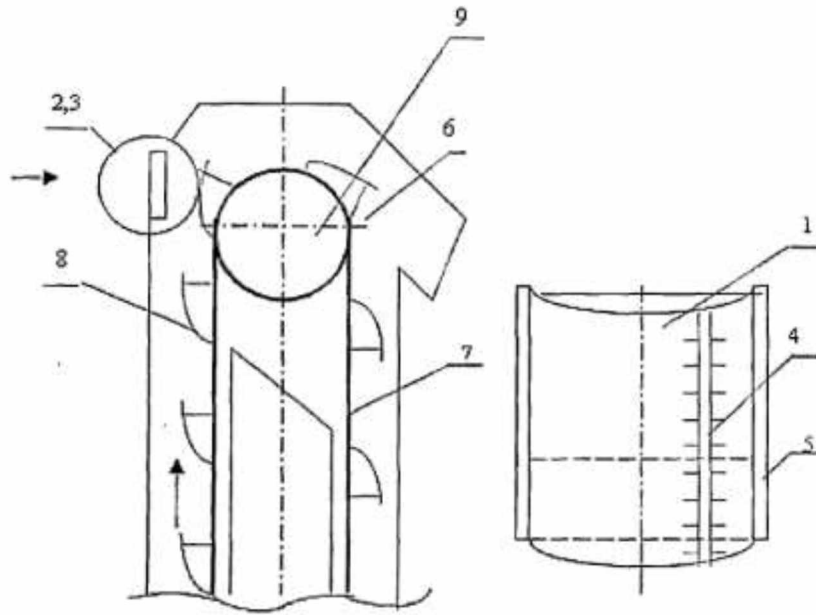
7. *за способом відбору проб* – ручний, автоматичний;

8. *по агрегатному стану відбирається матеріалу* - твердий суцільний, твердий сипкий, рідкий, в'язкий, газоподібний;

9. *за місцем відбору проби* - з тари, з бурта, з транспортного засобу, з технологічної лінії

Провівши аналіз існуючих конструкцій пробовідбірників ми зупинились на пасивному і активному пристрою для відбору проб зерна в потоці, що безперервно рухається.

На рис. 1.5 зображений пристрій пасивної дії для відбору проб зерна.



Фіг. 1

Фіг.2

1 – пробовідбірник; 2 – отвір; 3 – заслінка рухома з виступом; 4 – шкала проградуйована; 5 – бортик; 6 – головка норії; 7 – тяговий робочий орган транспортера; 8 – ківш; 9 – ведучий барабан.

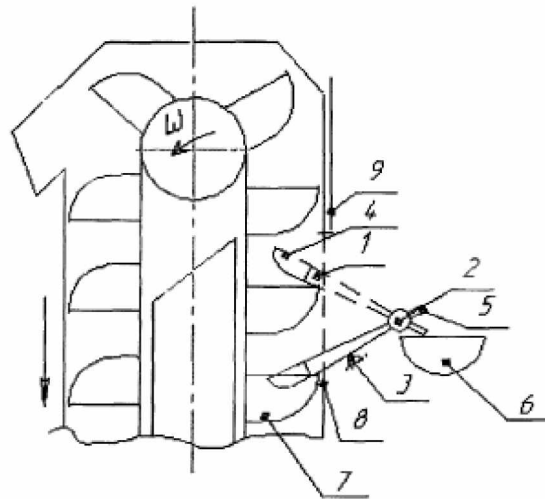
Рисунок 1.5 Пристрій пасивної дії для відбору проб зерна

Пристрій пасивної дії який зображено на рис.1.5 працює наступним чином.

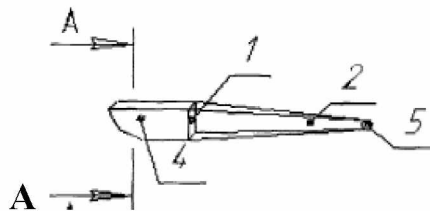
Пробовідбірник 1 підводиться до виступу рухливої заслінки 3, при цьому виступи 5 пробовідбірника 1 взаємодіють із пазами головки 6 норії. При переміщенні пробовідбірника 1 уздовж пазів норії вгору, рухома заслінка 3 переміщається і відкривається отвір 2. Частинки зернового матеріалу, що транспортується, і знаходяться вище верхнього обрізу ковша 8, під дією відцентрових сил, через отвір 2 потрапляють до пробовідбірника 1. Після завершення процесу відбору проб, який контролюється градуйованою шкалою, пробовідбірник 1 переміщують у початкове положення, одночасно рухома заслінка 3 закриває отвір 2. Отриману порцію зернового матеріалу здають в лабораторію для подальшого аналізу. При закритті рухомої заслінки порушення початкової структури зернового матеріалу, що відбирається не відбувається внаслідок того, що висота отвору 2 підбирається в залежності від коефіцієнта внутрішнього тертя матеріалу, що переміщається і товщини ковша 8. Таким

чином, дана конструкція пристрою забезпечує відбір проб у процесі транспортування матеріалу та запобігає порушенню вихідної структури матеріалу, що відбирається. Це досягається тим, що відбір проб рухомого матеріалу здійснюється на ділянках переходу їх руху з прямолінійного на криволінійний.

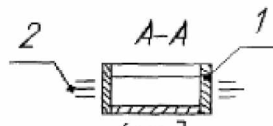
На рис. 1.6 зображений пристрій активної дії для відбору проб зерна при його транспортуванні.



Фіг.1



Фіг.2



Фіг.3

1 – пробовідбірник; 2 – шарнір; 3 – обмежувач; 4 – забірна частина пробовідбірника; 5 – вивантажувальна частина пробовідбірника; 6 – ємність для збирання проб; 7 – ківш; 8 – вікно; 9 – заслінка.

Рисунок 1.6 – Пристрій активної дії для відбору проб зерна

Принцип роботи пристрою активної дії для відбору проб зерна полягає в наступному. При відкритій заслінці 9, пробовідбірник 1 підводиться всередину норії через вікно 8 і закріплюється (на кресленні не показано кріплення). При цьому забірна частина 4 пробовідбірника 1 розташовується всередині ковша 7 (на фігурі 1 показано суцільними лініями). При транспортуванні зерна ковші 7 переміщуються вгору і дають можливість заглибитись забірній частині 4 пробовідбірника 1 в зернову масу. При подальшому русі ківш 7 повертає пробовідбірник 1 навколо шарніра 2 і відібрана із ковша 7 частина зерна зсипається через вивантажувальну частину 5 пробовідбірника 1 в ємність 6 призначену для збирання проб (на фіг. 1 показано штриховими лініями). Після чого пробовідбірник 1 зісковзує із ковша 7 і падає в наступний ківш норії і процес відбору проб повторюється. Обмежувач 3 фіксує нижнє переміщення забірної частини 4 пробовідбірника 1.

Після закінчення відбору проб зерна пробовідбірник 1 виводять із норії, вікно 8 закривають заслінкою 9. Отриману пробу матеріалу здають для проведення аналізів.

Таким чином, дана конструкція забезпечує відбір проб у процесі транспортування матеріалу. При цьому відбувається запобігання порушенню вихідної структури відібраного зернового матеріалу. Пробовідбірник можна встановлювати в будь-якому місці, що підвищує продуктивність та створює зручність для персоналу в процесі відбору проб.

1. 5 Мета і задачі дослідження

Мета дослідження: Удосконалення процесу транспортування зерна шляхом зміни швидкості руху стрічки ковшового елеватора для зниження травмування зерна.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз сучасного стану досліджень з травмування зерна транспортуючими машинами.

2. Дати характеристику причинно-наслідкових зв'язків травмування зерна у технологічному процесі його транспортування ковшовим елеватором.

3. Розробити модель, що описує процес механічного травмування зерна ковшем при завантаженні в башмаки та обґрунтувати рекомендації щодо зміни швидкості руху смуги ковшового елеватора, спрямовані на зниження травмування зерна під час його транспортування.

4. Розробити окрему методику та експериментальну установку пасивної дії для відбору проб зерна у ковшовому елеваторі.

5. Дати техніко-економічну оцінку результатів наукових досліджень

2. МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Аналіз напруг в зерні при взаємодії його з робочими органами ковшового елеватора

Відомо, що при обробці зернової маси зерноочисними і транспортуючими машинами, частина зерна травмується. З метою розробки заходів по зниженню травмування зерна необхідно розглянути сам процес ушкодження зерна робочими органами машин [46, 65, 67].

Основними механічними характеристиками однієї зернівки є межа її міцність на стискання, розтягування, здвиг [52, 64, 69, 104, 115,120]. Процес руйнування частинок зернівки (наприклад, пшениці) пов'язаний з її міцністними і деформаційними характеристиками: граничними напругами і модулем пружності.

В результаті контакту зерен при їх стисканні виникають як нормальні так і дотичні напруги. Спільна їх дію може бути представлена еквівалентною напругою по одній із теорії міцності. Відповідно до зерна можна використати теорію другої гіпотези міцності «найбільших лінійних деформацій», або гіпотезу міцності О.Мора. Для забезпечення міцності зернівки еквівалентна напруга повинно бути меншою граничної напруги, т.е.:

$$\sigma_e < \sigma_z, \quad (2.1)$$

де σ_e – еквівалентна напруга у перетині зернівки; σ_z – гранична міцність зернівки певного виду.

На основі формули для визначення максимального тиску виведеної в роботі Глотова В.П. і залежності еквівалентної напруги [20]:

$$\sigma_e = k \cdot f \cdot q_0 \quad (2.2)$$

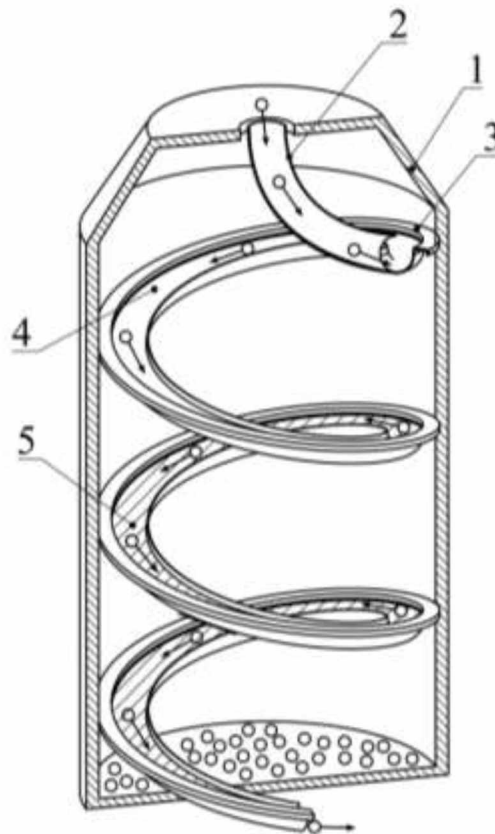
де k - коефіцієнт, який залежить від величини головних напруг в небезпечній точці площини контакту зернівки та прийнятої теорії міцності ($k = 0,3 \dots 1$); f - коефіцієнт внутрішнього тертя; q_0 - тиск, який виникає в зернівці при дії на неї робочих органів машин транспортних транспорту.

