ПОЛТАВСЬКА ДЕРЖАВНА АГРАРНА АКАДЕМІЯ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технологій та обладнання переробних і харчових виробництв

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»
бакалавр, магістр

на тему: «Покращення експлуатаційних характеристик накопичувальних резервуарів для зберігання зернового матеріалів»

Виконав: здобувач вищої освіти за освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 208 Агроінженерія
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи __
ДОМНЕНКО В. В.
Прізвище та ініціали студента
Керівник: САКАЛО В.М.
Прізвище та ініціали керівника
Рецензент: ІВАНКОВА О. В.
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Актуальність. На сучасному підприємстві транспортні та технологічні лінії взаємопов'язані і є єдиною виробничою системою. Відрегульована організація та безперешкодна робота цехового транспорту є безумовною умовою якісної роботи підприємства, як і раціональна організація виробничих процесів.

Робота транспортно-технологічних ліній загалом безпосередньо впливає на збереження сипучих мас та його якість. Порушення безперебійної роботи допоміжного обладнання збільшує час вантажно-розвантажувальних операцій, призводить до необхідності використання ручної праці. Отже, покращення названих пристроїв для сипких матеріалів різної зв'язності є актуальним завданням.

Підвищити ефективність роботи транспортно-технологічних ліній можна шляхом удосконалення їх елементів і, зокрема, бункерно-силосних систем. Велика кількість наукових розробок з бункерного обладнання та процесів, що протікають у їхній порожнині практично не застосовується. Проектування ведеться на основі простих розрахунків та грубих припущень. Сприйняття сховищ сипких матеріалів як простих технічних об'єктів не забезпечує розвитку їх технічного стану.

Особливо велика потреба у сховищах бункерно-силосного типу на комбікормових заводах. Посилення вимог до якості комбікормів призвело до розширення рецептури із залученням нових компонентів.

Таким чином, для повної механізації та автоматизації процесів завантаження, зберігання та випуску сипких матеріалів бункерні пристрої повинні забезпечувати високу пропускну здатність при низьких енерговитратах та відсутності ручної праці.

Мета дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності функціонування сільськогосподарських ємностей шляхом розробки пристрою управління технологічним процесом завантаження, зберігання і вивантаження компонентів комбікорму, що знаходяться в них.

У відповідності до мети в роботі вирішувались наступні завдання:

– виконати аналіз технологічних схем пристроїв, що використовуються для ефективного завантаження сипучих матеріалів та розвинути класифікацію цих пристроїв;

– розробити конструкцію сховища з блоком управління технологічного процесу та отримати його параметричну модель з метою визначення параметрів, що впливають на режими функціонування;

– провести експериментальні дослідження запропонованої конструкції бункера та визначити його конструктивно-технологічні параметри;

– перевірити виробничими дослідженнями правильність обраних конструктивно-технологічних параметрів бункера з блоком управління технологічного процесу та виконати економічну оцінку ефективності його роботи.

Об'єкт дослідження – процеси завантаження, зберігання та випуску компонентів комбікорму з ємностей із застосуванням пристрою управління функціонуванням ємності.

Предмет дослідження – закономірності впливу пристрою управління режимами роботи ємності на процеси завантаження, зберігання та вивантаження компонентів комбікорму.

Методика досліджень. Постановку експериментальних досліджень проводили відповідно до чинних стандартів і розроблених індивідуальних методик.

Обробка результатів досліджень проводилася за допомогою ПК та використанням програмних продуктів: табличного процесора Microsoft Excel, математичного редактора STATISTICS, програмного забезпечення Autocad та MATLAB.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Оригінальне представлення процесу функціонування ємностей з пристроєм управління технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження комбікорму та його компонентів;

2. Отримані апроксимовані рівняння, що відображають функціональний зв'язок між характерним параметром та конструктивними параметрами технологічного

засобу керування процесами завантаження, зберігання та вивантаження сипкого матеріалу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у:

1. Інноваційна конструкція пристрою управління технологічними процесами завантаження, зберігання та завантаження.

2. Методика розрахунку конструктивно-технологічних параметрів розробленого пристрою управління технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження;

3. Оптимізовані параметри решіт (довжина, кут нахилу та ширина щілини) для різних сипких матеріалів, які дозволяють підвищити значення параметра оптимізації, що поєднує коефіцієнт рівномірності та коефіцієнт сегрегації.

1 СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Технологічні процеси функціонування сховищ для сипучих матеріалів

Зернові матеріали, комбікорм використовуються у тваринництві протягом усього року, а збирання зернових культур здійснюється у певний період часу. У зв'язку з цим необхідно зберігати зернові матеріали в бункерах та силосах до їх реалізації.

Бункери та силоси є акумулюючими пристроями після того, як зернові матеріали прибрали з полів. Вони є однією з важливих ланок між споживачами та виробниками. Для того щоб забезпечувалося безперебійне відвантаження споживачам, необхідно щоб бункера і силосу відповідали цим умовам:

– механізація та автоматизація всіх операцій з обробки зернових матеріалів;

– в процесі завантаження, зберігання та вивантаження забезпечувалася якісна та кількісна безпека зернового матеріалу;

– дотримання санітарно-гігієнічних вимог;

– забезпечувався захист від птахів, гризунів та навколишнього середовища;

– геометрія бункерів і силосів не повинна бути порушена, а також своєчасно виявляти появу тріщин і щілин.

Залежно від місця призначення зерна та продуктів його переробки, транспортно-складські комплекси поділяються на три ланки. До першої ланки відносять заготівельні склади. До другого – проміжні, базисні, перевалочні та фондові. До третьої ланки виробничі транспортно-складські комплекси (ТСК), портові та реалізаційні.

Заготівельні ТСК у великих та приватних агровиробників приймають зернові матеріали та виробляють первинну обробку та зберігання. Потім відправляють на складські підприємства другої та третьої ланки. Відвантажуються на залізничний та водний транспорт. Заготівельні підприємства мають велику місткість і продуктивність, що дозволяє забезпечити обробку всього врожаю, протягом усього періоду збирання. Основою функцією є відпустка зерна з меншою продуктивністю.

Базисні ТСК – призначені для поточного споживання зерна та зернопродуктів. До основних операцій належать: прийом зерна, очищення від каменів лушпиння та пилу, сушіння, тривале зберігання та навантаження на транспорт. Базисні елеватори розташовані на перетині залізничних та водних шляхів, на залізничних вузлах, тому вони мають більшу продуктивність обладнання та величезну місткість.

Перевалочні ТСК призначені для перевантаження з одного виду транспорту на інший, у зв'язку з цим обладнання, що транспортує, відрізняється високою продуктивністю.

Держава організовує фондові сховища до створення резервів. Термін зберігання зерна та зерно продуктів приблизно становлять 3-4 роки [1]. Отже, у процесі зберігання необхідно підтримувати якість матеріалу, тобто проводити очищення, сушіння, провітрювання зернової маси.

Виробничі ТСК – забезпечують зерном та зернопродуктами борошномельні, комбікормові, маслоробні та інші переробні підприємства. Такі сховища мають запас сировини на 5-6 місяців, щоб у разі потреби відпускати зерновий продукт підприємствам.

Для відвантаження зернового матеріалу на експорт використовуються портові транспортно-складські комплекси (ТБК). Після того, як зерно приймають з водного або залізничного транспорту, партію зернового продукту готують на експорт, тобто очищають і просушують. Для своєчасного завантаження транспортних суден та залізничного рухомого складу та зменшення їх простою портові ТСК повинні бути оснащені вантажно-розвантажувальними машинами великої продуктивності.

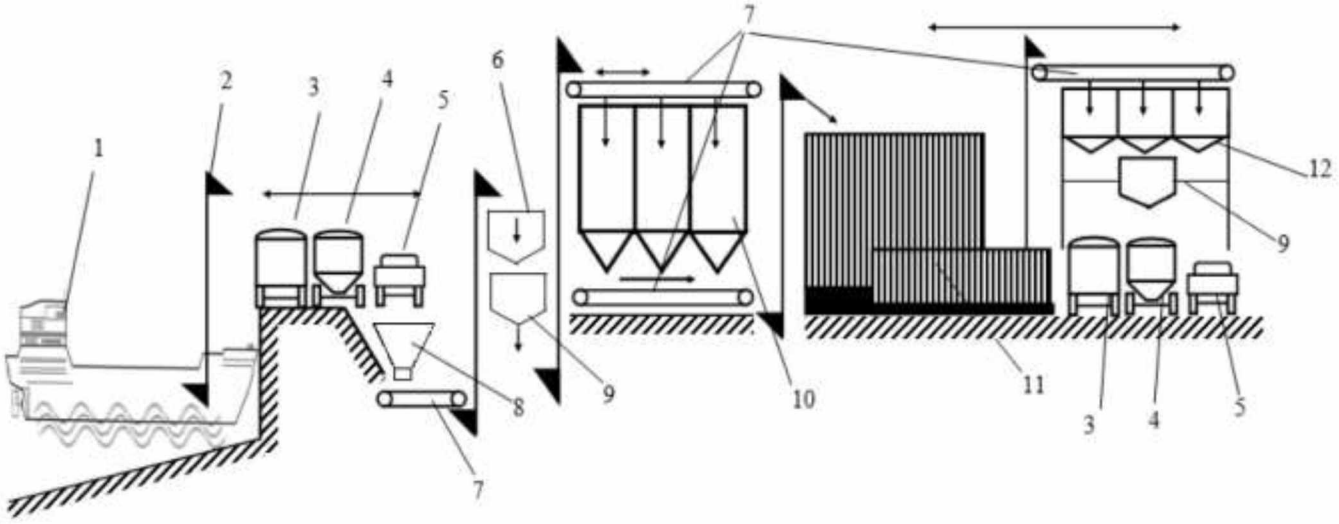
Реалізаційні ТСК призначені для відвантаження зерна та продуктів його переробки споживачам. Матеріали приймають в основному із залізничного транспорту, потім покращують їхню якість, зберігають і відвантажують, як правило, на автомобільний транспорт.

Усі названі ТСК крім своїх основних функцій частково виконують функції інших типів комплексів. Завдяки поєднанню операцій, шлях виробництва до споживача скорочується, збільшується продуктивність праці, а витрати звернення зменшуються.

У ТСК зернові матеріали та продукти помелу можуть зберігатися як у тарі, так і насипом. Однак, як відомо, зберігання в тарі є одним із дорогих способів [1].

Безтарна технологія – це основний спосіб зберігання зерна та зернопродуктів. При цьому обсяг та площа зерносховищ використовується набагато ефективніше, ніж при зберіганні в тарі. ТСК завдяки бункерам і силосам мають невеликі складські площі, оскільки останні дозволяють зберігати сипучі матеріали в ємності заввишки від 30 до 60 метрів [25].

На рисунку 1.1 представлена схема ТСК, яка може бути основою будь-якого типу сховищ. Після того, як транспорт прибуває на територію складу, сипкий матеріал потрапляє у приймальні бункери, потім за допомогою конвеєрів у накопичувальну та вагову ємність, а потім, силосу, на зберігання. Згодом зерновий матеріал потрапляє у технологічну лінію виробництва. Для завантаження транспортних засобів використовуються відпускні бункера.



1 – судно; 2 – ковшовий завантажувач; 3 – критий вагон; 4 – вагон-хопер; 5 – автомобіль; 6 – накопичувальна ємність; 7 – скребковий конвеєр; 8 – приймальний бункер; 9 – ваговий бункер; 10 – силосний корпус; 11 – переробне підприємство; 12 – відпускні бункери

Рисунок 1.1 – Схема транспортно-складського комплексу

Залежно від призначення бункера бувають приймальні та відпускні. Приймальні бункери повинні перевищувати обсяг кузова транспортних засобів та мають глибину від 1,5 до 5 метрів.

Бункерне і силосне зберігання має ряд переваг перед іншими способами, а саме, дає можливість:

– здійснювати механізований прийом та зручне зберігання матеріалу;
– надійно захищати від атмосферних опадів та псування гризунами та птахами;
– поєднання різного технологічного обладнання безперервної та дискретної дії;
– низькі енергетичні витрати та експлуатаційні витрати.

1.2 Вплив ударних навантажень на поверхню нижче шарів сипучої маси при завантаженні

У процесі заповнення висотних ємностей компактним струменем (самотеком) сипуча маса, падаючи з великої висоти, сильно ущільнюється у випускній лійці, що згодом веде до збільшення горизонтального тиску, що негативно позначається на подальшій експлуатації останньої. При відкритті випускного отвору маса сипучого матеріалу, що знаходиться на верхніх шарах, починає рухатися, і тиск у випускній воронці зростає, що негативно позначається на її функціонуванні [25].

Сипучий матеріал розподіляється більш рівномірно по перерізу силосу при заповненні його дощем і насипна щільність при даному методі засипання буде менше, ніж при завантаженні компактним струменем, отже, тиск на дно бункера частково зменшиться і при випуску сипучої маси вирва не відчуває таке навантаження, як при першому спосіб завантаження. Однак такий спосіб ефективний тільки для невеликих ємностей.

У разі завантаження силосу каскадним способом, матеріал тече по жолобах, гратах, полицях і осідає в ємності. Насипна щільність сипучої маси в даному випадку мінімальна, а тиск, який виникає в процесі зберігання та випуску розподіляється по каскадних жолобах і дно ємності не відчуває тиску.

1.3 Утворення сегрегації у сипучому середовищі

Сегрегація спостерігається у багатокомпонентних сипучих середовищ та з неоднорідним гранулометричним складом. Як говорилося раніше, при завантаженні відбувається сегрегація (розшарування) сипучої маси. З поверхні насипу до стінок

бункера скочуються більші частинки. Для комбікорму, який є багатокомпонентним матеріалом, сегрегація є вкрай небажаною.

У процесі завантаження силосів і бункерів, внаслідок значної висоти падіння понад 5 м та різної швидкості витання частинок сипучої маси відбувається його самосортування. На швидкість витання дуже впливає геометричні розміри і форми частинок сипучої маси (гольчасті, пластівцеві, лускаті). У зв'язку з чим у стінок накопичуються головним чином дрібні, легкі домішки, пил і мікроорганізми, а в центральній частині ємності розташовуються найбільші зерна і важкі мінеральні домішки (при багатокомпонентному вантажі). У насипі, що утворився, концентруються фракції з близькими фізичними властивостями. Вона характеризується поділом зернової маси по крупності, щільності, сипучості та аеродинамічних властивостях. При зберіганні сегрегація негативно впливає на зернову масу, оскільки створюються різні умови зберігання в різних частинах насипу. У периферійних зонах насипу, де накопичуються пошкоджені зерна та пилоподібні частинки, утворюються ділянки з підвищеною біологічною активністю, що може призвести до самозігрівання зернової маси, у зв'язку з чим її якість погіршується.

При заповненні сипучим матеріалом бункерів і силосів можливі два характерні випадки: гравітаційний та інерційний. Гравітаційне завантаження характеризується переважним впливом сил тяжіння зміни кількості контактів. Таке завантаження спостерігається переважно при падінні сипучого матеріалу з невеликої висоти. Сила тяжіння переважає над силою інерції, тому частинки насипного матеріалу взаємодіють з мінімальним числом контактів сусідніми частинками, внаслідок чого спостерігається найменша насипна щільність.

При завантаженні інерційним способом спостерігається, що у частинок сипучого матеріалу сила інерції розльоту більша за силу тяжіння. З висоти падіння сипучого матеріалу 2,5...3 м виявляються перші ознаки інерційного способу укладання. Сила інерції частинки переважає над силою тяжкості, тому відбувається велика кількість контактів частинок між собою та збільшується насипна щільність матеріалу. Висота падіння сипучого матеріалу від 2,5 до 5 метрів є прикордонною висотою переходу від одного способу завантаження до іншого.

При інерційному способі завантаження відбувається сегрегація. Розшарування матеріалу в повітряному потоці відбувається внаслідок аеродинамічних властивостей, які в свою чергу можуть залежати від стану повітряного середовища, де вони можуть перебувати, від розташування, ваги, стану та форми поверхні частинок, тобто від фізико-механічних властивостей сипучого матеріалу [10,25].

У процесі падіння на частку діють дві сили: сила тяжіння G і сила опору повітря R, які спрямовані у протилежні сторони. У зв'язку з цим виникають три випадки руху частинки: частка рухається вниз, коли сила тяжіння більше сили опору; частка рухається вгору, коли сила опору більше сили тяжіння; частка знаходиться в рівновазі, коли сили рівні між собою (рис. 1.2).

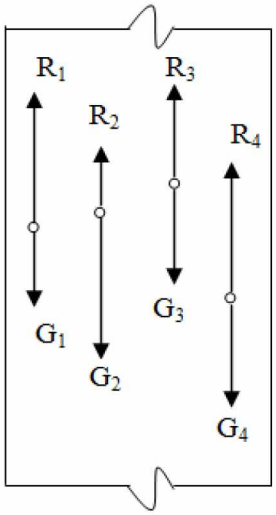


Рисунок 1.2 – Схема руху частинки

Таким чином, відношення сили опору повітря до тяжкості визначає, куди буде рухатися частка вниз або вгору, отже, частинки сипучого матеріалу будуть розділятися повітряним потоком в процесі падіння.

Труднощі у визначенні коефіцієнту опору ξ, а отже і R, полягає головним чином у тому, що частка рухаючись у потоці повітря, обертається; якщо частка має овальну форму, то при обертанні, очевидно, змінюватиметься площа F, а отже і сила R, за інших рівних умов.

Отже, сегрегація чи самосортування матеріалу відбувається під час завантаження бункерів та силосів. Але в процесі зберігання та випуску сипучого матеріалу також відбувається розшарування вантажу по фракційному складу.

Встановлено, що з випуску зернових вантажів із ємностей сегрегація посилюється. На характер самосортування впливає характер закінчення сипучого матеріалу, що у свою чергу залежить від форми силосів, розташування завантажувального та вивантажувального отвору. Існує три форми текучості для зернового продукту середньої сипучості: нормальне, асиметричне та симетричне, як показано на рисунку 1.3.

При нормальній текучості (рис. 1.3 а), матеріал спливає центральним потоком, спочатку вивантажується вертикальний шар сипучого матеріалу над випускним отвором, а потім бічні шари до випорожнення ємності. Якість зерна у центральному шарі набагато краще, ніж бічних шарів, тобто спостерігається сегрегація препарату. Такий вид закінчення виникає в силосах з симетрично розташованими завантажувальними та вивантажувальними отворами, а також з великим діаметром силосу.

Коли завантажувальний та вивантажувальний отвір розташований не симетрично в силосі з великим діаметром, виникає асиметричне закінчення зернового матеріалу (рис. 1.3 б). Даний вид закінчення також відбувається центральним потоком, який залучаються бічні шари з боку найбільшого скупчення зерна в першу чергу, а потім з боку найменшого скупчення зерна.

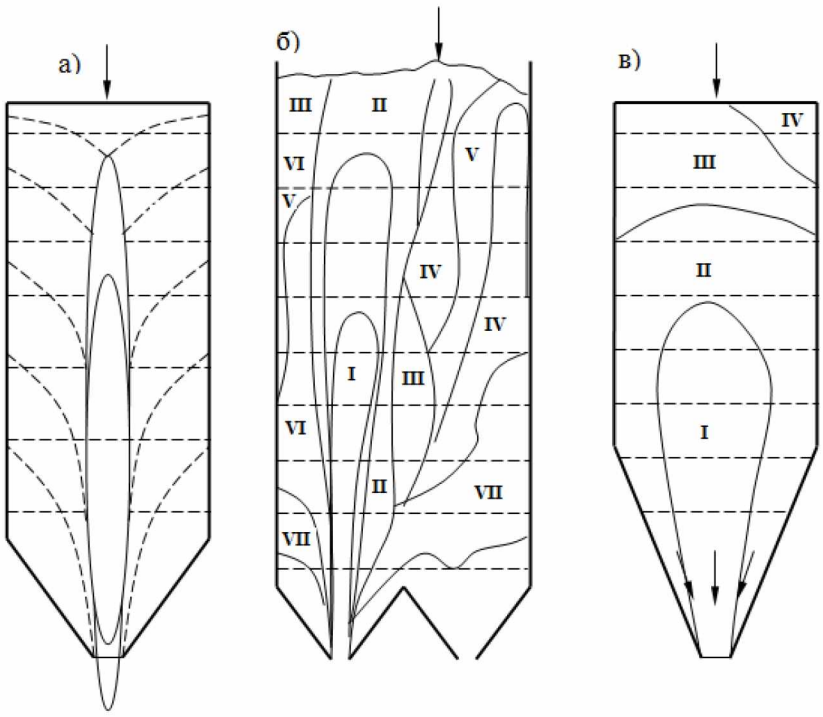


Рисунок 1.3 – Вид текучості зернового продукту

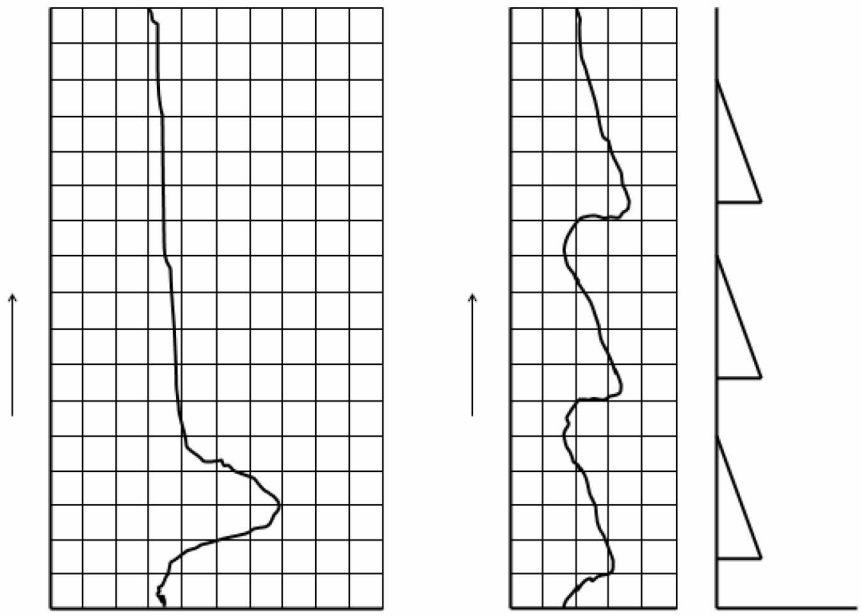
У силосах з малим діаметром спостерігається закінчення всієї зернової маси одночасно. Такий характер закінчення називається симетричним закінченням, рисунок 1.3в. При даному характері сегрегація продукту знижується до мінімуму і зменшується небезпека завалу матеріалу.

У процесі зберігання та переміщення комбікормів більш важкі компоненти (сіль, подрібнені зерна) переміщуються вниз, а легкі (висівки) на верх. Це призводить до того, що якість комбікорму погіршується і не відповідає рецепту, внаслідок чого можливі випадки отруєння тварин.

1.4 Вплив тиску сипучої маси за висотою сховища

Геометричні розміри ємності, а також фізико-механічні властивості сипучого матеріалу, істотно впливають на горизонтальне і вертикальний тиск [20].

Значний внесок у розвиток теорії та практики складування, зберігання та випуску сипких матеріалів у ємностях вніс американський вчений Е. Дженіке [9]. У процесі досліджень він з'ясував, що при функціонуванні ємності особлива дія на відхилення вертикального тиску від гідростатичного залежить від наявності зовнішнього коефіцієнта тертя сипучого матеріалу. При завантаженні ємності виникає максимальний вертикальний тиск, а при одночасному вивантаженні збільшується тиск на стінки ємності, тому зростає коефіцієнт зовнішнього тертя. В даному випадку тиск усередині ємності перевищує в два і більше разів, ніж тиск, розрахований за формулою Янсена. Е. Дженіке довів це експериментальним шляхом за допомогою рухомого вимірювального датчика, який переміщався зверху вниз з насипним вантажем [9]. Завдяки цим дослідженням була побудована крива, що показує, що у нижній частині ємності горизонтальний тиск збільшується. Отже, усередині бункера виникають сприятливі умови для виникнення про «динамічних склепінь» (рис. 1.4).



а) без застосування пристроїв для зняття навантаження; б) з клиновидними елементами

Рисунок 1.4 – Схема зміни горизонтального тиску на стінку

У процесі зберігання сипкого матеріалу динамічні склепіння переходять у статичні склепіння. Так як дрібні частинки під впливом зовнішніх сил (наприклад, вібрація) потрапляють у пори між великими, матеріал ущільнюється і в монолітній масі, що утворилася, виникає статичний звід.

Щоб уникнути цього негативного явища в ємностях усувають рівновагу сил, для цього на бічних стінках бункерів та силосів збільшують коефіцієнти тертя.

У зв'язку з цим швидкість сипучого матеріалу у зоні бічних стінках зменшується, а всередині сипучої маси відбувається рух, тобто. відбувається випереджальне переміщення.

Насправді це означає, що у процесі закінчення сипкого матеріалу динамічні склепіння, руйнуються під вагою вище лежачих шарів матеріалу, закінчення йде з пульсацією.

1.5 Про можливість регульованого випуску сипучої маси з ємностей

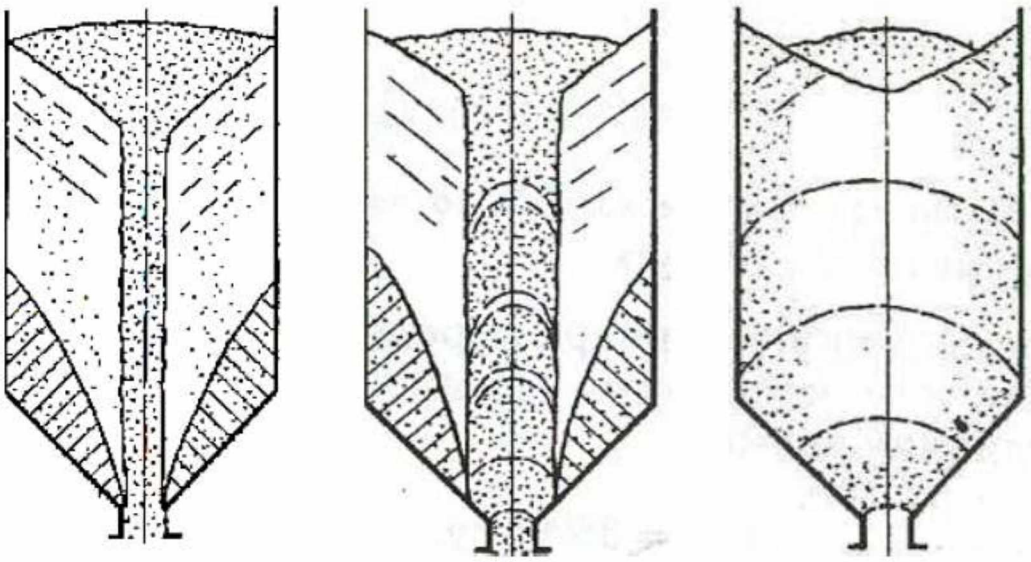
В.А. Богом'яких у монографії провів аналіз існуючих теорій сводоутворення, де пояснюються процеси, що відбуваються під час функціонування ємності: пульсація сипучих вантажів, вплив цієї пульсації на геометричні параметри ємності [2].

Виділяють три форми закінчення при вивантаженні зв'язкового сипучого матеріалу з ємностей (рис. 1.5).

Витік сипучого матеріалу малої зв'язності представлений на рисунку рис. 1.5 а, спочатку вивантажується вертикальний стовп сипучого матеріалу, розташованого над вивантаженим отвором, на поверхні матеріалу утворюється лійка, а потім вивантажується матеріал, розташований з боків ємності. Матеріал, що надійшов першим до ємності, вивантажується останнім.