Еквівалентну напругу можна представити у вигляді:

де E_z , E_l - модулі пружності зерна та стінок робочого органу; t — маса однієї зернівки; V — швидкість співудару зерна по стінкам робочого органа транспортної машини; P — ширина зерна; PI — радіус кривизни поверхні робочого органа;

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На основі вище наведеної моделі, для зменшення травмування зерна був запропонований периферійний відкритий гвинтовий завантажувальний пристрій (ПВГК) зі змінними кутами спуску (рис. 3.1). Завантажувальний пристрій складається із розгінної і гвинтової гальмівної ділянок, які встановлюються під різним кутом до горизонту. ПВГК кріпиться на внутрішній частині силосу з можливістю регулювання кутів спуску. По мірі заповнення силосу зерном засипається у відкритий гвинтовий канал.



1 - циліндрична ємність; 2 – завантажувальний патрубок; 3 – периферійний відкритий гвинтовий канал; 4 – розгінна ділянка; 5 – гальмівна ділянка
Рисунок 3.1 – Силос із периферійним відкритим гвинтовим каналом

Силос із ПВГК (рис. 3.1) складається з циліндричної ємності 1, завантажувального отвору 2, периферійного відкритого гвинтового каналу 3 з дискретно змінними кутами нахилу. Завантажувальний патрубок 2 спрямовує зерновий матеріал з верхньої частини силосу до ПВГК. Тіло гвинтового каналу 3 утворено шляхом провертання U- подібного профілю за гвинтовою лінією зі змінними кутами на розгінній 4 і гальмівній 5 ділянках пристрою.

Представлений гвинтовий пристрій враховує відомі теоретичні та експериментальні дослідження науковців та спирається на проведене моделювання швидкості руху зерна у гвинтовому каналі зі змінним кутом нахилу.

3.2 Дослідження геометричних параметрів гвинтового каналу та

кінематичних параметрів руху зерна

Збільшення швидкості у верхній частині пристрою обумовлено потребою убезпечити утворення накопичення зерна на розгінній ділянці та не пересипання його через краї відкритого зернового каналу. Така комбінація забезпечує суттєвий приріст швидкості зернового вантажу на першій ділянці ПВГК. Розгінна ділянка 4 ПВГК (рис. 3.1) повинна мати якомога більший кут нахилу α до горизонту, а гальмівна ділянка 5 з кутом нахилу β , повинна бути дещо меншою від кута α . Обґрунтування співвідношення даних кутів слідує із формул (2.23)–(2.26) та (2.28).

Водночас зменшення кута нахилу з α на β при переході з однієї ділянки пристрою на іншу дає можливість суттєво зменшити швидкість гравітаційного спуску. Зменшення швидкості запобігає виникненню критичних ударних сил зернинок об стіну та бетонне дно силосу, що в свою чергу зменшує або повністю усуває його механічне травмування.

Для оптимального вибору кутів потрібно враховувати коефіцієнт тертя μ зерна по поверхні жолобу ПВГК. Крім того, виникають об'єктивні труднощі, щодо визначення оптимального співвідношення кутів розгінної та гальмівної ділянок для різних зернових культур. Для забезпечення стаціонарного потоку зернової маси по гвинтовій поверхні пристрою потрібно враховувати кут природного відкосу зерна, що залежить від сорту зернової культури.

Кут нахилу гальмівної ділянки β повинен бути більшим від кута тертя зерна сільськогосподарської культури ξ [17], яке завантажується у силос. Ця умова забезпечує сталий рух зернового вантажу по поверхні каналу. Отже, вибір і співвідношення кутів нахилу розгінної та гальмівної ділянок ПВГК залежить від формули (2.28) та конкретного сорту зерна з відповідним кутом тертя ξ .

Для переважної більшості різновидів зерна сільськогосподарських культур кут тертя лежить в межах від 15° до 25° в залежності від фізико-механічних властивостей та рівня зволоженості зернової маси. Зважаючи на це, формуючи кути ключових ділянок ПВГК повинні бути більшими від вказаного

кутового діапазону, тобто для гальмівної ділянки слід дотримуватися наступної вимоги $\beta > \xi$. В найбільш невідповідних умовах переміщення зернового потоку кут β приймає значення, що перевищує верхню межу діапазону варіації кута тертя, а саме – $\beta > 25^\circ$. При цьому зважаючи на взаємозалежність (2.28) між кутами гальмівної та розгінної ділянки ПВГК, кут α буде більшим від 41° .

Приймаючи до уваги вище приведені умови при встановленні кутів нахилу ділянок ПВГК, було проведено комплекс теоретичних розрахунків по визначенню особливостей формування геометричних характеристик гвинтового каналу та кінематичних параметрів руху зернового потоку.

Найбільш вагомими та значимими результатами теоретичного вивчення процесу руху зернового потоку в ПВГК викладені нижче.

Формування геометрії гвинтового каналу в першу чергу вимагає визначитися з кутами нахилу обох ділянок каналу. Так, використовуючи залежність (2.28) між даними кутовими параметрами, була побудована поверхня відгуку (рис. 3.2), що ілюструє характер зміни кута нахилу гальмівної ділянки від кутового параметра ділянки розгону та співвідношення початкової висоти h_o падіння зерна у гвинтовий канал до радіуса r цього каналу.

З аналізу проілюстрованої залежності встановлюється той факт, що головним чинником формування величини кута β є співвідношення між ключовим габаритним параметром ПВГК – радіусом r каналу та висотою падіння зерна h_o . Так, з його зростанням від 0,1 до 1 кут нахилу гальмівної ділянки, з врахуванням алгебраїчної різниці з кутом α , збільшується від нульового значення до майже 50° . Приймаючи до уваги накладені вище обмежувальні умови на значення кутів нахилу ділянок каналу, кут β слід формувати відштовхуючись від значення співвідношення h_o/r рівних 0,6...0,7 та вище. У цьому випадку даний кут буде гарантовано перевищувати обмежувальну границю у 25° .

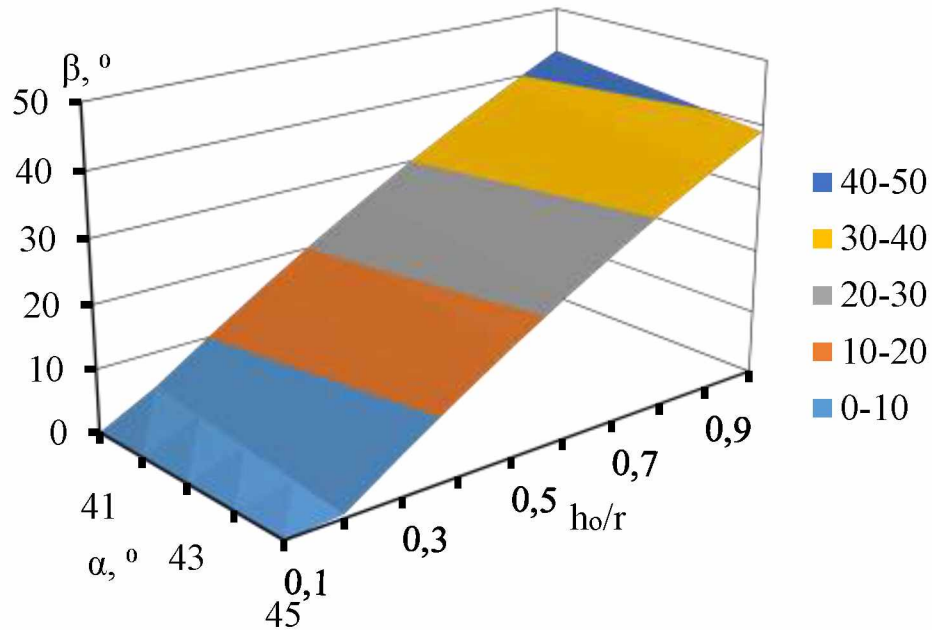


Рисунок 3.2. – Співвідношення кутів α розгінної та β гальмівної ділянки з врахування співвідношення h_0/r

Наступним показником, що визначає геометричну будову гвинтового каналу, є кількість витків окремо взятої ділянки каналу. Розрахунок кількості витків використовує формули (3.32) і (3.37), та сконцентрований на дотриманні та виконанні декількох умов. По-перше, геометрична висота розгінної та гальмівної ділянки не повинна перевищувати загальну висоту усього гвинтового каналу. По-друге, повинне бути певне співвідношення між ними, щоб забезпечити допустимі межі по тривалості розгону та гальмування зернового потоку.

Так, на рисунку 3.3 відображені результати розрахунку необхідної кількості витків для гальмівної ділянки n_r при довільно вибраній чисельності витків ділянки розгону n_p . Розрахунки проводились при сталому співвідношенні $h_0/r=0,7$; висоті гвинтового каналу 1,5-2,5 м та в діапазоні зміни кута α від 41° до 45° .

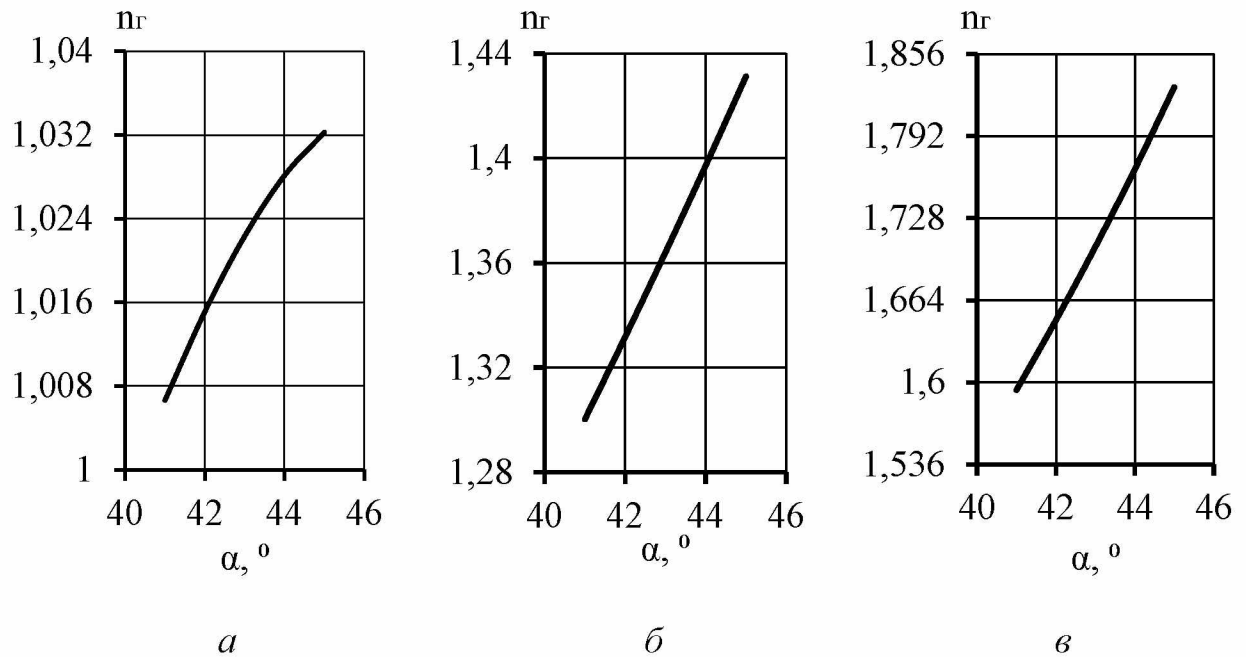


Рисунок 3.3 – Кількість витків гальмівної ділянки в залежності від кута α та n_p при $h_o/r=0,7$

Згідно до графічно відображених результатів розрахунків, кількість витків n_r при зростаючому куті α має тенденцію до майже лінійного характеру свого збільшення, не зважаючи на кількість витків ділянки розгону. Найбільш стрімко подібне зростання n_r зі збільшення кута α відбувається при $n_p=1,2$; коли кількість витків в крайніх точках зростаючого відрізка відрізняється на 14%. Це обумовлено жорстким співвідношенням кутів α та β в незалежності від кількості витків відповідних ділянок каналу при сталій величині відношення h_o/r .

3.3. Програма проведення експериментальних досліджень швидкості руху зерна у запропонованому гвинтовому пристрої

Метою проведення експериментальних досліджень є визначити характер зміни кінематичних параметрів руху зерна від факторів впливу та провести їхнє співставлення з теоретично обрахованим. Це дасть змогу визначити рівень збіжності отриманих результатів та скласти висновок про адекватність і точність запропонованої аналітичної моделі та ПВГК.

У якості кінематичних параметрів, що аналізуються, були вибрані максимальна та кінцева швидкість руху зерна.

Відповідно до поставленої мети дослідних експериментів була сформована програма досліджень з двох етапів.

На першому етапі визначався характер зміни величини максимальної швидкості руху зерна на розгінній ділянці в залежності від геометричних параметрів цієї ділянки. Кількість факторів, що мають безпосередній вплив на формування даного критерію, є досить значним, тому з метою зменшення кількості дослідів варіативній зміні піддавались лише декілька. Зокрема, змінювався кут нахилу α ділянки розгону та радіус гвинтового каналу r при умові незмінності кількості витків n_p та сталості висоти падіння зерна h_o .

На другому етапі досліджувалась кінцева швидкість зерна при сході з каналу. Дослідження здійснювалось при зміні кута нахилу розгінної та гальмівної ділянки та фіксованих інших параметрах, співвідношення, що визначає залежність між кутами зберігалось.

З метою отримання достовірних даних у кожній комбінації змінних факторів з рівнем значущості 5%, було заплановано проведення п'яти паралельних експериментів.

Отримані результати експериментальних досліджень опрацьовувались за стандартною методикою статистичної обробки даних. А саме: перевірка на однорідність дисперсій дослідів за критерієм Кохрена, перевірка нормального розподілу залишкового ряду за RS критерієм, знаходження відносної похибки залишків та їх статистичних оцінок, визначення коефіцієнта множинної кореляції, співставлення результатів експериментальних та теоретичних досліджень за величиною відносних похибок між ними. Дані дослідження є підставою для оцінки точності та адекватності запропонованої моделі.

Процедура проведення дослідів передбачала зміну геометрії гвинтового каналу під вибрані для кожного етапу параметри та циклічного проведення експериментів з необхідною періодичністю та рівнем повторюваності.

У якості зернового матеріалу було вибрано зерно пшениці озимої зі

середньою вологістю 14%.

Відстеження у часі переміщення зернового потоку (окремо виділених яскравою фарбою його частинок) по гвинтовому каналу при експериментальних дослідженнях здійснювалось за використанням високочастотної відеотехніки. Покадровий аналіз відзнятого матеріалу дозволив визначати місце розташування ключових частинок зернового потоку у гвинтовому каналі та обраховувати часову тривалість їхнього переміщення. За величиною пройденого шляху та тривалістю переміщення між ними визначались швидкості руху зерна.

3.4 Результати експериментальних досліджень та їх співставлення з даними теоретичних розрахунків

З метою перевірки адекватності складеної моделі руху зернового потоку по гвинтовому каналу та визначення ступеня відповідності отриманих розрахунковим шляхом параметрів руху їх еквівалентним величинам в реальних умовах протікання гравітаційного руху зерна було здійснено ряд експериментальних досліджень. Дослідження проводились на лабораторному зразку периферійного відкритого гвинтового завантажувального пристрою (ПВГК) зі змінними кутами спуску (рис. 3.4). Рух зернового потоку у гвинтовому каналі у ході проведення теоретичних та експериментальних дослідженнях оцінювався кількома важливими кінематичними параметрами. До таких було віднесено максимальна швидкість розгону та кінцева швидкість сходу зерна з гвинтового каналу.



Рисунок 3.4 – Експериментальний дослідний зразок ПВГК

Стосовно дискретності зміни факторів впливу, то для першого етапу досліджень було прийнято наступне: висота гвинтового каналу – 2 м; співвідношення h_0/r вибиралось дискретно (0,7; 0,8; 0,9); кількість витків $n_p=1$; кут α змінювалась від 41 до 45° з кроком в 1°; коефіцієнт тертя зернового матеріалу при русі по металевому каналу приймався рівним $\mu = 0,3$.

На рисунку 3.5 відображено характер зміни максимальної швидкості розгону у вибраному діапазоні зміни кута α , у таблиці 1, як приклад, приведені результати співставлення теоретичних та експериментальних досліджень при $h_0/r = 0,7$.

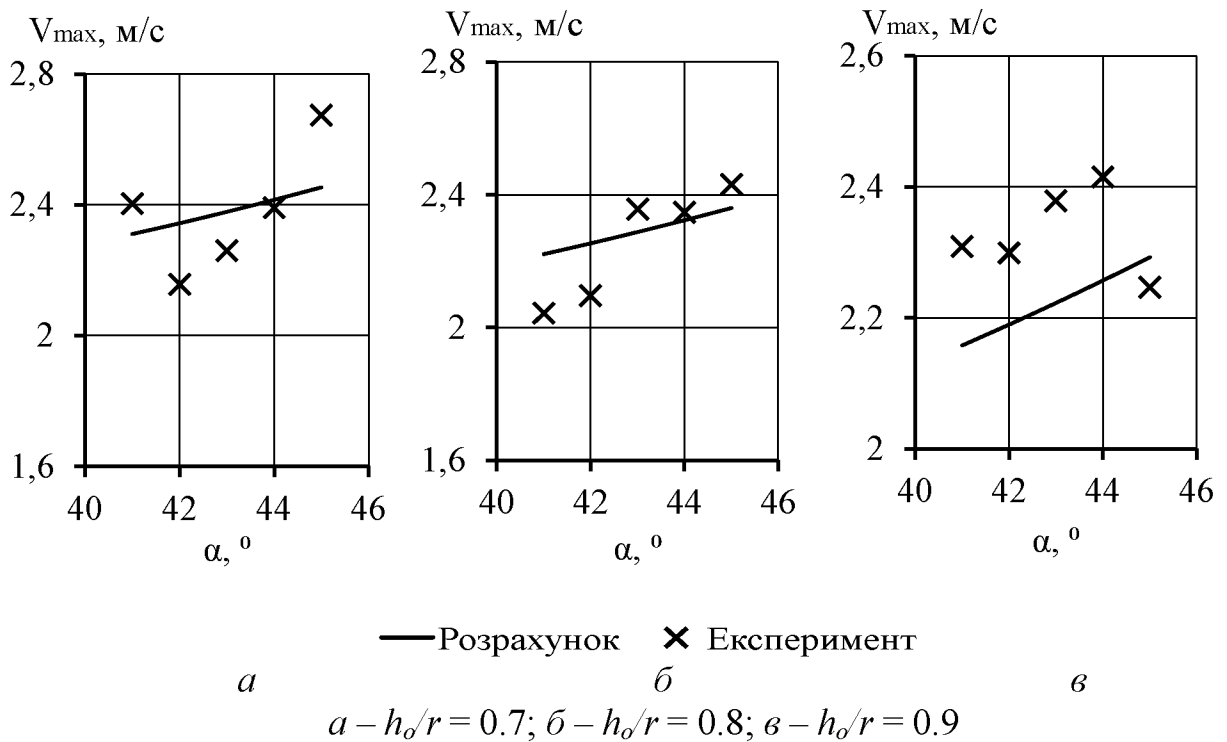


Рисунок 3.5 – Зміна максимально досяжної швидкості руху зернового потоку на розгінній ділянці в залежності від кута α та h_o/r при $n_p=1$

У відповідності до представлених характеристик, збільшення кута α приводить до зростання швидкості переміщення, при цьому різниця швидкості в крайніх точках діапазону може відрізнятись більше за 0,4 м/с. Це в першу чергу обумовлено підвищенням рівня нахилу розгінної ділянки. Слід також відзначити, що зі збільшенням співвідношення h_o/r , темпи зростання максимальної швидкості розгону більш суттєві. Так, при двох крайніх значеннях цього співвідношення при умові однаковості кута α швидкості відрізняються від 0,1 до 0,4 м/с. Дана тенденція пояснюється збільшенням радіусу r гвинтового каналу, що прямим чином впливає на довжину розгінної ділянки і відповідно на тривалість розгону.

Експериментально було встановлено, що кут α не повинен перевищувати 45° , адже подальше його збільшення призводило до згруження зерна на початку гальмівної ділянки внаслідок швидкого гравітаційного зсуву зернового потоку по розгінному каналу. Дане твердження також підтверджується теоретично, так як відповідно до (2.28) при куті нахилу $\alpha > 45^\circ$ кут $\beta < 21^\circ$, що є менше за нижню

межу кута природного відкосу ξ для зерен пшениці.