На рисунку рис. 1.5 б показано переміщення матеріалу підвищеної зв'язності. Вивантажується аналогічно матеріалу малої зв'язності, але в процесі вивантаження відбувається пульсація матеріалу, так як у центральному потоці стовпа сипучого матеріалу виникають динамічні склепіння, потрібна регулююча дія.

Зберігання в ємностях сипучих матеріалів високої зв'язності не доцільно, оскільки статичні склепіння, що утворюються в ємності, можна порівняти з діаметром цієї ємності, закінчення не відбувається, потрібне примусове енергоємне розвантаження (рис. 1.5 в) [25].



а – мала зв’язаність; б – підвищеної зв’язаності; в – високої зв’язаності

Рисунок 1.5 – Види випуску матеріалу різної зв’язаності

Існує формула пропускної спроможності ємності від рівня завантаження та геометричних параметрів випускного отвору [9]:

$$Q = \lambda F_o \sqrt{2gh},\ \text{т/год} \qquad (1.1)$$

де λ - теоретичний коефіцієнт закінчення;

F_o – площа випускного технологічного отвору, м^2;

g - прискорення вільного падіння, м/с^2;

h - висота завантаження;

Професор В.А. Богом'яких розглядав закінчення матеріалу з бункерів і силосів з боку нестійких склепінь, тобто утворення та їх руйнування [2]. Але у кожній теорії є свої недоліки.

В.А. Богом'яких отримав формулу для визначення витрати сипучого матеріалу при гідравлічному руху:

$$q = Rr_в^2 \mu \sqrt{\frac{gr_в}{2tg\alpha} tg\omega\tau}, \text{ т/год} \qquad (1.2)$$

де $r_в$ – радіус вивантажувального отвору, м;

α - кут нахилу стінок вирви, град.

Ф.Є. Кенеман досліджував залежність витрати піску при вільному закінченні з конічних воронок з різними кутами нахилу до горизонту 75; 60; 45 і 30 ° [16] і довів, що кут нахилу вирви в ємності на витрату сипучого матеріалу не впливає. У зв'язку з цим він припустив, що на зміну витрати сипучого матеріалу впливає лише форма невеликої ділянки похилого днища, розташованого безпосередньо у вивантажувального отвору.

Виходячи з вище наведеного видно, що на всіх етапах функціонування силосів і бункерів: завантаження, зберігання, вивантаження та переміщення зерна та продуктів помелу відбуваються різноманітні процеси (сводоутворення, збільшення горизонтального тиску, пульсація, сегрегація), тобто. Різні фізико-механічні властивості сипучих вантажів проявляються лише в окремих технологічних процесах. Сегрегація чи самосортування сипучого матеріалу проявляється у всіх процесах функціонування силосів і бункерів, що дуже негативним чинником.

1.6 Висновки до першого розділу

Виходячи з вище розглянутих матеріалів з проблем функціонування висотних ємностей, можна зробити такі висновки. До цього часу не було жодної конструкції, яка б задовольняла всім вимогам.

Таким чином, необхідно розробити конструкцію висотного сховища з такими техніко-експлуатаційними характеристиками, які дозволять:

- рівномірно розподілити продукт, що зберігається, по всьому перерізу сховища;
- уникнути ущільнення сипучої маси, що зберігається, від падіння потоку завантажуваного матеріалу;
- мінімізувати явище сегрегації;
- поступово розподіляти тиск по всій висоті сховища;
- звести до мінімуму сводоутворення в порожнині сховища;
- мати можливість регульованого випуску сипучої маси, що зберігається;
- зберегти якість продукту, що зберігається;
- підвищити ефективність та безпеку виробництва.

1. Аналіз існуючих конструкцій для зберігання та випуску сипких матеріалів дозволив виявити шість основних якостей, якими повинні мати висотні сховища. Як зазначалося вище, щоб уникнути сегрегації, а також для забезпечення стабільності випуску, необхідно поєднувати пристрої, що відповідають за завантаження, зберігання та випуск сипучої маси з ємностей. Це дозволить здійснювати якісний та рівномірний випуск.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Задачі теоретичних досліджень

Відповідно до мети роботи та аналізу функціонування бункерів та силосів розроблено конструкцію бункера з керованим процесом завантаження, зберігання та вивантаження (рис. 2.1).

У порожнині бункера 1 по всій висоті розташовані в шаховому порядку перфоровані грати 2. Решета встановлені під кутом горизонтальної площини. Перетин бункера має форму квадрата. Розміри решіт збігаються з внутрішнім перетином бункера. У решеті є прямокутні отвори, розташовані перпендикулярно до руху сипучого матеріалу. Кут нахилу решіт регулюється за допомогою пасивного приводу 4. Вивантаження сипучого матеріалу відбувається через лійку 3.

Функціонування бункера відбувається в такий спосіб, решета встановлюються під заданим кутом до горизонтальної площині. Сипучий матеріал (комбікорм, висівки і т.д.) надходить початку першого решета. Завантажуваний матеріал ділиться на два потоки: частина матеріалу проходить крізь прямокутні отвори в решеті, а інша частина сходить з решета і потрапляє на друге решето, яке знаходиться на протилежній стінці бункера і т.д. до повного наповнення ємності.

Завантаження бункера відбувається комбінованим способом, частина сипучого матеріалу завантажується дощем, а інша каскадом, що забезпечує зниження швидкості потоку сипучого матеріалу. Завдяки такому завантаженню відбувається рівномірний розподіл сипучого матеріалу по всьому перерізу бункера, внаслідок чого матеріал у порожнині ємності знаходиться у розущільненому стані. У процесі випуску забезпечується зниження сегрегації до мінімуму.

Основною перевагою пропонованого бункера полягає в тому, що завантаження та вивантаження сипучого матеріалу відбувається за рахунок сили тяжіння (гравітації) самого матеріалу, електроенергія витрачається тільки на установку решіт під заданим кутом до горизонтальної площини до завантаження. Також у процесі функціонування ємності сипкий матеріал постійно перемішується, що призводить до відсутності сегрегації.

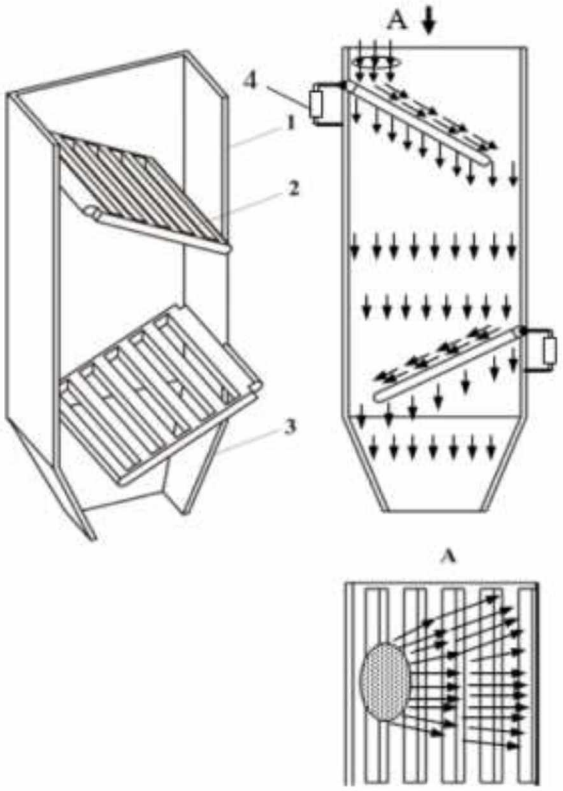


Рисунок 2.1 – Пристрій керування технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження сипучих матеріалів

Прогнозована схема функціонування пропонованого бункера у процесі завантаження, зберігання та вивантаження представлена рисунку 2.2. До завантаження бункера 1 решета 2 за допомогою приводів 4 встановлюються на заданий кут для конкретного сипучого матеріалу (багатокомпонентний або багато фракційний), завантаження відбувається комбінованим способом: дощем і каскадом, завдяки чому забезпечується рівномірне заповнення ємності по горизонтальному перерізу. Сипучий матеріал може зберігатися в даному бункері будь-який час. Решета при зберіганні не вилучаються з бункера, отже, вони є опорою для виникнення статичних склепінь, але решета також є і переривниками горизонтального тиску. Кожне решето бункера ділить його на окремі зони. У кожній зоні тиск сипучого матеріалу мінімальний, оскільки зона огороджена зверху та знизу решетом. Матеріал на кожній ділянці знаходиться в розущільненому стані, тому що зверху знаходиться решето, яке тримає вище сипучий матеріал. При вивантаженні сипучого матеріалу з бункера відкривається випускна заслінка, матеріал, що у зоні «а» вивантажуватиметься. Коли сипкий матеріал закінчиться із зони «а», то нижнє решето

зони «б» достатньо опустити на 10, щоб зруйнувати статичний звід і т.д. до повного випорожнення ємності.

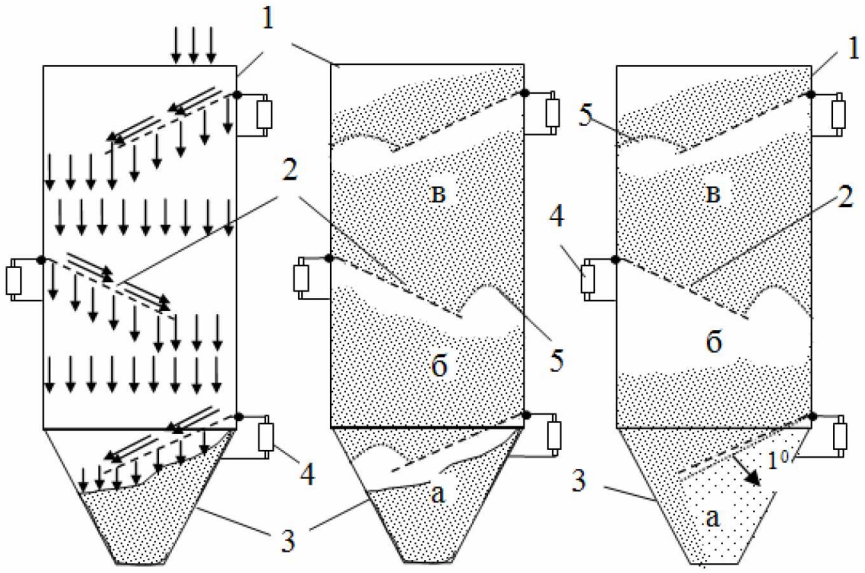


Рисунок 2.2 – Схема прогнозування процесу завантаження, зберігання та випуску

У зв'язку з вищевикладеним, для запропонованого бункера з керованим технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження необхідно провести експериментальні дослідження, які можуть відкрити новий науково-технічний напрямок.

2.2 Програма експериментальних досліджень

План проведення експериментальних досліджень передбачав виконання наступних задач.

1. Розробка лабораторного зразка бункера з керованим технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження, який включають такі функції:

- при завантаженні запобігається розшарування матеріалу та забезпечується рівномірний розподіл матеріалу по горизонтальному перерізу бункера;

- при зберіганні завдяки встановленим решетам відбувається рівномірний розподіл тиску сипучого матеріалу всередині ємності;

- при вивантаженні сипучої маси з ємності, решета дозволяють контролювати сводоутворення і стимулювати гравітаційне закінчення.

2. Розгляд дії всіляких факторів на кількісні та якісні показники процесу вивантаження сипких матеріалів.

2.3 Загальна методика експериментальних досліджень

З урахуванням рекомендованої програми дослідження велися в наступній черговості:

1) виготовлення лабораторного зразка бункера з керованим технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження;

2) підготовка лабораторної установки та засобів вимірювання;

3) розробка власних технологій емпіричних розвідок;

4) проведення дослідів та розгляд їх результатів.

В результаті експериментів отримані параметри бункера перерахунку за формулами геометричної та динамічної подібності не вимагали, оскільки лабораторна установка була виготовлена в масштабі відповідного габариту виробничої установки. Метод найменших квадратів використовувався для аналітичного формулювання експериментальних залежностей.

У процесі проведення дослідів значення вимірюваних величин бралися із середньоарифметичного значення. За допомогою знаходження середньої квадратичної помилки вибраковувалися випадкові помилки виміру [3].

Абсолютна помилка вимірювання М знаходиться як сума середніх арифметичних вимірювань σ_A і систематична помилка приладу m_n:

$$M = \sigma_A + m_n. \tag{2.1}$$

Результат вимірювання в кінцевому підсумку набуде вигляду:

$$x = x_{ср} + M. \tag{2.2}$$

Відносна помилка результату серії вимірювань оцінювалася:

$$\Delta = \pm \frac{M}{x_{ср}} \cdot 100. \tag{2.3}$$

Кількість проведення експериментів, необхідних для отримання необхідної точності результатів при прямих вимірах, визначалося помилково М, і заданої довірчої ймовірності, яка була прийнята Н=0,99.

Довірчий інтервал визначався за такою формулою:

$$x = x_{ср} \pm t\sigma_A, \tag{2.4}$$

де t – коефіцієнт Стьюдента.

За допомогою статистичних методів та ПК аналізували та обробляли експериментальні дослідження [19].

2.4 Опис лабораторної установки

Досліджувана лабораторна установка була виготовлена з дерев'яних елементів у вигляді прямокутної конструкції з висотою ємності 3000 мм. На рисунку 2.3а наведено зовнішній вигляд конструкції експериментальної установки.

Внутрішні габарити бункера складають – 500 × 500 мм.

Решета мають такі розміри – 490 × 490 мм.

Інтервал між завантажувальним бункером і основним становить 1000 мм.