Із статистичної оцінки отриманих експериментальних даних (табл. 3.1) видно, що варіативність зміни швидкостей для кожного кута α є доволі невелика, а відхилення поточних значень від середнього показника не перевищує 10...13%. При перевірці однорідності дисперсій досліджень було встановлено, що спостережене значення Кохрена $G=0,04525$ не перевищує його критичної величини $G_{\text{табл.}}=0,6838$, вибраного виходячи з кількості дослідів, паралельних досліджень та прийнятих факторів впливу. Це свідчить про належний рівень якості і повторюваності проведеного експерименту.

Значення похибки експерименту та відносних похибок (<10%) дослідних та теоретичних значень максимальної швидкості засвідчують цілком допустимі межі відхилень для даного багатфакторного експерименту з наявною складністю його натурної реалізації.

Таблиця 3.1 – Результати експериментів по визначенню максимальної швидкості руху на розгінній ділянці ($h_0/r = 0,7$)

Кут α	Максимальна швидкість V_{max} , м/с					Максимальна швидкість $V_{\text{max, середня}}$	Дисперсія дослідів D_i	Теоретична максимальна швидкість V_{max} , м/с	Відносна похибка, δ , %
	1	2	3	4	5				
41	2,39	2,40	2,47	2,32	2,43	2,40	0,0032	2,31063	4,0
42	2,10	2,08	2,00	2,30	2,31	2,16	0,0194	2,34355	7,9
43	2,21	2,31	2,36	2,17	2,24	2,26	0,0057	2,37837	5,1
44	2,39	2,26	2,47	2,48	2,34	2,39	0,0083	2,41493	1,1
45	2,69	2,81	2,56	2,62	2,68	2,67	0,0087	2,45312	8,9
Похибка експерименту							0,09513		
Максимальна дисперсія, D_{max}							0,01944		
Сума дисперсій, ΣD							0,04525		
Спостережене значення критерію Кохрена, G							0,42957		

Для другого етапу програми досліджень фактори впливу набували таких же самих значень як і на першому етапі, співвідношення $h_0/r=0,9$. Кут β при цьому обраховувався на підставі величини кута α за приведеним у теоретичній

частині аналітичним виразом (2.28). Правило п'ятикратного повторення експерименту для кожного варіанту значення кутів зберігалось для даного етапу.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень по визначенню швидкості (рис. 3.6) зернового потоку при сході з гвинтового каналу приводять до аналогічних висновків. Статистична обробка результатів досліджень (табл. 3.2) по визначенню кінцевої швидкості також вказує на однорідність дисперсій досліджень, зокрема спостережний критерій Кохрена $G=0,5446$ не перевищує його критичне значення $0,6838$. Значення кінцевої швидкості в межах одного експерименту суттєвим чином не відрізняються від їх усереднених величин. Відносні похибки не перевищують 12%.

За рахунок дотримання чіткого взаємозв'язку між основними геометричними компонентами гвинтового каналу у ході проведених експериментів було виявлено, що кінцева швидкість сходу зерна з каналу (рис. 3.6) знаходиться в межах від 1,8 м/с до 2,2 м/с при середніх розрахункових значеннях біля 1,98 м/с.

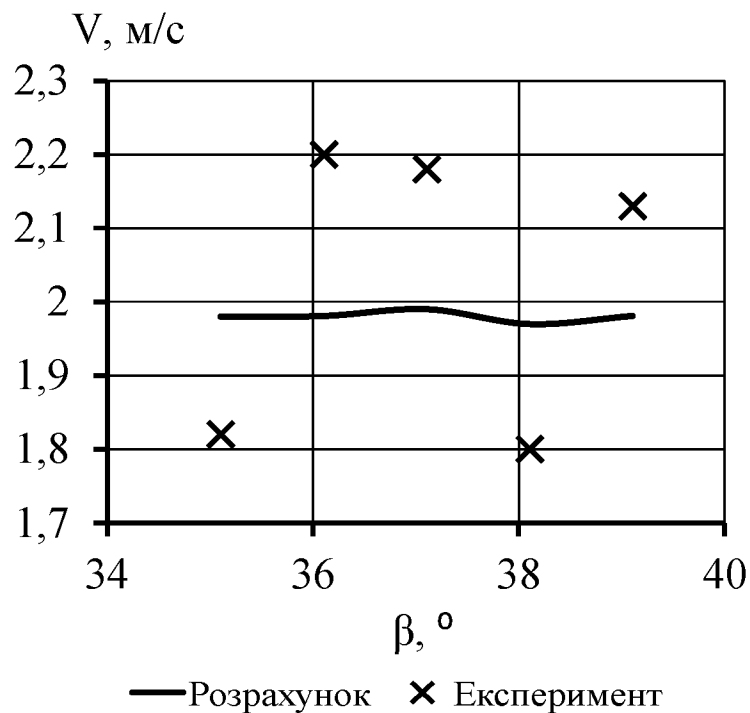


Рисунок 3.6 – Швидкість руху зерна в моменту його сходу з каналу

Таблиця 3.2 – Результати експериментів по визначенню поточної швидкості руху зерна в моменту його сходу з гвинтового каналу ($h_0/r = 0,9$)

Кут α	Кут β	Кінцева швидкість $V_{\text{кін}}$, м/с					Кінцева швидкість $V_{\text{теор}}$, сепелня	Дисперсія дослідів D_i	Теоретична кінцева швидкість $V_{\text{кін}}$, м/с	Відносна похибка, δ , %
		1,98	1,9	2,6	2,3	1,9				
41	39	1,98	1,9	2,6	2,3	1,9	2,14	0,0945	1,980909	7,8
42	38	1,8	1,8	1,7	1,8	1,9	1,8	0,005	1,970000	8,6
43	37	2,1	2,2	2,2	2	2,4	2,18	0,022	1,990000	9,5
44	36	2,1	2,2	2	2,4	2,3	2,2	0,025	1,980909	11,1
45	35	1,7	1,7	1,8	1,8	2,1	1,82	0,027	1,980000	8,1
Похибка експерименту								0,18627		
Максимальна дисперсія, D_{max}								0,09448		
Сума дисперсій, ΣD								0,17348		
Спостережене значення критерію Кохрена, G								0,54462		

Таблиця 3.3 – Результати дослідження залишків експериментальних та теоретичних даних кінцевої швидкості руху зерна в момент сходу з каналу

Залишки $V_{\text{кінц}}$, м/с				
-0,01	0,080909	-0,61909	-0,31909	0,080909
0,180909	0,180909	0,280909	0,180909	0,080909
-0,11	-0,21	-0,21	-0,01	-0,41
-0,11909	-0,21909	-0,01909	-0,41909	-0,319091
0,28	0,28	0,18	0,18	-0,12
Відносні похибки, %				
0,505051	4,258362	23,8112	13,87353	4,25836
10,05049	10,05049	16,52405	10,05049	4,25836
5,238095	9,545455	9,545455	0,5	17,0833
5,671006	9,958687	0,954556	17,46213	13,8735
16,47059	16,47059	10	10	5,71429
Середня відносна похибка, %			9,85	
Математичне сподівання			-0,05	
Дисперсія			0,061	
Довірчий інтервал			(-0,54; 0,451)	
Сума квадратів залишків			1,52643	
RS критерій нормального розподілу			3,57 € (3,34; 4,53)	

Висновки по розділу

Статистичний аналіз експериментальних даних та значень залишків кінцевої швидкості сходу зерна (табл. 3.2-3.3) вказують на достатній рівень та точність проведених досліджень. Згідно RS критерію значення залишкового ряду є нормально розподіленими для рівня значущості 0,05 та $n=25$. Однорідність дисперсій досліджень, коефіцієнт множинної кореляції експериментальних та теоретичних даних кінцевої швидкості $R=0,998$, середня відносна похибка залишків 9,85% та їх нормальний розподіл свідчать про адекватність розробленої моделі.

Співставлення теоретичних та експериментальних значень максимальної та кінцевої швидкості руху зерна за величиною відносних похибок вказує на прийнятно високий рівень точності розробленого експериментального зразка ПВГК згідно дослідженої та обґрунтованої аналітичної моделі.

4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБКИ

4.1 Екологічна експертиза зерносховищ

Функціонування силосних складів, комбикормових заводів, елеваторів і будь-яких зерносховищ зумовлює досить багато різноманітних виробничих процесів, зокрема приймання, зберігання, і завантаження зерна, його перевезення, очистка, сушка, помол тощо. Наведені дії зумовлюють виникнення значного об'єму пилу, що інколи призводить до його небезпечної концентрації у навколишньому середовищі і створює загрозу для соціуму.

Таким чином, основний вплив на екологію діяльності довільного силосного складу є пил, що утворюється при здійсненні переважної більшості техніко-технологічних дій із зерном: прийом, транспортування, очищення, сепарація, зберігання в підлогових складах, а також при відвантаженні. Запиленість може досягати 2-3 гр/м³. Наявність пилу у повітрі також має дратівливий вплив на людей.

Основні шляхи негативного впливу зерносховищ на навколишнє середовище:

- насосні станції, які споживають кисень і перетворюють його на вуглекислий газ, викидають шкідливі токсичні речовини і пил в атмосферу. Найнебезпечнішими викидами у повітря від зерносховищ є сірководень – 5 мг/м³, аміак, окис азоту, діоксид сірки, складні ефіри – 125...325 мг/м³.

- на людей мають негативний вплив шум та вібрація силосних складів, що збільшує стомлюваність працівників підвищуючи і зменшує їх працездатність.

- стоки, що у своєму складі мають господарсько-побутові та виробничі забруднення, які зливають у каналізацію.

Для зменшення вібраційних коливань детально продумують проекти фундаментів для силосів та обладнання. Для зменшення викидів пилу та гучності шуму підприємства обладнують фільтрами з глушниками. Вони знижують концентрацію небезпечних викидів під час виробничих процесів.

Дане технологічне рішення спроможне зменшити і знизити забруднення навколишнього середовища.

- склад атмосфери погіршують вихлопи транспортних засобів, завантажувальний бункер, обладнання для очистки зернової маси, сушарки.

- погіршення якості води: господарські, побутові і загальні питні потреби для зберігання насіння.

- якість родючості землі і ґрунтів у цілому погіршується через забруднення лампами денного світла, комунальними відходами, шлаками, ошурками від чищення насінневої маси тощо.

- негативний вплив на флору та фауну за рахунок дії електромагнітних полів електричних підстанцій, електрощитових, автоматів захисту, аварійного освітлення та іншого електричного устаткування.

Вище зазначені фактори впливу силосів та зерносховищ на атмосферу, водні запаси, земельні ресурси, флору та фауну мають прямий вплив і постійний характер.

Рекомендовані принципи, методи і засоби зниження антропогенного впливу на навколишнє середовище

Рекомендовані рішення відносяться перш за все до засобів пожежогасіння на зернових елеваторах для підвищення ефективності ліквідації вогнища самозаймання.