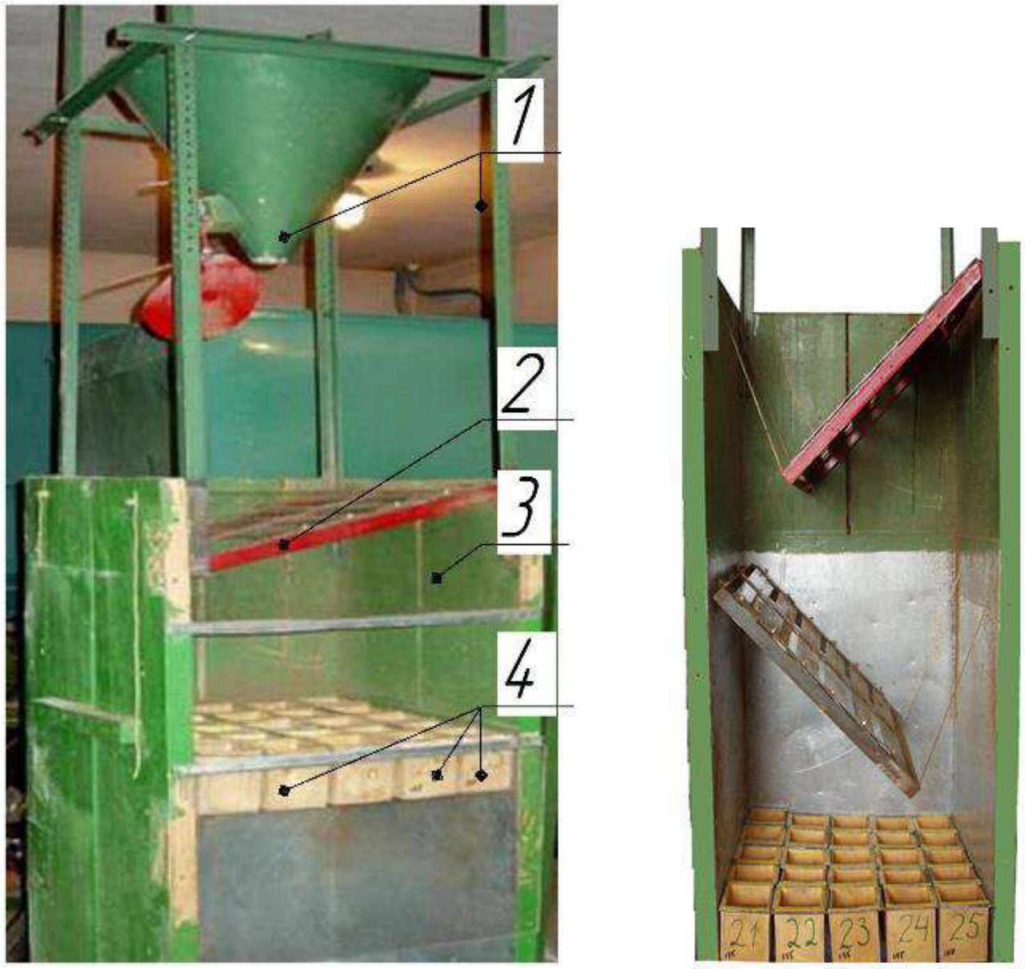
На рисунку 2.3б показаний зовнішній вигляд на решета всередині ємності, розташовані навпроти один одного.

Конструкція лабораторної установки була виконана таким чином, що на її висоті можна розмістити піддон з осередками. Всього, по всьому горизонтальному перерізу ємності, були розміщені двадцять п'ять осередків з внутрішнім розміром 95 × 95 мм.

Представлена лабораторна установка дозволила вивчати процес завантаження, зберігання та вивантаження сипких матеріалів у широкому діапазоні їх сипкості.

Для дослідження процесу завантаження, дана конструкція дозволяє швидко та точно встановлювати решета під різним кутом. Ця операція проводиться вручну.

Для дослідження процесу зберігання, наведена конструкція виконана з однією прозорою стінкою, що дозволяє бачити всі процеси, які відбуваються всередині сховища. Також, конструктивно, дана установка дозволяє змінювати висоту установки решіт по всьому вертикальному перерізу ємності.



а) б)

1 – завантажувальний бункер; 2 – розподільне решето; 3 – корпус; 4 – вимірювальні комірки

Рисунок 2.3 – Загальний вид установки

Для дослідження процесу вивантаження, наведена конструкція оснащена також транспортерною стрічкою, яка дозволяє спостерігати рівномірність закінчення сипучої маси з вивантажувального отвору.

У процесі проведення експериментів, за потреби можна швидко змінювати такі параметри:

- висоту засипаного шару від 0 до 3 м;
- довжину решета ℓ від 25см до 45см;
- відстань між гратами h_p/B від 1 до 3;
- ширину щілини у решеті "a" від 5 мм до 2,5см;
- кут нахилу решета β від 25^0 до 65^0.

Для знаходження ущільнення сипучого матеріалу в процесі зберігання використовувався бункер, що має габарити:

- ширина прямокутних стін має розмір – 500 мм;
- Висота основної частини - 800 мм;
- Висота вивантажувальної воронки - 700мм.

2.5 Методика дослідження процесу завантаження

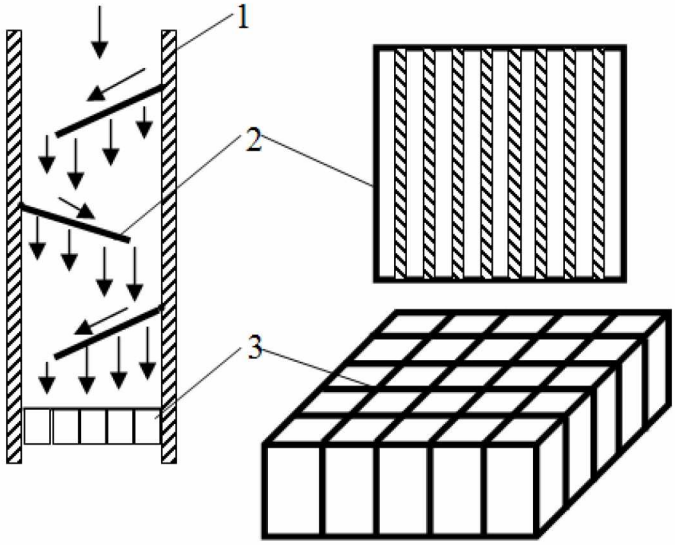
На завантажувальний процес впливають коефіцієнт сегрегації сипучого матеріалу і коефіцієнт рівномірності розподілу сипучого матеріалу по всьому горизонтальному перерізу ємності.

Для знаходження коефіцієнтів сегрегації та рівномірності розподілу, використовувалося знімне дно спеціальної конструкції (рис. 2.4). Знімне дно встановлювалося різних рівнях за висотою ємності, завдяки чому змінювалася висота вільного падіння матеріалу. Воно складається з однакових замірювальних осередків у кількості 25 штук.

Перед проведенням досвіду знімне дно з осередками встановлюється за висотою ємності щодо елемента завантажувального пристрою, потім відбувається досвід. При цьому збірна конструкція касети накопичує осідають частинки в окремих осередках і фіксує характер осадження частинок всього потоку на конкретній висоті. Шляхом зважування матеріалу в кожному осередку та перерахунку їх у відсоткове співвідношення отримуємо розгорнуту картину рівномірності, а для визначення сегрегації необхідно провести гранулометричний склад.

Для дослідження гранулометричного складу вмісту коробів необхідно мати сита з різними розмірами комірок. Вміст коробів просівається через сита і залишок на ситах вимірюється на терезах. Таким чином, визначається відсотковий вміст пилоподібних, середніх та великих фракцій матеріалу, тобто як відбувається розшарування матеріалу залежно від висоти вільного падіння.

Гранулометричний склад сипучого матеріалу вимірювався за допомогою ситового класифікатора [25].



1 – ємність; 2 – решето; 3 – вимірювальні комірки

Рисунок 2.4 – Пристрій для завантаження сипучих матеріалів до ємності

Щоб визначити основні фактори в процесі завантаження, застосовувалося знімне дно з коробами, пронумерованими індексами і (i = 1...25).

Для знаходження рівномірності розподілу матеріалу за горизонтальному перерізі бункера застосовувалася методика [6, 21]. Після проведення досвіду, матеріал з кожного мірного осередку зважували та визначали відносний вміст у мірному осередку:

$$\mu_i = \frac{m_i}{M}, \tag{2.5}$$

де m_i - маса матеріалу в і-тій комірки, кг;

$M = \sum_{i=1}^{25} m_i$ - маса навіски, кг.

При ідеально рівномірному потоці в кожну комірку надходить однакова кількість матеріалу. Отже, середньозважене значення розраховуватиметься за такою формулою:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{25} m_i}{M \cdot n^2} = \frac{1}{n^2}, \tag{2.6}$$

де n – кількість комірок в одному рядку, так як решето має квадратну форму та містить 5 рядів по 5 комірок, тоді n=5.

Степень рівномірності розподілу матеріалу:

$$q_p = 1 - \frac{s}{\bar{\mu}}, \tag{2.7}$$

де s – середньоквадратичне відхилення.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i (\mu_i - \bar{\mu}_i)^2}{n^2}}. \tag{2.8}$$

При ідеально рівномірному потоці s=0, q_p=1.

Для знаходження розшарування матеріалу після завантаження вміст кожного короба визначали гранулометричний склад і знаходили відсотковий вміст контрольної фракції:

$$\lambda_p = \frac{(m_i)_p}{m_i} 100, p = 1...P, \tag{2.9}$$

де P – маса контрольних частинок матеріалу,

m_i – маса матеріалу в і-тій комірці;

$(m_i)_p$ – маса р-ої контрольної фракції.

Степень розшарування сипкого матеріалу визначали величиною q_c:

$$q_c = 1 - \frac{s_\lambda}{\bar{\lambda}_p}, \tag{2.10}$$

де $\bar{\lambda}_p$ - вміст контрольної фракції у вихідному матеріалу

λ_{pi} - вміст контрольної фракції масою m_i в і-тій комірці.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i (\lambda_{pi} - \bar{\lambda}_p)^2}{n^2}}. \tag{2.11}$$

На рисунку 2.5 представлено поетапне проведення досвіду щодо визначення ступеня рівномірності та сегрегації матеріалу (шроту). Матеріал із завантажувального бункера потрапляє на початок першого розподільного решета (рис. 2.5 а, б) - частина матеріалу проходить крізь решето, а інша сходить з розподільного решета і потрапляє на друге розподільне решето (рис. 2.5, г, д, е) і розподіляється по перерізу ємності (рис. 2.5 ж, з).

а)

б)

в)

г)

Рисунок 2.5 – Вид на завантаження шроту в експериментальній установці.

Обґрунтування режимних параметрів роботи пристрою.

Процес завантаження бункера, характеризуються якісними показниками та кількісними. До якісних показників відносяться коефіцієнт рівномірності розподілу матеріалу, і сегрегація матеріалу. У кількісні показники включають пропускну здатність решета. Дані показники визначаються конструктивно-технологічними та режимними параметрами бункера з керованим технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження.

Проаналізувавши свої дослідження та літературу різних науковців, були визначені фактори, що впливають на сегрегацію та рівномірність розподілу матеріалу по горизонтальному перерізу ємності (відстань між решетами, ширина зазору в решітці, кут нахилу решета, довжина решета).

Скористаємося теорією багатофакторного експерименту для отримання загальної математичної залежності узагальненого критерію оцінки якості завантаження [3]. Найменування та рівні варіювання факторів, що вивчаються наведено у таблиці 2.1.

На основі аналізу попередніх досліджень процесу завантаження сипких матеріалів було обрано вихідні рівні.

Таблиця 2.1 – Фактори, що впливають на завантажувальний процес.

Фактори	Умовні позначення	Код	Рівні факторів			Інтервал варіювання
			- 1	0	+ 1	
Кут нахилу решета, град	β	X1	35	45	55	10
Ширина щілини у решеті, мм	a	X2	5	15	25	10
Довжина решета, см	l	X3	25	35	45	10
Крок установки решета	hp/B	X4	1	2	3	1

У ході планування експериментів було реалізовано план Бокса-Бенкіна, важливою особливістю якого є його універсальність та наявність деяких факторів у всіх рядках плану на нульових рівнях. Дані плани є економічними за кількістю експериментів і мають властивості ортогональних і ротатабельних планів [3]. У випадку під час повного факторного експерименту функцією відгуку служить квадратичний поліном виду:

$$y = b_o + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i + \sum_{i \le j}^{n} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{n} b_{ii} x_i^2 \qquad (2.12)$$

Після проведення дослідів з матриці плану здійснювався аналіз отриманих даних та створювалася математична модель досліджуваного процесу.

Після цього проводився статистичний аналіз даних, тобто перевірялася адекватність представлених результатів експериментів квадратичному поліному, значимість та взаємозв'язок коефіцієнтів регресії.

Адекватність моделі другого порядку перевіряли за допомогою $F_ф$ – критерію Фішера за формулою:

$$F_ф = \frac{s_{LF}^2}{s_y^2} = \frac{ss_{LF}}{f_{LF}} \div \frac{ss_y}{f_y}, \qquad (2.13)$$

де f_{LF} та f_y – відповідно числа вільностей степеней вільності, що відповідає сумі ss_{LF} та ss_y.

Для прийняття гіпотези адекватності необхідно, щоб розрахункове значення критерію $F_ф$ було менше табличного з прийнятим рівнем значущості.

Значимість коефіцієнтів регресії розраховували за t – критерієм шляхом знаходження довірчого інтервалу для певного коефіцієнта регресії:

$$\Delta b_i = \pm \frac{t s_y}{\sqrt{N}}, \qquad (2.14)$$

де t – табличне значення t-критерію при числі степеня вільності, з котрим визначається s_y^2;

s_y – дисперсія, що характеризує помилки дослідів в матриці плану;

N – кількість дослідів.

Коефіцієнт значим, якщо його абсолютна величина більше довірчого інтервалу.

Дисперсія помилок експериментів для заданого плану визначалась за кожним коефіцієнтом у відповідності до вибраної методики. Значення коефіцієнтів регресії визначалося при закодованих значеннях факторів. З метою інтерпретації результатів дослідів та можливості використання отриманих рівнянь як розрахункові формули їх перетворювали до фізичних величин досліджуваних факторів. Розкодування здійснювали відповідно до рівняння

$$x_i = \frac{X_i - x_{oi}}{\varepsilon_i}, \tag{2.15}$$

де x_i – кодоване значення фактора;

X_i – натуральне значення фактора;

x_{oi} – натуральне значення і-го фактору на основному рівні;

ε_i – натуральне значення інтервалу варіювання фактору

$$\varepsilon = \frac{x_i^B - x_i^H}{2}, \tag{2.16}$$

де x_i^B - значення фактору на верхньому рівні;

x_i^H - значення фактору на нижньому рівні.

Аналогічним чином здійснювали розкодування членів рівняння, що містить взаємодію

$$b_{ij}x_i x_j = \frac{b_{ij}}{\varepsilon_i \varepsilon_j}\left(X_i X_j - X_i x_{oj} - X_j x_{oi} + x_{oi}x_{oj}\right). \tag{2.17}$$

Після усіх перетворень

$$b_{ii}x_i^2 = \frac{b_{ii}}{\varepsilon_i^2}\left(X_i^2 - 2X_i x_{oi} + x_{oi}^2\right). \tag{2.18}$$

Отримавши рівняння регресії аналізованого процесу з натуральними значеннями факторів для визначення оптимальних умов процесу знаходили значення факторів x_1, x_2,… x_k, відповідних екстремуму отриманої цільової функції, прирівнюючи до нуля похідні приватні.

Експеримент проводився у такому порядку. На експериментальній установці встановлювали задані параметри згідно з планом досвіду. Сипучий матеріал подавався із завантажувального бункера масою 5 кг на розподільне решето.

Матеріал, що пройшов через елемент завантажувального комплексу збирали, зважували, визначали коефіцієнт рівномірності та сегрегації та гранулометричний склад отриманої продукції. Повторність проведення дослідів була триразовою.

Як вихідні параметри приймали коефіцієнт рівномірності, сегрегації та узагальнений критерій оцінки. Критерій оцінки поєднує коефіцієнт рівномірності та коефіцієнт сегрегації.

Узагальнений критерій оцінки визначається

$$E = K_p\left(\frac{q_{pi} - q_{po}}{q_{po}}\right)^2 + K_c\left(\frac{q_{ci} - q_{co}}{q_{co}}\right)^2, \qquad (2.19)$$

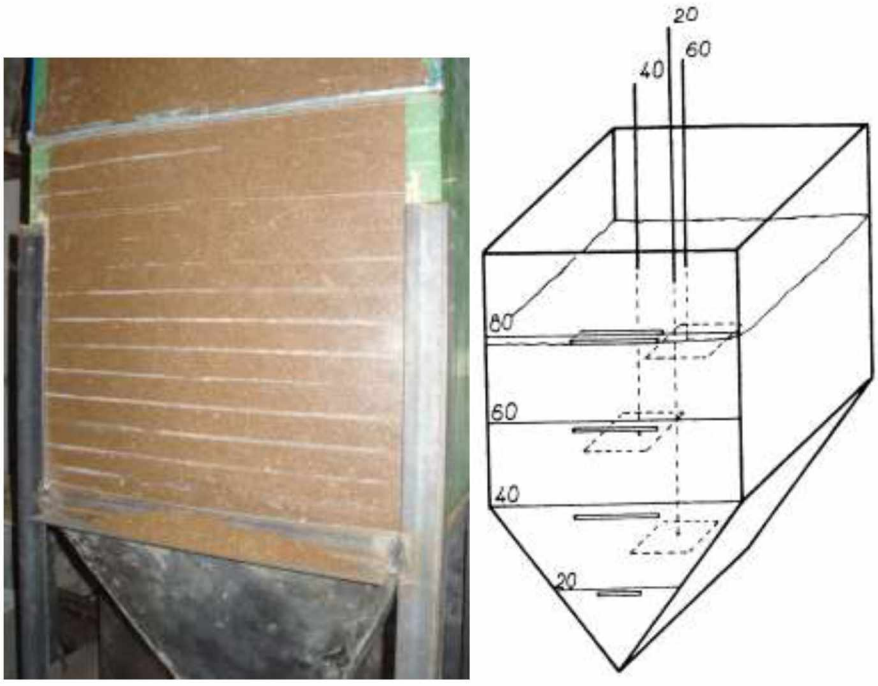
де q_{pi} , q_{ci} – експериментальний коефіцієнт рівномірності та сегрегації;

q_{po} , q_{co} – оптимальний експериментальний рівномірності та сегрегації;

k_p, k_c – коефіцієнт значимості.

2.6 Методика дослідження процесу зберігання

Лабораторна установка (рис.2.6, а) для визначення зміни щільності, матеріалу що досліджується складається з непрозорого, чотиристороннього корпусу з однієї сторони та прозорого оргскла з іншого.



а – вид на установки; б – схема установки.

Рисунок 2.6 – Лабораторна установка для спостереження за зміною площини.

У бункер засипався і розрівнювався сипучий матеріал висотою 0,2 м. Потім у прозорої стінки укладалися смужки з тонкого матеріалу, а в центрі розрівненої поверхні укладалися металеві пластини розміром 0,1 х 0,1 м. Для вимірів ущільнення сипучого матеріалу застосовувався щуп, що кріпився до пластини. Довжина щупа повинна перевищувати висоту завантаження матеріалу в ємності, що досліджується.

Потім засипали наступну частину матеріалу висотою 0,2 м, встановлювали щуп із пластиною і т.д. до наповнення ємності. Щуп міг переміщатися тільки в вертикальній площині (рис. 2.6.б).

Під вплив сили тяжіння матеріал ущільнювався. Ступінь ущільнення вимірювалася зі зміщення щупів у вертикальній площині та усереднення їх показників [3,19].

2.7 Методика визначення горизонтального тиску, що виникає у порожнині ємності

Для визначення вертикальних та горизонтальних тисків в інструкції з проектування елеваторів [25] пропонуються формули, які на практиці не працюють. Дані формули були отримані при ідеальній сипучій зерновій масі та постійними фізико-механічними властивостями матеріалу. Насправді розподіл тисків надає безліч фізико-механічних властивостей, зокрема насипна щільність сипучого матеріалу.

Для знаходження тиску всередині бункера в бічній стінці були виконані технологічні отвори через рівні інтервали. Отвори були заклеєні гумовою мембраною. Датчики тиску кріпилися з зовні корпусу приймальною пластиною до мембрани, потім показання фіксувалися.

У процесі зберігання вимірювалися через певні інтервали часу. Тиск вимірювався з установкою решіт і без них.

У бункерах, де встановлені стабілізатори тиску, вертикальне навантаження на вивантажувальні елементи значно менше, ніж без стабілізаторів тиску, внаслідок чого сипкий матеріал ущільнюється менше і забезпечується стабільний випуск.

2.8 Методики вивчення процесу випуску сипучої маси із ємності

Бункер завантажувався досліджуваним матеріалом відомої маси, потім відкривалася заслінка і одночасно включався секундомір визначення часу вивантаження матеріалу.

Витрата сипучого матеріалу в одиницю часу визначалася:

$$Q = \frac{m}{t},\ \text{кг/с}, \tag{2.20}$$

де m – маса матеріалу, що вивантажений з бункера, кг;

t – час витікання матеріалу, с.

Після відкриття випускної вирви швидкість закінчення збільшується від нуля до максимуму, що відповідає кінцевому значенню цього перерізу отвору. Швидкість закінчення визначалася

$$v = \frac{V}{S_{отв} t},\ \text{м/с} \tag{2.21}$$

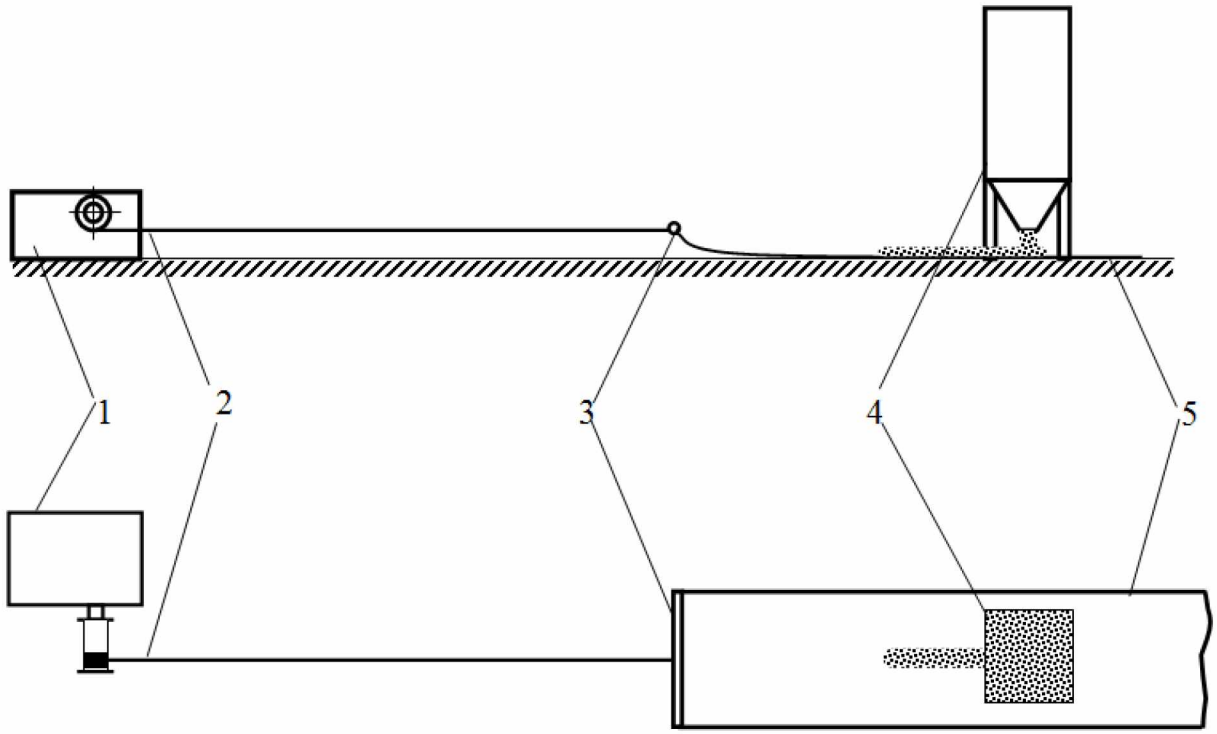
де V – об'єм вивантаженого сипучого матеріалу, $м^3$;

S – площа отвору вивантажу, $м^2$.

Для оптимізації режимних параметрів роботи пристрою управління технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження необхідно враховувати не тільки коефіцієнти рівномірності та сегрегації при завантаженні, але й рівномірність при розвантаженні. На даний момент визначення нерівномірності випуску застосовують стрічковий транспортер. Але не завжди є можливість використовувати та розмістити транспортер у лабораторних умовах.

У зв'язку з цим пропонується використовувати пристрій, який імітує транспортер довжиною 7-10 м [1]. Цей пристрій складається з: 1 - двигуна з барабанами різного діаметра, які дозволяють регулювати швидкість руху троса 2; 3 – стрічка шириною 0,9 м (рис. 2.7).

Пристрій працює наступним чином. Вмикається двигун і барабан намотується тяговий трос, який прикріплений до стрічки. Одночасно відкривається заслінка бункера і матеріал, що вивантажується, потрапляє рівномірно на рухому стрічку. Розподіл сипучого матеріалу на стрічці відображає нерівномірність випуску бункера.



1 – привід; 2 – трос; 3 – штанга; 4 – бункерний пристрій; 5 – стрічка.

Рисунок 2.7 – Схема пристрою для визначення нерівномірності витікання

Після того, як відбудеться вивантаження сипучого матеріалу з бункера за відомими методиками [21] проводяться виміри. За характером висипаного матеріалу на стрічці видно, чи відхилення чи матеріал рівномірно розташований по всій стрічці.

2.9 Висновки до другого розділу

1. Розроблений програму та алгоритми проведення експериментальних досліджень, що передбачало дослідження процесів завантаження, збереження та вивантаження матеріалу з дослідного варіанту зернового сховища.

2. У відповідності до програми досліджень для досягнення поставленої мети необхідно здійснити визначення коефіцієнту рівномірності та сегрегації матеріалу при використанні дослідних решет при завантаженні, зміну щільності компонентів матеріалів за глибиною засипання матеріалу, а також характер розподілу тиску в горизонтальному спрямуванні в сховищі.

3. Розроблена і виготовлена лабораторна установка, що реалізує ефективні режими завантаження, зберігання та вивантаження матеріалу в сховищі.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Вплив пристрою управління технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження на процес завантаження

На оптимальну роботу пристрою управління технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження впливає низка факторів. До основних факторів, що визначають оптимальну роботу пристрою управління технологічним процесом завантаження, зберігання і вивантаження, входять кут нахилу решета β - x_1, ширина щілини в решеті a - x_2, довжина решета ℓ - x_3 і відносний крок установки грат h_p/B - x_4. Відносний крок установки решіт h_p/B - є безрозмірною величиною, де h_p - відстань між решітками, a - ширина бункера.

Скористаємося теорією багатофакторного експерименту для отримання загальної математичної залежності узагальненого критерію оцінки якості завантаження.

У додатку А, Б, В представлені матриці планування випробувань по завантаженню цеолітом, висівками, шротом.

Методика проведення експериментів включала визначення чотирьох параметрів: кута нахилу решета, довжина решета, ширина щілини в решеті й інтервал між решетами.

В основу цієї методики закладено чотири факторні матриці зі значенням факторів "-1", "0", "1".