Важливим засобом піклування про збереження довкілля є система екологічного менеджмента. Системи екологічного менеджменту, відповідні вимоги та настанови щодо їх застосування відображені в Міжнародному стандарті *ISO 14001*. У ньому прописані всі основні вимоги, які повинні бути впроваджені і на елеваторі.

Розглянемо, як впроваджується система екологічного менеджменту на основних етапах роботи елеваторів.

Технологічні операції з зерном починаються на елеваторах з відбору проб. Цю процедуру на елеваторах доцільно проводити автоматичними пробовідбірниками. Це вакуумні герметичні установки, які висмоктують 2-3 кг

зерна на зразок і не дають можливості підніматися зернового пилу. Для ефективного знепилювання кожного технологічного вузла необхідно, щоб аспираційне обладнання задовольняло всім нормам і вимогам екологічної безпеки.

Далі вантажівки рухаються на завальну яму, автомобілі повинні пересуватися по елеваторах затентованими. Це правило дозволяє не тільки виключити потрапляння сторонніх домішок в зерно, а й також зводить до нуля викиди пилу і розсипи зерна при переміщенні зерновозу по елеватору.

При вигразці зерна приймаються більш радикальні заходи для запобігання викидів пилу. Місця для вивантаження зернових «защити» з усіх боків і мають в'їзні та виїзні ворота. Вони закриваються після в'їзду автомобіля на завальну яму. Таким чином, в момент вивантаження зерна, пил локалізується і не забруднює навколишнє середовище на території елеватора. На транспортному обладнанні повинні бути встановлені аспираційні системи, як і в підсилованих галереях і на сепараторах. Транспортери теж повинні бути закритого типу, щоб не було викидів у галерею.

Боротьба з пилом може вестись механічним шляхом: закриття воріт при розвантаженні вантажівки, раз на тиждень зачищають майданчик прийому авто, транспортні лінії та інше технологічне обладнання.

Для індивідуального захисту робітників під час виграження зерна повинні видаватися респіратори, маски, печатки і закритий одяг.

Основне джерело можливого забруднення повітря на зерносховищах є зерносушарка. У кожного підприємства, де є таке обладнання, повинні бути дозволи на викиди забруднюючих речовин у атмосферу. У документі визначаються максимально допустимі значення викидів зерносушарок, з якими порівнюються реальні викиди у ході регулярних перевірок. Перевірки повинні проводити незалежні сертифіковані компанії.

Наявні вентилятори на кожній зерносушарці повинні мати аспираційне обладнання. Пил і мало-дисперсійні фракції потрапляють і окремо зберігаються

в спеціальному бункері. Зерносушарки кожного елеватора по графіку повинні зачищатися, і якщо потрібно миються і сушаться.

Якщо викиди починають перевищувати норму, то оптимальний варіант це зменшення кількості годин роботи зерносушарки, а для цього важливо строго вести журнал обліку її робочого часу.

Невеликі протікання машинного мастила, що інколи трапляються у авто на території зерносховищ, потрібно засипати піском чи деревною тирсою.

Зерносховища повинні мати дійсні контракти з організаціями по утилізації відходів, тобто не потрібно займатися їх самовивезенням. Якщо відходи тимчасово зберігаються на території, то їх обов'язково огорожують.

Вимоги до обслуговуючого персоналу: наявність відповідного спецодягу і распіраторів; регулярне проходження навчання та підвищення кваліфікації

Важливим аспектом є постійна модернізація аспіраційних систем, очисного обладнання та виконання наявних екологічних норм зберігання зернових та чинних вимог по охороні навколишнього середовища.

Необхідною є боротьба з можливими вибухами і самозайманням на зернових елеваторах. Вона включає розміщення у силосах елеваторів речовини, що перешкоджає самозайманню зерна. В якості цієї речовини використовують газоподібний антипіроген, безпечний в санітарному відношенні і розміщений в герметичних легкоплавких ампулах, ампули перемішують із зерном і розміщують їх у силосах елеваторів при їх завантаженні зерновими. Як антипіроген можуть також бути використані хлориди лужних і лужноземельних металів або бром заміщені вуглеводні.

Транспортування відходів повинно проводитись тільки за рахунок використання спеціальних транспортних засобів, які унеможливають втрати під час перевезення, пропонують максимальну зручність при перевантаженні і мінімізують забруднення. Зокрема під час транспортування відходів, які можуть пилити, необхідно використовувати самоскидний пристрій, що обладнаний пологом.

4.2 Охорона праці під час транспортування, завантаження та зберігання зерна на елеваторах

Суворе виконання вимог охорони праці є запорукою життя і безпеки робітників [37]. Силосні споруди і бункери для зберігання зернової маси, незалежно від місця їх розташування, закриваються суцільним перекриттям з обладнаними в них завантажувальними лазами та люками. Силоси, що мають радіус більше 6 м характеризуються наявністю плоского днища і можуть бути обладнані засобами для автоматичного очищення насіння. Всі силосні споруди мають облаштовані засоби аспірації та інше обладнання, що запобігає, під час наповнення силосів зерновою масою, витіснення повітря у робочі приміщення. Вимірювання температурних показників і забір проб насіння у силосних приміщеннях безпосередньо за допомогою проникнення туди людей не дозволяється.

Всі люки силосів і бункерних веж зерносховищ повинні закриватися заслонками. В процесі відкриття службових лазів для транспортування виробничих механізмів необхідне їх міцне оточення перилами, висота яких повинна бути не меншою ніж 1 м.

Всі лази і розвантажувальні заслонки силосних споруд та бункерів, будь-якого конструктивного розміщення, за виключенням «кришок», повинні містити міцні металеві решітки з комірками розміром не більше 0,25 на 0,075 м. Огородження не потрібно заглиблювати на рівень, що перевищує 0,6 м від площини підлогового покриття споруди. Отвори лазів необхідно робити прямокутної форми з габаритом не менше 0,5...0,6 м. Всі рештовання лазів монтуються на петлі або болти; вони повинні мати пристосування для замикання.

Облаштування підземних етажів веж елеваторів, підсилосних поверхів сполучених підземних галерей, приймальних та відвантажувальних механізмів має виключати проникнення у них ґрунтових вод.

За наявності конвеєрів відстань між ними для обслуговування повинна дорівнювати для ланцюгового і стрічкового обладнання не менше 750 мм. При

паралельному розміщенні конвеєрів відстань між ними повинна бути не менше одного метра.

Обладнання, механічні пристрої, виробничі апарати, самоплинні транспортні засоби та інші пристосування повинні бути розміщені так, щоб їх монтаж, ремонт і обслуговування були безпечними та зручними. Частина механізмів що лінійно рухаються чи обертаються повинні бути захищені належним чином.

У робочих вежах зерносховищ можуть встановлюватися ліфтові пристрої. Установка і сертифікація ліфтів повинні відповідати чинним вимогам. Вимоги щодо конструкції, будови і безпечної експлуатації ліфтів затверджені держтехнаглядом.

Працівники спускаються у силосні приміщення і бункери тільки у виняткових випадках, коли немає можливості цього уникнути. Дозвіл на спуск людей оформлюється через письмове розпорядження начальника цеху згідно правил техніки безпеки і санітарних вимог. Відповідальна за це особа особисто повинна перевірити достатнє провітрювання силосів, справність механізму лебідки, тросів, люльки, поясів, канатів, протигазів, будівельних касок. Вона також слідкує за чітким дотриманням працівниками зерносховища необхідних правил безпеки в процесі спускання-опускання та інших попередньо узгоджених робіт.

Спуск до силосів, чи ремонт лебідки дозволений працівникам, які мають допуск для проведення таких робіт. Зокрема працівнику, що спускається у силос, необхідно мати медичну довідку, що дозволяє за станом здоров'я виконувати роботи на висоті і спускатися у силоси. Спускання працівників у силосні конструкції без письмової згоди робітника заборонено.

Якщо у силосному приміщенні конструктивно передбачена нижня заслінка, право на її використання дає лише начальник ділянки або змінний майстер, у вигляді письмового наряду і за його особистим наглядом.

Перед початком використання силоси мають оглянути зверху і перевірити відсутність прилиплої маси насіння. Працівника допускають у силосне

приміщення лише після усунення зі стін остатків зернової маси, тривалого провітрювання силосу за допомогою відкриття одночасно верхніх і нижніх заслінок та строгої перевірки. Для уникнення падіння випадкових предметів зверху, верхню заслінку потім потрібно закрити.

Випускаючі воронки, що подають зернову масу на розташований знизу конвеєр у автоматизованих плоско підлогових зерносховищах потрібно забезпечити горизонтальними ґратками, що міцно закріплені відносно підлоги вертикальними колонами, що убезпечить робітників від падіння у отвір. У іншому випадку використання таких силосних складів заборонено.

Аспіраційне повітря мереж перед його виходом у зовнішню атмосферу необхідно очищувати за допомогою циклонів або фільтрів. Для цього постійно проводять перевірку обладнання на наявність у них пилу, не допускаючи його накопичення. Концентрація пилу, що надходить у атмосферу, не повинна бути більшою максимально дозованих показників або узгоджених викидів, встановлених відповідно до ДСТУ ISO 14001:2015.

Якість повітря у виробничих приміщеннях повинна регулярно перевірятися для визначення наявної концентрації пилу і хімічного складу. Дана перевірка в період інтенсивного виробництва повинна проводитися не пізніше ніж один раз на рік. Вихідні патрубки циклонів мають бути розташовані на висоті 2 м від покрівлі будівлі, у якій вони розташовані.

Щорічно повинні здійснюватися заходи для зниження викидів пилу у атмосферу, щодо підвищення ефективності роботи аспіраційних мереж та установок, зниження норм водоспоживання на вироблення продукції, усунення скидання нефільтрованих водних стоків, будівництва водоочисних споруд, наприклад станцій біологічного або механічного очищення стічних вод.

Потрібно звернути увагу на спеціальну підготовку водіїв транспортних засобів, які постійно зайняті на перевезеннях небезпечних відходів зернових вантажів. Вона включає:

- систематичне вивчення інформації про безпеку (позначення транспортних засобів і упаковок);

- вивчення властивостей небезпечних вантажів;
- навчання прийомам надання першої допомоги постраждалим;
- підготовку і передачу повідомлень (доповідей) відповідним посадовим особам про те, що стався інцидент.

4.3 Техніко-економічні показники модернізованого зерносховища

Економічна оцінка досліджуваних технологій економного зберігання ресурсів та застосування високопродуктивних ощадних розробок є запорукою успішної роботи будь-якого елеватора та зерносховища в умовах ринкових відносин. Робота будь-якого підприємства спрямована на зниження до мінімуму витрат при виробництві і реалізації продукції. Зокрема, необхідне ефективне транспортування та зберігання зернової продукції у силосах. Це дозволить досягти забезпечення високих доходів зерносховищ та їх кваліфікованих працівників.