Результати експериментальних досліджень були опрацьовані за допомогою програми Statistica. Дані отримані після проведення експериментів відповідно до матриці дозволяє отримати рівняння регресії (у розкодованому вигляді) залежності узагальненого критерію якості завантаження Е від чотирьох параметрів, для кожного матеріалу:

Для цеоліту

$$E = -0.32 + 0.01\beta + 0.2a + 0.025\ell - 0.17h_p / B - 0.005\beta a - 0.007\beta\ell - \\ -0.003\beta(h_p / B) - 0.02a\ell + 0.26a\left(h_p / B\right) - 0.015\left(h_p / B\right) - \\ -0.005\beta a\left(h_p / B\right) - 0.002a\ell\left(h_p / B\right) + \\ +0.0001\beta\ell\left(h_p / B\right) + 0.004\beta^2 - 0.054a^2 + 0.0002\ell^2 + 0.142\left(h_p / B\right)^2 \quad (3.1)$$

Для висівок:

$$E = 0,3548 - 0,0386\beta - 0,0482a + 0,116\ell - 0,3736\left(h_p / B\right) - 0,0021\beta a - \\ 0,0075a\ell - 0,0072a\left(h_p / B\right) - 0,0072\left(h_p / B\right) + 0,00652a^2 + 0,118\left(h_p / B\right)^2 \quad (3.2)$$

Для шроту:

$$E = 0,67 - 0,0002\beta + 0,1a + 0,02\ell - 0,2\left(h_p / B\right) + 0,0003\beta a - \\ 0,001\beta\ell + 0,002\beta\left(h_p / B\right) - 0,003a\ell + 0,08a\left(h_p / B\right) - 0,0055\ell\left(h_p / B\right) - \\ -0,002\beta a\left(h_p / B\right) + 0,0001a\ell\left(h_p / B\right) + 0,0031\beta^2 - 0,021a^2 + 0,06\left(h_p / B\right)^2 \quad (3.3)$$

Дисперсійний аналіз рівнянь показав, що адекватно описують результати експерименту.

Для моделей (3.1), (3.2), (3.3) та вибору оптимальних режимів завантаження за допомогою елемента завантажувального комплексу скористаємося методом побудови двовимірних перерізів поверхні відгуку.

Продиференціюємо рівняння (3.1-3.3), взявши похідні першого порядку, за кожною змінною та прирівнявши їх нулю знайдемо:

Для цеоліту:

$\beta=36^o$, a=0,7 см, ℓ=27,4 см, $h_p/B=2.9$

Для висівок

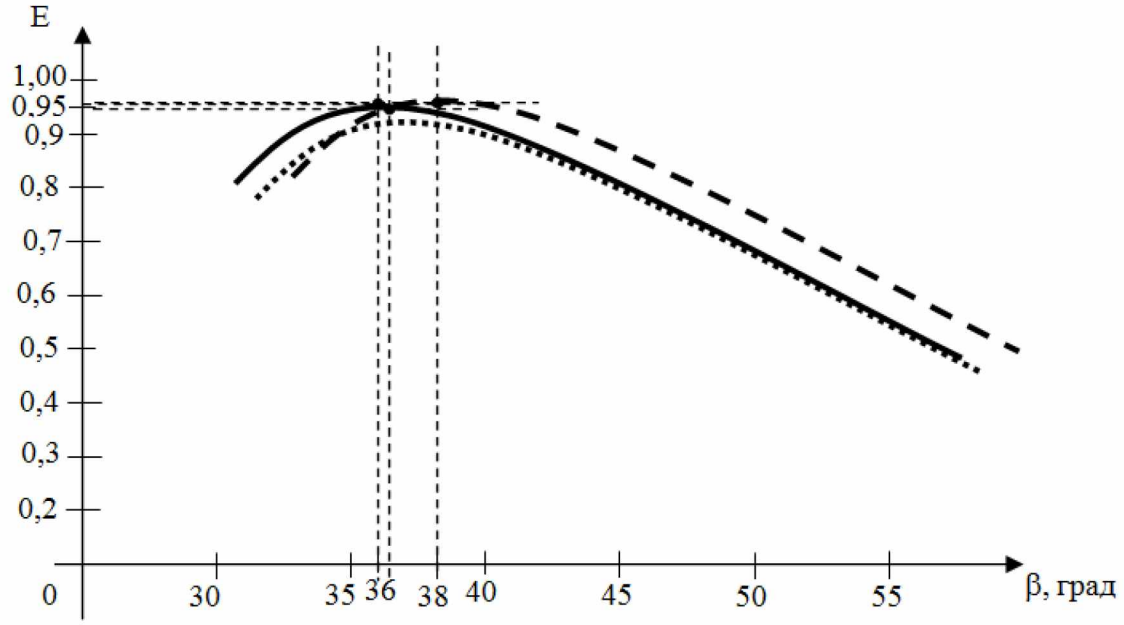
$\beta=38^o$, a=1,1 см, ℓ=25 см, $h_p/B=2.4$

Для шроту

$\beta=36,4^o$, a=1,0 см, ℓ=19 см, $h_p/B=2.2$

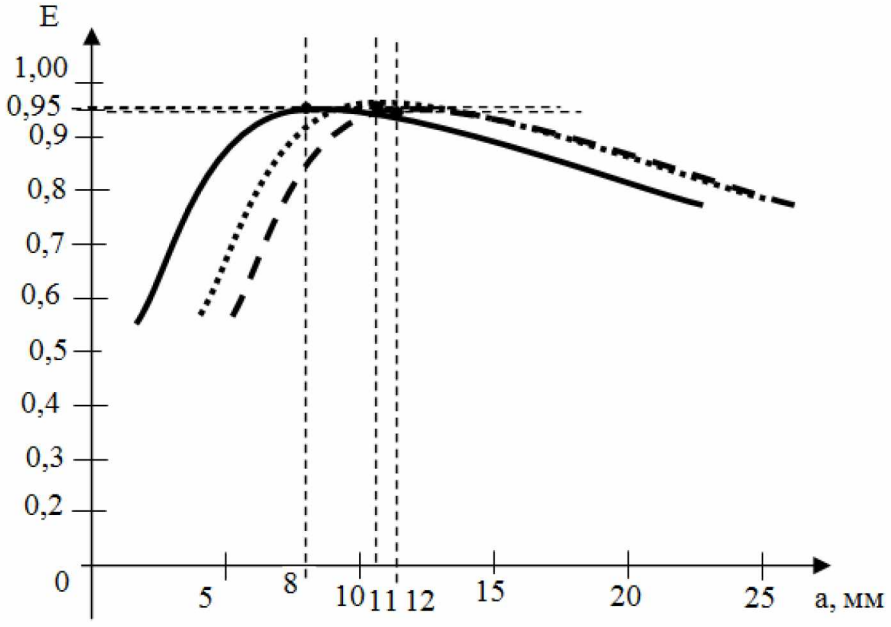
На основі отриманих рівнянь (3.1-3.3) будуємо графіки залежності узагальненого критерію оцінки якості завантаження від кута нахилу решета - β, від

ширини щілини в решітці - a, від довжини решета - ℓ частота установки решіт - h_p/B, (рис. 3.1-3.4).



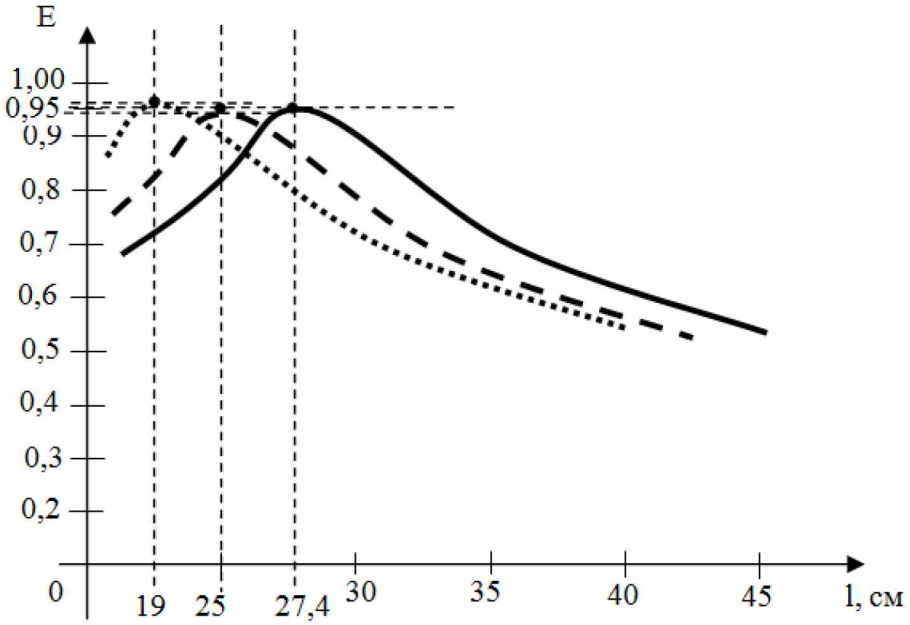
- - - - - - - шрот; - - - - висівки; --------- цеоліт

Рисунок 3.1 – Графік залежності узагальненого критерію оцінки якості завантаження від кута нахилу решета



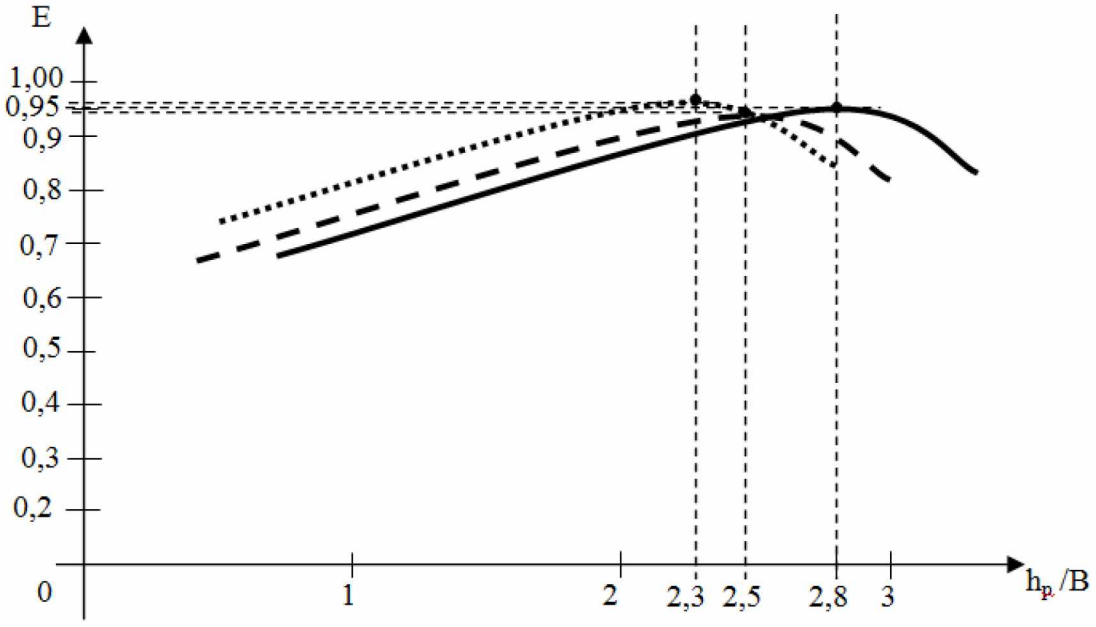
- - - - - - - шрот; - - - - висівки; --------- цеоліт

Рисунок 3.2 – Графік залежності узагальненого критерію оцінки якості завантаження від ширини щілини решета



- - - - - - - шрот; - - - - висівки; --------- цеоліт

Рисунок 3.3 – Графік залежності узагальненого критерію оцінки якості завантаження від довжини решета



- - - - - - - шрот; - - - - висівки; --------- цеоліт

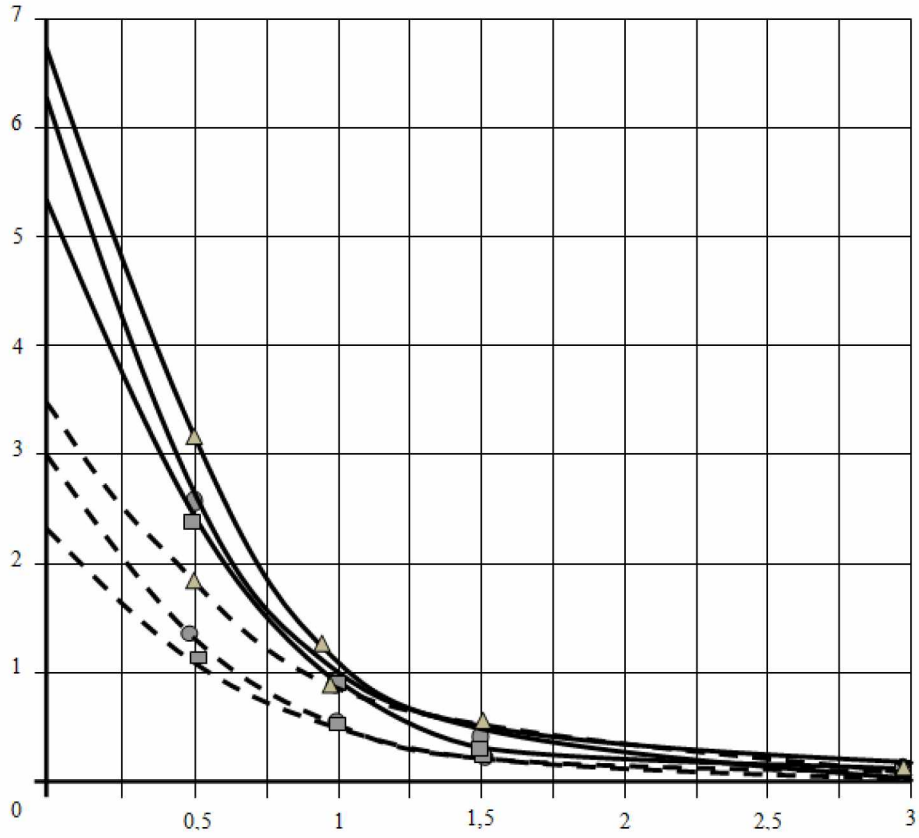
Рисунок 3.4 – Графік залежності узагальненого критерію оцінки якості завантаження від інтервалу установки решета

З наведених графіків видно, що для оптимальних параметрів завантаження та стабільного функціонування ємності, необхідно виконання конструктивних параметрів: для цеоліту кут нахилу решета - 36^0, ширина щілини в решітці - 0,8 см, довжина решета - 27,4 см, інтервал установки між решітками – 2,8; для висівок кут

нахилу решета - 38^0, ширина щілини в решітці - 1,2 см, довжина решета - 25 см, інтервал установки між решетами - 2,5; для шроту кут нахилу решета - $36,4^0$, ширина щілини у решітці - 1,1 см, довжина решета - 19 см, інтервал установки між решетами - 2,3.

3.2 Вплив пристрою керування технологічним процесом на процес зберігання

Ущільнення сипучого матеріалу в бункері залежить від розподілу напруги при неможливості бокового розширення. На рисунку 3.5 показано зміну щільності сипучих матеріалів від глибини засипки їх у ємності.



------- - без решета; - - - - - з решетом

■ - цеоліт; ● - висівки; ▲ - шрот.

Рисунок 3.5 – Залежність зміни щільності сипучих матеріалів за глибиною засипки

З графіка видно, що ущільнення матеріалів прямо залежить від висоти засипки, чим більша висота, тим щільність у нижніх шарах вантажу зростає. На графіку представлені залежності щільності цеоліту, висівок та шроту від висоти засипки з елементом завантажувального комплексу (розподільне решето) та без розподільного

решета, з яких видно, що щільність матеріалів при зберіганні з елементом завантажувального комплексу (розподільне решето) значно менша, ніж без розподільного решета і становить 3,5 кг/м^3, 3 кг/м^3, 2,35 кг/м^3 - відповідно шрот, висівки, цеоліт порівняно 6,85 кг/м^3, 6,4 кг/м^3, 5,35 кг/м^3.

Цеоліт є добре сипучим матеріалом та має гладку поверхню частинок, тому практично не ущільнюється. Частинки цеоліту у процесі зберігання практично не здатні до переміщення. Таким чином, цей матеріал заповнює необхідний обсяг, який істотно не змінюється з часом.

У зв'язку з викладеним вище, видно що при використанні елемента завантажувального комплексу (розподільного решета), яке також є переривником тиску, ущільнення вантажу помітно знижується. Отже застосування розподільних решіт забезпечить рівномірний та стабільний випуск матеріалів після тривалого зберігання.

3.3 Результати досліджень визначення напруг, що виникають у порожнині сховища

Значення горизонтальних напруг, отриманих в процесі проведення дослідів у різних ділянках бункера представлені на рисунках 3.12, 3.13. Кут нахилу решіт, довжина решета, ширина щілини в решеті і відстань між решетами виставлялися за дослідженнями отриманих у процесі завантаження матеріалів.

З висотою заповнення вертикальний тиск у межах стовпа сипучого вантажу зростає за експоненційною залежністю. Горизонтальні напруги, що у бункері, на пряму залежить від вертикальних, особливий вплив на їх співвідношення має коефіцієнт внутрішнього тертя.

У процесі зберігання сипучого матеріалу горизонтальний тиск може досягти критичного значення. Внаслідок чого в бункері утворюються статичні своди, які ведуть до ущільнення матеріалу, що в свою чергу призводить до зависання сипучого матеріалу і до зростання енерговитрат на розвантаження і погіршення якості матеріалу, що зберігається. Як говорилося раніше статичні своди в основному утворюються в місцях переходу основної ємності з вивантаженою воронкою, там де

горизонтальний тиск максимальний, що і відображає рисунок 3.7. Це пояснюється різною об'ємною щільністю сипучого матеріалу за висотою бункера.

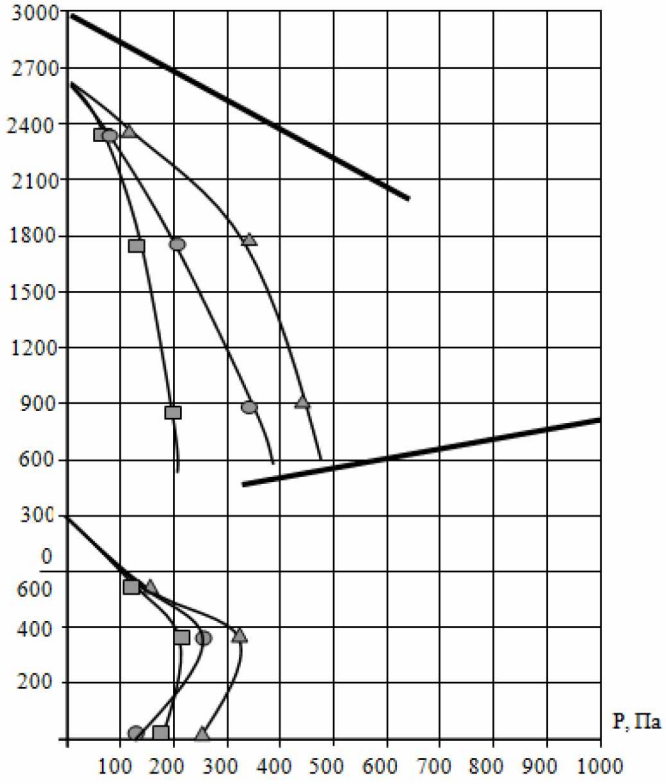


Рисунок 3.6 – Залежність горизонтального тиску від висоти ємності з решетом

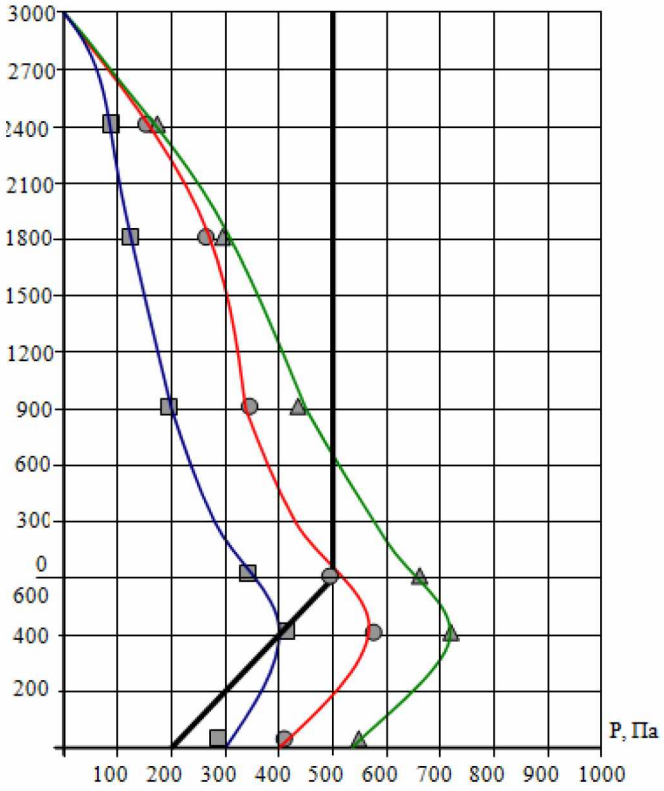


Рисунок 3.7 – Залежність горизонтального тиску від висоти ємності без решета

Для уникнення статичних сводів, необхідно горизонтальний і вертикальний тиск знижувати. Використання решет вирішує у пристрої керування технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження дозволяє цього досягти. Рисунок 3.6 доводить це. Решета знімають частину навантажень сипучого матеріалу, що забезпечує стабільне вивантаження з бункера. Таким чином решета пристрою управління технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження є стабілізаторами тиску.

3.4 Визначення пропускної спроможності бункера та рівномірності текучості сипучої маси при вивантажені

На безперебійне функціонування ємності впливає процес вивантаження, а на вивантаження у свою чергу впливає процес завантаження та умови зберігання матеріалу. У технологічну лінію матеріал з бункера повинен вивантажуватися стабільно і рівномірно, а також при вивантаженні необхідно виключити сегрегацію, щоб якість матеріалу не погіршилася.

На пропускну здатність (витрата) бункера та його рівномірність текучості сипучого матеріалу впливає безліч факторів, у тому числі конструктивні параметри пристрою управління технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження. Основними параметрами є кут нахилу решета - β і відносна висота установки решета над випускним отвором - h_p/B.

Скористаємося теорією багатофакторного експерименту [20], щоб отримати математичну залежність від перерахованих факторів.

Матриця планування з факторами, що найбільше впливають на витрату бункера (Q) і рівномірність (V) подачі матеріалу, представлені в таблиці 3.1.

Результати досліджень були опрацьовані за допомогою програми Statistica.

Було перевірено статистична значущість коефіцієнтів регресії адекватності моделей та однорідності дисперсій.

Таблиця 3.1 – Матриця планування досліджень залежності витрати та рівномірності вивантаження від кута нахилу решета та висоти установки решета над випускним отвором

Позначення Номер досліду	Фактори		Вихідні параметри	
	β	h_p/B	V	Q
	X_1	X_2	Y_3	Y_4
Верхній рівень	54	3		
Основний рівень	44	2		
Нижній рівень	34	1		
1	34	1		
2	34	3		
3	34	1		
4	54	3		
5	44	1		
6	44	3		
7	34	2		
8	54	2		
9	44	2		

В результаті розрахунків були отримані рівняння регресії для цеоліту, шроту та висівок (у розкодованому вигляді).

Цеоліт:

$$V = 0.9788 + 0.024\beta + 0.5391\left(h_p / B\right) + 0.0005\beta^2 - 0.0586\beta\left(h_p / B\right) + 0.42\left(h_p / B\right)^2$$

$$Q = 105.908 + 1.1014\beta + 7.8586\left(h_p / B\right) - 0.009\beta^2 - 0.073\beta\left(h_p / B\right) - 0.911\left(h_p / B\right)^2$$

Висівки:

$$V = 13,765 - 0.432\beta - 1.291\left(h_p / B\right) + 0.004\beta^2 + 0.056\beta\left(h_p / B\right) + 0.242\left(h_p / B\right)^2$$

$$Q = 37.23 - 0.1854\beta - 0.3286\left(h_p / B\right) + 0.0026\beta^2 - 0.013\beta\left(h_p / B\right) + 0.211\left(h_p / B\right)^2$$

Шрот:

$$V = 18,465 - 0.462\beta - 6.291\left(h_p / B\right) + 0.008\beta^2 - 0.126\beta\left(h_p / B\right) + 2.342\left(h_p / B\right)^2$$

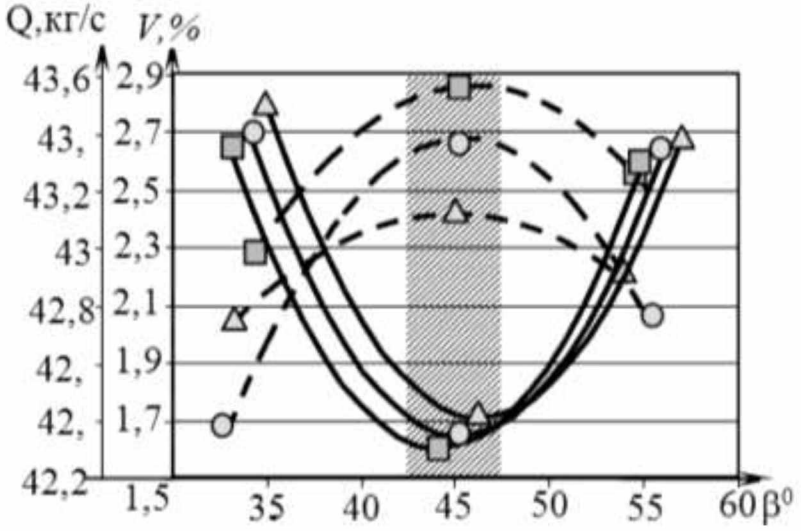
$$Q = 35.23 + 0.245\beta + 0.632\left(h_p / B\right) - 0.0066\beta^2 + 0.173\beta\left(h_p / B\right) - 1.421\left(h_p / B\right)^2$$

Отримані рівняння дозволяють оцінити вплив факторів на продуктивність пристрою керування технологічним процесом завантаження, зберігання та

вивантаження сипучого матеріалу, а також на рівномірну подачу матеріалу до технологічної лінії.

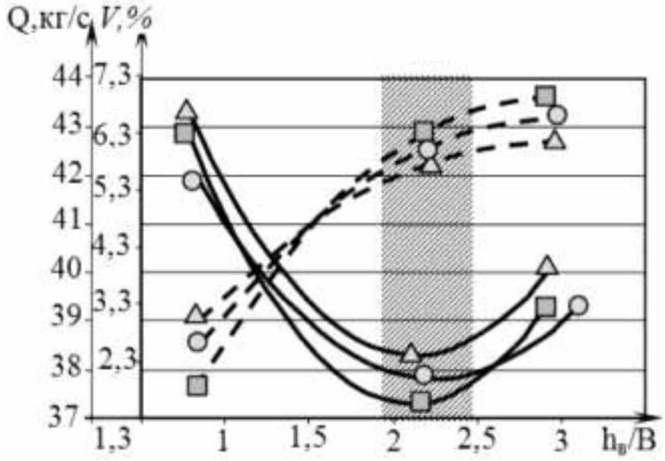
За отриманими рівняннями були збудовані поверхні відгуку, знайшли оптимальні значення при витраті та рівномірності подачі в технологічну лінію - $\beta = 45^0$ та відносним кроком висоти установки решета над випускним отвором h_p/B=2,4.

З отриманих раніше поверхонь відгуків для найкращої наочності були побудовані графіки, представлені на рисунку 3.8 і 3.9, які відображають залежності витрати матеріалу та рівномірності подачі від кута нахилу решета і висоти установки решета над випускним отвором.



------ - рівномірність; - - - - витрата; ■ - цеоліт; ● - висівки; ▲ - шрот.

Рисунок 3.8 – Залежність вихідних параметрів від кута нахилу решета при h_p/B=2.4



------ - рівномірність; - - - - витрата; ■ - цеоліт; ● - висівки; ▲ - шрот.

Рисунок 3.9 – Залежність вихідних параметрів від висоти установки решета при $\beta = 45^0$

Як видно з графіків максимальне значення витрати або продуктивності бункера спостерігається у цеоліту, так як він є більш сипучим матеріалом, ніж висівки і шрот. Рівномірність вивантаження також менша у цеоліту.