Розрахунок економічної ефективності проводився з урахуванням методики літературних джерел [38, 39].

Для повного відображення співвідношення доходів і витрат, пов'язаних із завантаженням і зберіганням зерна у силосах необхідний розрахунок наведених нижче техніко-економічних показників.

Всі техніко-економічні показники можна умовно розділити на дві групи, що відображають витрати і доходи. Кожен з цих показників, у свою чергу, поділяється на підгрупи.

До групи витратних показників відносяться:

1. Капітальні витрати на переобладнання силоса, тобто будова і монтаж всередині запропонованого гвинтового пристрою обережного завантаження зернової маси. Ці витрати містять сукупність витрат на будівництво ПВГК, закріплення на стінках силосу, оснащення механічними пристроями для можливості регулювання кутів розгінної та гальмівної ділянки, і введення силосу в експлуатацію). Капітальні витрати обчислюються у два етапи: перший етап - визначення необхідної суми інвестицій на будівництво та обладнання;

другий - визначення капітальних вкладень з урахуванням їх розподілу за часовими періодами і упущеної вигоди. Таким чином, розрахунок капітальних витрат необхідний для реалізації проєкту та обґрунтування його ефективності.

2. Експлуатаційні витрати. Зазвичай розраховуються за рік і є сукупністю витрат необхідних для нормальної діяльності підприємства. У цю підгрупу входять: витрати на заробітну плату; витрати на амортизацію; витрати на ремонт, обслуговування; витрати на освітлення; витрати на енергоносії; витрати на сплату податків (на прибуток, ПДВ, на землю тощо).

Для виявлення доцільності впровадження основних результатів дослідження необхідно в середину силосу вмонтувати розроблений ПВГК. Перелік обладнання елеватора, його кількість, орієнтовна вартість на базовому і проєктному силосному комплексі для зберігання зерна та посівного матеріалу представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Перелік обладнання, його кількість, вартість на базовому і проєктованому комплексах післязбиральної обробки і зберігання зернового матеріалу

Найменування обладнання, марка	Вартість, тис. грн	Кількість, шт		Вартість, тис. грн	
		<i>базовий</i>	<i>проєкт</i>	<i>базовий</i>	<i>проєкт</i>
1	2	3	4	5	6
Завальна яма з ланцюговим або стрічковим конвеєром	250	2	2	500	500
Конвеєр ланцюговий або стрічковий	320	2	2	640	640
Норія, НВ-250/30	1400	2	2	2800	2800
Конвеєр ланцюговий КСВ-250 (У9-УКЦ 450/21)	1300	2	2	2600	2600
Конвеєр ланцюговий КСВ-175/15	440	4	4	1760	1760
Зерноочисна машина: ТАС204А-4	3600	2	2	3600	3600
Норія, НВ-175/22	800	1	1	800	800
Конвеєр ланцюговий КСВ-175/31	800	1	1	800	800

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Конвеєр ланцюговий КСВ-175/29	650	3	3	1950	1950
Зерносушарка СВМ-7-24	14500	2	2	29000	29000
Норія, НВ-175/30	900	4	4	3600	3600
Конвеєр ланцюговий КСВ-175/17	460	18	18	8280	8280
Норія, НВ-175/34	1100	2	2	2200	2200
Конвеєр ланцюговий КСВ-175/11	300	2	2	600	600
Норія, НВ-175/36	1200	4	4	4800	4800
Конвеєр ланцюговий КСВ-50/12	220	2	2	440	440
Конвеєр ланцюговий КСВ-175/44	1000	1	1	1000	1000
Силосне зерносховище з пласким дном ВК.20.20.В12	4000	10	10	40000	40000
Конвеєр ланцюговий КСВ-175/7	250	2	2	500	500
Зачисний шнек	235	18	18	2115	2115
Ввід подвійний круглий, СВ08	1	20	20	20	20
Електрозасув, У12-ТЭА-15М	10	44	44	440	440
Магнітний сепаратор, МСН- 175	40	2	2	80	80
Фільтр локальний, ФЛ700	220	13	13	2860	2860
Конвеєр гвинтовий, КВ/14	140	2	2	280	280
Циклон, VR68/560-S1-290D	25	2	2	50	50
Датчик обриву ланцюга конвеєра, РДД-03А	3	2	2	6	6
Аерозольний затвор на норію, ЗАГ×п-1,0	13	13	13	169	169
Перекидний клапан на два напрями, SLK2×45×300	20	6	6	120	120
Перекидний клапан на три напрямки, К3×45×300	25	4	4	100	100
Датчик контролю обертання гвинтового конвеєра, РДД-02	4	2	2	8	8
Конвеєр ланцюговий КСВ-175/24	600	1	1	600	600

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Прилади лабораторії	400	9	9	400	400
ПВГК	40	0	10	0	400
Витрати на обладнання				113238	113518
Витрати на монтаж устаткування, 50% від вартості обладнання				56619	56759
Загальнобудівельні витрати, 40% від вартості обладнання				45295	45407
Витрати на пусконаладжувальні роботи, 7% від вартості обладнання				7927	7946
Інші витрати, 3% від вартості обладнання				3397	3406
Капітальні витрати, K				226476	227036
Капітальні додаткові витрати, K^{dod}					560

У середньому витрати на монтаж пристроїв та обладнання з урахуванням необхідних металоконструкцій становлять 50%. Загальнобудівельні витрати при виробництві елеваторів досягають 40%. Витрати на пусконаладжувальні роботи складають 5...10%. Інші витрати досягають 3% від вартості обладнання [38, 39].

Аналіз таблиці 4.1 показав, що для будівництва елеватора з одноразовим зберіганням 60000 т зернового матеріалу необхідно понад 226 млн. грн. Для модернізації комплексу необхідно ще **560 тис. грн** додаткових капіталовкладень. У зв'язку з додатково встановленим обладнанням на проєктованому комплексі експлуатаційні витрати будуть вище, ніж у базовому варіанті. Амортизаційні відрахування визначимо за формулою:

$$A_m = K \cdot N_a / 100, \quad (4.1)$$

де A_m – витрати на амортизацію, грн.; K – капітальні вкладення (табл. 4.1), грн;
 N_a – річна норма амортизації, при терміні служби елеватора 20 років $N_a=5\%$.

У базовому варіанті амортизаційні відрахування $A_m^{баз}$ складуть:

$$A_m^{баз} = K_{баз} \cdot N_a / 100 = 226\,476\,000 \cdot 5 / 100 = 11\,323\,800 \text{ грн.}$$

У проєктному варіанті амортизаційні відрахування A_m^{np} складуть:

$$A_m^{np} = K_{np} \cdot N_a / 100 = 227\,036\,000 \cdot 5 / 100 = 11\,351\,800 \text{ грн.}$$

Тоді додаткові амортизаційні відрахування, що викликані встановленням ПВГК при модернізації силосів, дорівнюватимуть:

$$A_m^{\text{дод}} = A_m^{np} - A_m^{\text{баз}} = 11\,351\,800 - 11\,323\,800 = 28\,000 \text{ грн} \quad (4.2)$$

Витрати на ремонт і технічне обслуговування визначимо за формулою:

$$P_m = K \cdot N_p / 100, \quad (4.3)$$

де P_m – витрати на ремонт і технічне обслуговування, грн; N_p – щорічна норма відрахувань на ремонт і технічне обслуговування обладнання. Для машин післязбиральної обробки врожаю, $N_p = 6\%$.

У базовому варіанті витрати на ремонт і технічне обслуговування $P_m^{\text{баз}}$ обладнання складуть:

$$P_m^{\text{баз}} = K_{\text{баз}} \cdot N_p / 100 = 226\,476\,000 \cdot 6 / 100 = 13\,588\,560 \text{ грн.}$$

У проєктному варіанті витрати на ремонт і технічне обслуговування P_m^{np} обладнання складуть:

$$P_m^{np} = K_{np} \cdot N_p / 100 = 227\,036\,000 \cdot 6 / 100 = 13\,622\,160 \text{ грн.}$$

Тоді додаткові витрати на ремонт і технічне обслуговування, викликані встановленням обладнання при модернізації, дорівнюватимуть:

$$P_m^{\text{дод}} = P_m^{np} - P_m^{\text{баз}} = 13\,622\,160 - 13\,588\,560 = 33\,600 \text{ грн} \quad (4.4)$$

Витрати на електроенергію для базисного і проєктного варіантів, визначаються за формулою:

$$C_{el} = Q_{el} \cdot \Pi_{el}, \quad (4.5)$$

де C_{el} – витрати на електроенергію, грн.; Q_{el} – річне споживання електроенергії, кВт·год; Π_{el} – середня ціна 1 кВт·год в Україні для сільгоспвиробників, $\Pi_{el} = 3,3$ грн.

За даними виробників, сумарна потрібна потужність базового варіанту елеватора становить 1024 кВт. При цьому річні витрати електроенергії Q_{el} досягають 5120000 кВт год [39]. Враховуючи однаковість електроспоживання для базисного і проєктного варіантів, додаткових затрат $C_{el}^{\text{дод}}$ не буде:

$$C_{el}^{\text{дод}} = 0 \text{ грн} \quad (4.6)$$

Загальні експлуатаційні витрати базового варіанту в рік складуть:

$$I_p^{баз} = A_m^{баз} + P_m^{баз} + C_{ел} \quad (4.7)$$

Загальні експлуатаційні витрати проєктованого варіанта в рік складуть:

$$I_p^{np} = A_m^{np} + P_m^{np} + C_{ел} \quad (4.8)$$

Тоді річні додаткові експлуатаційні витрати \mathcal{E}_I враховуючи (4.1)-(4.8) складуть:

$$\mathcal{E}_I = I_p^{np} - I_p^{баз} = A_m^{доп} + P_m^{доп} = 28\,000 + 33\,600 = 51\,600 \text{ грн} \quad (4.9)$$

Аналіз представлених розрахунків показав, що модернізація зерносховища позначається на підвищенні експлуатаційних витрат на 51 тис. грн на рік у порівнянні з базовим варіантом за рахунок установки ПВГК.

Однак на проєктованому зерносховищі, за рахунок обережного завантаження зерна можна отримувати не тільки товарне і фуражне зерно, а й посівний матеріал. Це розширює спектр виконуваних робіт і забезпечує отримання додаткової продукції. Крім того, якість товарного зерна буде вищою. Це пояснюється меншим пошкодженням зерна під час завантаження за рахунок ПВГК і відповідно більшою якістю та тривалістю зберігання зерна у силосах.

Розрахунок річного економічного ефекту від модернізації комплексу післязбиральної обробки і зберігання зернового матеріалу за рахунок реалізації додатково отриманої продукції зробимо в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Річний економічний ефект від модернізації комплексу післязбиральної обробки і зберігання зернового матеріалу

Показники	Базовий варіант	Проектний варіант
1	2	3
Річний обсяг оброблюваного зернового матеріалу, т:	60 000	60 000
- зерно четвертого класу (фуражне);	25 000	20 000
- зерно третього класу;	20 000	20 000
- зерно другого класу;	15 000	18 000
- насінневий матеріал	-	2 000

Продовження таблиці 4.2

1	2	3
Ціна тонни зернового матеріалу [40], грн / т: - зерно четвертого класу (фуражне); - зерно третього класу; - зерно другого класу; - насінневий матеріал		6 050 6 250 6 270 9 000
Вартість продукції на рік, тис. грн: - зерно четвертого класу (фуражне); - зерно третього класу; - зерно другого класу; - насінневий матеріал	151 250 125 000 94 050 -	121 000 125 000 112 860 18 000
Вартість продукції разом, тис. грн:	370 300	376 860
Коефіцієнт оборотності	2	2
Вартість продукції з урахуванням оборотності, тис. грн	740 600	753 720
Річний економічний ефект E , грн		13 120 000

Враховуючи (4.1)-(4.9) і наведені дані у табл. 4.1-4.2, термін окупності проекту при установці ПВГК на 10-ти силосах даного зерносховища буде:

$$T = (K^{од} + \mathcal{E}_I) / E = (560\,000 + 51\,600) / 13\,120\,000 \approx 15 \text{ днів.}$$

Потрібно враховувати, що оборотність зберігання зерна у зерносховищах рівна 2-ом, тому реальна окупність одночасно з прибутком буде досягнута не раніше ніж за 4-6 місяців.

Висновки по розділу

Піклування про збереження довкілля на зерносховищах здійснюється за допомогою впровадження системи екологічного менеджменту. Вона покликана: запобігати ліквідації вогнищ самозаймання; ефективно знепилювати усі технологічні вузли зерносховища; зводити до нуля викиди пилу і розсипи зерна при переміщенні зерновою по елеватору; запобігати можливим вибухам на зернових елеваторах; здійснювати заходи для зниження викидів пилу у атмосферу та підвищувати ефективність роботи аспіраційних мереж та установок.

Основні вимоги до обслуговуючого персоналу зерносховищ: наявність відповідного спецодягу і респіраторів; регулярне проходження навчання та підвищення кваліфікації; працівники спускаються у силосні приміщення тільки у виняткових випадках через письмове розпорядження начальника цеху.

Вимоги до силосів: люки силосів повинні закриватися заслонками; у процесі відкриття службових лазів необхідне їх міцне оточення перилами, висотою не меншою ніж 1 м; якість повітря повинна регулярно перевірятися; випускаючі воронки, що подають зернову масу потрібно забезпечити горизонтальними ґратками; аспіраційне повітря мереж необхідно очищувати за допомогою циклонів або фільтрів.

Обладнання, механічні пристрої, виробничі апарати, самоплинні транспортні засоби та інші пристосування зерносховищ повинні бути розміщені так, щоб їх монтаж, ремонт і обслуговування були безпечними та зручними.

Розрахунок річного економічного ефекту від модернізації зерносховища за рахунок установки у 10-ти силосах розробленого ПВГК показав високу його ефективність і окупність на протязі 4-6 місяців. Це відбувається за рахунок більш обережного завантаження зерна у силоси і відповідно меншого його травмування. Така модернізація дає змогу зберігати зерно більш високої якості та особливо цінний насіннєвий матеріал, що є більш економічно вартісним.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Проведений аналіз існуючих технічних пристроїв і засобів завантаження силосів зерновим матеріалом, а також наявних відповідних теоретичних та практичних досліджень дозволив провести їх загальну класифікацію та показав, що незважаючи на значну кількість наукових досліджень, присвячених питанням травмування зерна під час його завантаження у силос, проблема досі залишається актуальною і не до кінця вирішеною. Існуючі технічні пристрої і засоби завантаження силосів зерновим матеріалом, а також наявні теоретичні аналітичні моделі та практичні дослідження, не в повній мірі задовольняють потреби виробництва. Зокрема, недостатньо освітлена проблема регулювання, контролю та зменшення швидкості руху зерна під час виконання операції його завантаження у силоси.

2. Згідно із проведеним дослідженням представлено та обґрунтовано теоретичну модель швидкості руху зерна по гвинтовій лінії із двома змінними кутами. Модель дає змогу знаходити швидкість руху зерна у будь-який момент часу, враховує висоту отвору бункера від краю розгінної ділянки та залежність між кутами нахилу спіралей розгінної та гальмівної ділянок. Наведено співвідношення, що визначає час за якого зерно переходить із розгінної до гальмівної частини гвинтового каналу, а швидкість досягає максимального значення.

3. Окремо виведено залежність між кутами розгінної та гальмівної частини гвинтового каналу, що забезпечує проходження зерна без його згруження на будь-якій ділянці пристрою та водночас запобігає травмуванню зернової маси за рахунок контрольованого зменшення кінцевої швидкості.

4. Досліджено основні параметри аналітичної моделі швидкості руху зерна у відкритому гвинтовому каналі із двома змінними кутами нахилу. Запропонована аналітична модель враховує радіус та висоту силоса, кути нахилу розгінної та гальмівної ділянок гвинтового жолоба, кількість витків спіралей, початкову швидкість зерна, а також коефіцієнт тертя-ковзання між зерновою масою та поверхнею жолоба.

5. На основі наведеної теоретичної моделі запропонований периферійний відкритий гвинтовий канал. Пристрій запобігає травмуванню зерна завдяки наявності в ньому одночасно розгінної і гальмівної гвинтової ділянки з двома різними кутами нахилу витків спіралі до горизонту. Для даного каналу встановлено взаємозв'язки між його ключовими параметрами, зокрема обґрунтовано значення рекомендованих кутів $41^\circ \dots 45^\circ$ для розгінної та $39^\circ \dots 35^\circ$ для гальмівної ділянок відповідно, а також відношення між висотою отвору бункера та радіусом силосу не менше 0.6...0.7.

6. Статистичний аналіз експериментальних даних та значень залишків кінцевої швидкості сходу зерна вказує на достатній рівень та точність проведених досліджень. Однорідність дисперсій досліджень, коефіцієнт множинної кореляції експериментальних та теоретичних даних кінцевої швидкості $R=0,998$, середня відносна похибка залишків 9,85% та їх нормальний розподіл свідчать про адекватність розробленої моделі. Співставлення теоретичних та експериментальних значень максимальної та кінцевої швидкості руху озимої пшениці вологістю 14% за величиною відносних похибок вказує на прийнятно високий рівень точності розробленого експериментального зразка ПВГК. Відмінність отриманих результатів не перевищує 12%, що дає можливість застосування моделі та ПВГК для подальших дослідницьких цілей.

7. Розрахунок річного економічного ефекту від модернізації зерносховища за рахунок установки у 10-ти силосах розробленого ПВГК показав високу його ефективність і окупність на протязі 4-6 місяців. Це відбувається за рахунок більш обережного завантаження зерна у силоси і відповідно меншого його травмування. Така модернізація дає змогу зберігати зерно більш високої якості та особливо цінний насіннєвий матеріал, що є більш економічно вартісним. Перспективами подальших досліджень є вивчення доцільності розробки ПВГК з трьома різними кутами нахилу, а також дослідження потреби виготовлення ПВГК з різних матеріалів, залежно від їх фрикційних властивостей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kong E, Liu, D., Guo X., Yang W., Sun J., Li X., Zhan K., Cui D., Lin J., & Zhang A. Anatomical and chemical characteristic associated with lodging resistance in wheat. *The Crop Journal*. 2013. Vol. 1 No10, P. 43–45.
2. Boumans G. *Effektivnaya obrabotka i khraneniye zerna*. M.: Agropromizdat, 1991.
3. Горюшинский И.В., Кононов И.И., Денисов В.В., Горюшинская Е.В., Петрушкин Н.В. Емкости для сыпучих грузов в транспортно-грузовых системах: учебное пособие. Самара : СамГАПС, 2003. 232 с.
4. Комченко Е.В., Басюк С.П. Влияние материала стенок бункера на истечение различных сыпучих материалов. *Энергосбережение и энергосберегающие технологии в АПК*. 2003. №1. С. 145–149.
5. Горюшинский И.В., Мосина, Н.Н. К вопросу оценки процесса загрузки емкостей сыпучими материалами. *Сборник научных трудов студентов, аспирантов и молодых ученых СамИИТ*. 2001. №3. С. 83–84.
6. Горюшинский И.В., Мосина Н.Н. Повышение качества функционирования бункерных хранилищ улучшением их загрузки. *Пути повышения эффективности АПК в условиях вступления России в ВТО. Материалы международной научно-практической конференции (к XIII международной выставке «АГРО-2003»)*. 2003. С. 343–345.
7. Тарасенко А. П., Оробинский В. И., Гиевский А. М., Баскаков И. В., Чернышов А.В., Харитонов М.К. Снижение травмирования зерна при послеуборочной обработке. *Вестник аграрной науки Дона*. 2019. №1. С. 63–68. URL: <https://readera.org/140243652>
8. Тарасенко А.П., Оробинский В.И., Гиевский А.М., Мерчалова М.Э. Совершенствование средств механизации для получения качественного зерна. *Вестник Воронежского государственного аграрного университет*. 2012. №3. С. 109–115.
9. Тарасенко А.П., Жарких В.Ю. Обзор технических решений для

равномерной загрузки зерноочистительных машин. *Научно-исследовательские публикации*. 2015. №3(23). С. 76–81.

10. Строна И. Г. Травмирования семян зерновых культур и урожаев. *Биология и технология семян*. 1974. №2. С.122–129.

11. Чазов С.А., Шеляпень П.А., Воцкий З.З. Травмирования семян и пути снижения при механизированной обработке, обмолоте, сортировании. *Украинские нивы*. 1981. №8. С. 41–43.

12. Дерев'янюк Д.А., Сукманюк О.В., Сарана В.В., Дерев'янюк О.Д. Обґрунтування впливу робочих органів зернозбиральних комбайнів на пошкодження і якість насіння. *Вісник аграрної науки*. 2020. №2. С. 64–71. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202002-10>.

13. Купеенко А.И., Исаев Х.М., Бычков И.Е. Повышение эффективности загрузки емкостей сельскохозяйственного назначения. *Конструирование, использования и надежность машин сельскохозяйственного назначения*. 2019. №1. С. 462–469.

14. Черный А. С. Пути снижения повреждаемости семян при работе зерновой норы НЗ-20. *Труды ЧИМЭСХ*. 1973. №62. С. 270–275.

15. Fraczek J., Ślipek Z. Fatigue strength of wheat grains. Part 1. The analysis of grain deformation at multiple loads. *International Agrophysics*. 1999. Vol. 13. No 1. P. 93 – 97. URL: <http://www.international-agrophysics.org/Fatigue-strength-of-wheat-grains-Part-1-The-analysis-of-grain-deformation-at-multiple,106935,0,2.html>

16. Omarov A., Müller P., Tomas J. Influence of loading rate on the deformation and fracture behavior of wheat grains. *Chemie-Ingenieur-Technik*. 2013. Vol. 85. No 6. P. 907-913 doi:<https://doi.org/10.1002/cite.201200054>

17. Борщев В.Я., Долгунин В.Н. Характеристики сдвигового потока зернистой среды и рекомендации по организации технологических процессов. *Вестник ТГТУ*. 2006. №12. С. 401–407. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/harakteristiki-sdvigovogo-potoka-zernistoy-sredy-i-rekomendatsii-po-organizatsii-tehnologicheskikh-protsessov/viewer>

18. Долгунин В.Н., Борщев В.Я. Быстрые гравитационные течения зернистых материалов: техника измерения, закономерности, технологическое применение. Москва : Машиностроение, 2006.

19. Сэвидж С. Гравитационное течение несвязанных гранулированных материалов в лотках и каналах. *Механика гранулированных сред: Теория быстрых движений*. 1985. С. 86-146.

20. Leuthe F., Eisenhauer N., Hofmann B., Maier M., Roth, K. The movement of a dune of non-uniform grain size in a circular pipe flow. *International Conferences on Transport and Sedimentation of Solid Particles*. 2017. С. 185-192.

21. Мельник В.І., Самойленко Т.В. Аналіз напрямків удосконалення конструкцій пристроїв для завантаження силосів. *Інженерія природокористування*. 2018. № 1(9), С. 83-91. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Iprk_2018_1_13

22. Dancey C.L., Diplas P., Papanicolaou A., Bala M. Probability of individual grain movement and threshold condition. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2002. Vol. 128. No12. P. 1069–1075. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2002)128:12(1069)

23. Pylypaka S., Nesvidomin V., Zaharova T., Pavlenko O., Klendiy M. The investigation of particle movement on a helical surface. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2020. P. 671–681.

24. Ren J.-L., Zhou J.-N., Han L., Hu Y.-J. Analysis of the Law Governing the Movement of Bulk Materials in a Vertical Helical Conveyer. Reneng Dongli Gongcheng. *Journal of Engineering for Thermal Energy and Power*. 2018. Vol. 33. No 6. P. 77–82 and 136.

25. Борщев В.Я., Долгунин В.Н., Дронова М.Ю. Каскадная гравитационная сепарация зернистых материалов: Особенности технологии и моделирование. *Вестник ТГТУ*. 2005. №4. С. 903–909. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kaskadnaya-gravitatsionnaya-separatsiya-zernistykh-materialov-osobennosti-tehnologii-i-modelirovanie/viewer>

26. Антипов С.Т., Журавльов А. В., Нестеров Д.А., Посмерьев В.В.

Математическое моделирование движения зерна проса в сушильном аппарате со взвешенно-закрученным слоем. *Технология пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*. 2015. №4. С. 46-53. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-dvizheniya-zerna-prosa-v-sushilnom-apparate-so-vzveshenno-zakruchennym-sloem/viewer>

27. Negi S.C., Lu Z., Jofriet J.C. A Numerical Model for Flow of Granular Materials in Silos. *Model Validation School of Engineering*. 1997. 68(3). 231-236. doi: 10.1006/jaer.1997.0197

28. Ukolov A., Dolgunin V., Romaanof A., Klimov A. Gravity separation technology of particulate materials of high uniformity. *International Conference on Practical Aspects Technology*. 2001. P. 215-218.

29. Шацкий В.П., Оробинский В.И., Попов А.Е. Моделирование движения зернового потока в гравитационном сепараторе. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2015. №4(47). С. 72-79. URL: <http://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2015/11/72-79.pdf>

30. Морозов І.В., Дудін О.В. Модель траєкторії руху зерна по поверхнях сільськогосподарських машин. *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства «Механізація сільськогосподарського виробництва»*. 2003. №21. С. 124-131.

31. Гевко Б.М. Математична модель руху зерна по рухомим поверхням висівних апаратів. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Технічні науки*. 2012. №11(1). С. 113-118.

32. Леженкін О., Головлєв В., Михайленко О., Рубцов М. Математична модель руху часточки обчисаного вороху зернових у повітряному потоці. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. №19(3), С. 14-21.

33. Науменко, М. М., Сокол, С. П., Філіпенко, Д. В., Гурідова, В. О. (2017). Математична модель руху зернової суміші в циліндричному решеті, що обертається навколо осі. *Геотехнічна механіка*, 133, 250-256.

34. Арендаренко В.М., Антонєць А.В., Савченко Н.К., Самойленко Т.В.,

Іванов О.М. Розрахункова модель гравітаційного руху зернового матеріалу в похилому каналі з дискретно змінним кутом нахилу. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. №4. С. 273-282. doi: 10.31210/visnyk.2020.04.35. URL: <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2020/04/35.pdf>

35. Самойленко Т.В., Арендаренко В.М., Антонєць А.В. Кінематика руху зерна по спіральному пристрою зі змінним кутом спуску. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. №1. С. 267-274. doi: 10.31210/visnyk2020.01.31. URL: <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2020/01/31.pdf>

36. Arendarenko V., Antonets A., Ivanov O., Dudnikov I., & Samoilenko T. Building an analytical model of the gravitational grain movement in an open screw channel with variable inclination angles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 3. No 7(111). P. 100-112. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235451>

37. Лапенко Т.Г. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в дипломних роботах. Полтава : ПДАА, 2011. 28 с.

38. Економіка підприємства: Підручник [Електронний ресурс]. URL: <http://www.readbook.com.ua/book/6/109/>

39. Зберігання і переробка продукції рослинництва: навч. Посібник / Г.І. Подпрятков, Л.Ф.Скалецька, А.М. Сеньков, В.С. Хилевич. К. : Мета, 2002. 495с.

40. G.R. Agro. Цена закупки пшеницы сегодня [Електронний ресурс]. URL: <https://gr-agro.com/ru/zakupochnye-tseny/pshenitsa-2-kl/>

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А 1 – Обчислення теоретичної максимальної та кінцевої швидкості засобами MS Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	HO= 0,2		мо= 0,3		V0=	1,980909		Pr= 1										
2	r= 0,22							пг= 1,25										
3	альфа	бета	tр max	K1р	K2р	Vmax роз	C3r	C1r	hр	Lр	t max	C3р	C1р	пг=	hг	K1г	K2г	Vкінцева
4	39	41,467	1,730904	4,7343	0,74665	1,84076	1,158428	6,50245	1,1188	1,777787	1,7309038	1,981	0	0,9642	1,17723	5,03572	0,99866	
5	40	40,467	1,655534	4,8566	0,84596	1,882672	1,210158	6,5555	1,1593	1,803551	1,655534227	1,981	0	0,9931	1,17052	4,91365	0,89361	
6	41	39,467	1,590643	4,9788	0,94912	1,92748	1,264541	6,61222	1,20101	1,830638	1,590842652	1,981	0	1,0229	1,16361	4,7914	0,79261	1,980909
7	42	38,467	1,53472	5,1007	1,05631	1,974829	1,321418	6,67083	1,244	1,859128	1,534719894	1,981	0	1,0536	1,15649	4,66902	0,69568	1,970000
8	43	37,467	1,48561	5,2225	1,1675	2,024481	1,380693	6,73005	1,28836	1,8891	1,485609873	1,981	0	1,0853	1,14914	4,54652	0,60283	1,990000
9	44	36,467	1,442337	5,344	1,28267	2,076287	1,44231	6,78889	1,3342	1,92065	1,442337126	1,981	0	1,118	1,14155	4,42394	0,51406	1,980909
10	45	35,467	1,403995	5,4652	1,40178	2,130148	1,508243	6,84656	1,3816	1,953877	1,403995823	1,981	0	1,1518	1,1337	4,30129	0,42945	1,980000
11	46	34,467	1,369877	5,5861	1,5248	2,186015	1,572487	6,90242	1,43069	1,988891	1,369876585	1,981	0	1,1868	1,12557	4,17861	0,34895	
12	47	33,467	1,339415	5,7067	1,65168	2,243861	1,641056	6,95595	1,48158	2,025811	1,339415112	1,981	0	1,2232	1,11714	4,0559	0,27259	

Таблиця А 2 – Статистичне обґрунтування однорідності дослідних даних за критерієм Кокрена засобами MS Excel

13	Статистичне обґрунтування моделі, побудованої на основі експерименту вимагає перевірки: однорідності дисперсій (критерій Кокрена) дослідних даних, та адекватності моделі (за F-критерієм Фішера)																		
14																			
15	№ досліді									Результати досліді	Дисперсії я досліді	Теоретичні дані V кінцевої	Залишки (різниця між теоретичним і експериментальними даними)						
16		альфа	бета	повторювані дослідження V кінцевої					(середні)										
17	1	41	39,46679	1,98	1,9	2,6	2,3	1,9	2,136	0,09448	1,980909	0,155091118							
18	2	42	38,46679	1,8	1,8	1,7	1,8	1,9	1,8	0,005	1,970000	-0,17							
19	3	43	37,46679	2,1	2,2	2,2	2	2,4	2,18	0,022	1,990000	0,19							
20	4	44	36,46679	2,1	2,2	2	2,4	2,3	2,2	0,025	1,980909	0,219091118							
21	5	45	35,46679	1,7	1,7	1,8	1,8	2,1	1,82	0,027	1,980000	-0,16							
22									Дисперсія	0,034696		0,162654173							
23		N= 5	кількість дослідів						Похибка експерименту=	0,186269		0,325308345							
24		r= 4	кількість паралельних дослідж						Макс дисперсія=	0,09448									
25		g= 3	Кількість значущих коефіцієнтів						Сума дисперсій=	0,17348									
26									G спостер=	0,544616									
27																			
28		альфа= 0,05	рівень значущості																
29																			
30	Перевірка однорідності дисперсій за критерієм Кокрена																		
31	Чисельник=	8,6491																	
32	Знаменник=	12,649																	
33	G_табл=	0,6838 критичне значення критерію Кокрена																	
34	Висновок=	Дисперсії однорідні																	
35		Застосування критерію Кокрена для перевірки однорідності дисперсій (спостережене менше довічного критичному)																	
36																			