При куті встановлення решета від 30^0 до 40^0 продуктивність бункера невелика (рис. 3.8). Це тим, що решето під такими кутами заважає переміщенню матеріалу (затримує його). А при встановленні решета 48° -55°, також відбувається зниження продуктивності, так як зменшується обсяг вантажу, на який діють шари, що лежать вище. Знижується ефект використання решета як стабілізатора тиску.

3.5 Визначення характеру закінчення та сегрегації у процесі вивантаження з бункера сипучої маси

Найбільш якісні та кількісні показники (зниження сегрегації) спостерігається при гідравлічному (масовому, симетричному) витіканні сипучого матеріалу. У процесі визначення характеру переміщення з бункера з керованим технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження (рис. 3.10) виявилося, що характер витікання на даній лабораторній установці є нормальним.

а) б)

в) г)

д) е)

ж) з)

Рисунок 3.10 – Етапи вивантаження висівок

При нормальному вигляді витікання матеріал спливає центральним потоком, спочатку рухається вертикальний стовп сипучого матеріалу, розташований над вивантаженим отвором і на поверхні сипучого середовища утворюється воронка (рис. 3.10 а, б, в, г). Потім по схилах воронки, що утворилася, скочуються бічні шари до повного спорожнення ємності (рис. 3.10 д, е, ж, з). Таким чином у лабораторній установці спостерігається нормальний вид витікання, що призводить до негативних наслідків, одним з яких є сегрегація сипучого матеріалу в процесі вивантаження.

3.6 Висновки до третього розділу

Експериментальні дослідження пристрою управління технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження дозволили зробити наступний висновок:

1) при завантаженні забезпечується рівномірність і відсутність сегрегації сипких вантажів:

- для цеоліту: кут нахилу решета - 36^0, ширина щілини в решітці - 0,8 см, довжина решета - 27,4 см, відносний крок установки решіт - 2,8;

- для висівок: кут нахилу решета - 380, ширина щілини в решітці - 1,2 см, довжина решета - 25 см, відносний крок установки решета - 2,5;

- для шроту: кут нахилу решета - 36,40, ширина щілини у решітці - 1,1 см, довжина решета - 19 см, відносний крок установки решіт - 2,3.

2) у процесі зберігання:

- решета, що знаходяться в порожнині бункера, знижують ущільнення насипного матеріалу, отже збільшиться термін зберігання продукту;

- тиск у галузі вивантажувальної воронки знижується, що дозволяє процес вивантаження стабілізувати;

3) при розвантаженні:

- встановлення елемента пристрою керуванням технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження під кутом 45° та висота установки на вивантажувальному отворі від 2 до 2,3 $h_в/B$ забезпечує максимальну продуктивність та рівномірну подачу сипучого матеріалу в технологічну лінію;

- сегрегація сипучого матеріалу відсутня, навіть при "нормальному" вигляді закінчення. Це дозволяє розширити технологічні та функціональні можливості бункера;

- якісні властивості сипучого матеріалу не змінюються в процесі завантаження, зберігання та вивантаження при використанні пристрою управління технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза являє собою врегульовану нормами діяльність експертів по аналізу, перевірці і оцінці документації об'єктів і рішень, на їх відповідність правилам і вимогам охорони навколишнього середовища і раціонального природокористування з метою попередження можливих негативних наслідків для навколишнього середовища.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливові антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності й екологічної ситуації на окремих територіях та об'єктах.

Основними завданнями екологічної експертизи є:

1. Визначення ступеня екологічного ризику і безпеки запланованої чи здійснюваної діяльності.

2. Організація комплексної, науково-обґрунтованої оцінки об'єктів екологічної експертизи.

3. Встановлення відповідності об'єктів експертизи вимогам екологічного законодавства, будівельних норм і правил.

4. Оцінка впливу діяльності об'єктів екологічної експертизи на стан навколишнього природного середовища і якість природних ресурсів.

5. Оцінка ефективності, повноти, обґрунтованості та достатності заходів щодо охорони навколишнього природного середовища.

6. Підготовка об'єктивних всебічно обґрунтованих висновків екологічної експертизи.

Екологічна експертиза буває державною, громадською та інших різновидів. Вона є обов'язковою умовою законодавчої роботи господарства й іншої діяльності, яка впливає на стан навколишнього середовища. Основним законодавчим актом, що визначає правові, екологічні і соціальні основи організації охорони навколишнього середовища, є Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища",

прийнятий 25 червня 1991 року на третій сесії Верховної Ради України [11]. Іншим важливим законом є Закон „Про екологічну експертизу", від 9 лютого 1995 р. [12,26].

Екологічну експертизу проекту проводять з дотриманням принципів права громадськості на охорону навколишнього середовища, гармонійного поєднання екологічних і економічних інтересів, суворого дотримання законності і державних норм природокористування.

Громадська екологічна експертиза може здійснюватися в будь-який сфері діяльності, що потребує екологічного обґрунтування, за ініціативою громадських організацій чи інших громадських формувань. Громадська екологічна експертиза може здійснюватися одночасно з державною екологічною експертизою шляхом створення на добровільних засадах тимчасових або постійних еколого-експертних колективів громадських організацій чи інших громадських формувань.

Предметом розгляду впливу на оточуюче навколишнє середовище є технологія завантаження, зберігання та вивантаження комбікорму до сховища. Дана технологія є цілковито безпечною і в повній мірі відповідає усім законодавчо-нормативним актам та екологічним нормам і стандартам. Це твердження обумовлено відсутністю появи яких-небудь токсичних або негативних проявів, що би могли сприяти погіршенню екологічного становище навколишнього природного середовища. Але одним із потенційно можливих факторів екологічного забруднення є псування та втрата комбікорму з доволі великої кількості причини: недотримання технології зберігання, транспортування, первинної обробки та інше. Для недопущення окресленої негативної ситуації слід дотримуватися наступних вимог у поводженні зі комбікормом.

Зберігання комбікорму здійснюється в сховищах, що відповідають екологічним, будівельним, пожежним, санітарно-гігієнічним, фітосанітарним вимогам відповідно до технічних регламентів та стандартів.

Поверхні стін, стель, несучих конструкцій, дверей, підлоги виробничих приміщень, а також силосів і бункерів повинні бути доступними для очищення і знезараження. Стан покрівлі і стін сховищ, конструкції вхідних отворів каналів

активної вентиляції повинні забезпечити запобігання попадання в них атмосферних опадів і сторонніх предметів.

У сховищах не допускається:

1) зберігати спільно з комбікормом токсичні, горючі хімічні речовини, пально-мастильні матеріали та нафтопродукти, а також харчову продукцію іншого виду і нехарчову продукцію в разі, якщо це може призвести до забруднення зерна;

2) застосовувати всередині складських приміщень машини з двигунами внутрішнього згоряння.

У сховищі протягом всього періоду зберігання комбікорму повинен бути організований виробничий контроль за вологістю, температурою, зараженістю шкідниками, запахом і кольором комбікорму.

При зберіганні комбікорму в мішках на настилах і піддонах розміри штабелів і відстань між ними не повинні створювати перешкод для відбору проб з будь-якого місця і проведення технологічних операцій.

Для забезпечення безпеки комбікорму його перевезення здійснюється спеціально призначеними для цих цілей транспортними засобами. При перевезенні комбікорму залізничним транспортом використовуються криті вагони, хопер-вагони (зерновози) або контейнери, що відповідають пропонованим до них санітарним вимогам.

Конструкція вантажних приміщень транспортних засобів, що використовуються для перевезення комбікорму, повинна забезпечувати можливість їх миття, обробки і дезінфекції, дезінсекції та дератизації, захист комбікорму від забруднення, а також перешкоджатиме пробудженню зерна в процесі перевезення, проникненню комах, тварин, в тому числі гризунів.

Очищення, мийка, обробка, дезінфекція, дезінсекція та дератизація залізничних транспортних засобів і транспортного устаткування (контейнерів) для перевезення зерна повинна здійснюватися в порядку, встановленому національним законодавством.

Не допускається перевезення комбікорму в транспортних засобах, в яких перевозилися сильно пахущі і (або) токсичні вантажі.

У кінцевому випадку, технологія завантаження, зберігання та вивантаження характеризується мінімальним рівнем екологічної загрози, не призводить до негативного впливу на стан природного навколишнього середовища, є безпечним для людини та живих організмів та відповідає всім екологічним нормам та правилам, обумовлених чиним вітчизняним екологічним законодавством.

4.2 Охорона праці

4.2.1 Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях

Вивчення й вирішення проблем, пов'язаних із забезпеченням здорових і безпечних умов, у яких відбувається праця людини − одне з найбільш важливих завдань у розробці нових технологій і систем виробництва. Дослідження й виявлення можливих причин виробничих нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж, і розробка заходів і вимог, спрямованих на усунення цих причин дозволяють створити безпечні й сприятливі умови для праці людини. Комфортні й безпечні умови праці − один з основних факторів, який впливає на продуктивність і безпеку праці, здоров'я працівників [7,14].

Державне, регіональне і галузеве управління охороною праці, численні наглядові і контрольні інспекції не забезпечать безпечне ведення робіт, якщо це не стане головним повсякденним завданням і моральним обов'язком для усіх без винятку − роботодавців, керівників, інженерно-технічних працівників, кожного працюючого. Для вирішення всіх проблем у сфері охорони праці потрібний системний підхід створення ефективної системи управління охороною праці (СУОП) на кожному підприємстві, установі, організації незалежно від форми власності і розмірів [7,14].

Останніми роками охорона праці перебуває на етапі кардинальних перетворень. Багато підприємств проявляють зацікавленість щодо використання моделі управління охороною праці, що передбачає взаємну соціальну й економічну відповідальність бізнесу і працівників у процесі забезпечення безпечних умов праці з метою підвищення ролі соціального партнерства в створенні здорового психологічного

клімату на підприємстві та максимізації добробуту як окремого працівника, так й організації в цілому.

Серед категорій, за допомогою яких прийнято характеризувати підприємство, звичайно виділяють економічні й технологічні показники. Однак, вони займають провідне положення лише в тому випадку, якщо дотримано основну умову діяльності підприємства як суб'єкта господарювання – забезпечується безпека виробничих процесів і трудової діяльності індивіда.

4.2.2 Аналіз наявних потенційних небезпек та об’єктів підвищеної небезпеки

Характер сировини, що переробляється, а також технологічні процеси приймання, відпуску та переробки комбікорма і одержуваних з нього продуктів призводять до виникнення особливих факторів травмування обслуговуючого персоналу. До них насамперед належать: затягування в комбікормову масу при випуску комбікорму зі складів, бункерів, з силосів елеваторів; завалювання людини комбікормовою масою, що обрушується, в складах для зберігання; травмування при падінні у відкритий люк бункера або силосу; травмування при вантажно-розвантажувальних роботах з сипучими або тарний вантажами; травмування при роботі з тарний вантажами в складах зберігання; отруєння отрутохімікатами, що застосовуються при боротьбі з шкідниками комор; отруєння вуглекислим газом, що накопичується в силосах, складах або в заглиблених, погано провітрюваних приміщеннях в результаті дихання зерна чи інших процесів.

Затягування комбікормом відбувається в зв'язку з тим, що при випуску його з зерносховища над випускним люком утворюється спочатку невелика воронка, діаметр якої в міру виходу зерна збільшується до межі кута природного укосу. Продовжує цю воронку «стовп» зерна, що рухається вертикально зверху вниз, в якому діють різні сили, з них найбільші - вертикальні.

Дії цих сил спрямовані до випускного люка зерносховища, чим і пояснюється властивість рухомого «стовпа» комбікорму втягувати (засмоктувати) все, що знаходиться на його поверхні і шляхи.

Наскільки серйозною небезпеку наражається людина, що потрапила в воронку рухомого комбікорму, можна судити з наступних цифр: тиск в звичайному складі на 1 м^2 підлоги при висоті зернового насипу 1,5 м становить понад 1 т, при висоті насипу 2,5 м - близько 2 т і при висоті насипу 3,5 м - близько 3 т; при випуску 16 т комбікорму на годину з сховища через випускний люк (отвір) швидкість руху вертикального «стовпа» зерна в центрі воронки досягає 3 м/хв [4].

Величина всмоктувального зусилля в центрі комбікорму настільки велика, що підвішені металеві труби в силосах при випуску зерна іноді деформуються або спостегіається обрив тросів.

Ось чому випадки перебування людини на насипу комбікорму, що випускається, закінчувалися затягуванням його в зерно і задухою.

Небезпека для робітників на елеваторах, борошномельних, круп'яних і комбікормових заводах виникає як при переміщенні зерна, висівок, компонентів комбікормів, мучки, лушпиння, зернового пилу та інших відходів, так і при зберіганні їх в складах, засіках, бункерах і запорошених камерах, при неправильній організації робіт. При цьому особливу небезпеку становлять:

– вибірка при заповненні мішків або при підгортання комбікорму з насипу до випускного отвору на транспортну стрічку або норію шляхом «підкопу» із залишенням навислої або стрімкого верху насипу, який несподівано може обрушитися на працівників, зайнятих цими операціями;

– ходіння працівників по насипу (навіть злежаного) зерна, висівок, відходів та інше без спеціальних настилів, що призводить до провалу людини в сховані порожнечі, наявних всередині насипу;

– спуск працівників в бункера і безпосередньо на насип для розпушування злежалих висівок, компонентів комбікормів, відходів і випуску їх в патрубок, на норію або на транспортерну стрічку;

– спуск працівників в бункера і пилову камеру для зачистки або обрушення злежалася (прилип до стін) в них сипучої маси.

Робочі зони, що представляють собою можливі джерела ураження людини в результаті затягування його в зернову воронку, обрушення склепіння або навислої продукту, отруєння вуглекислим газом, слід вважати зонами підвищеної небезпеки.

Сховища для комбікорму або зернопродуктів силосного або бункерного типу мають у верхній частині насипні отвори (люки), що виходять найчастіше на рівень підлоги виробничих приміщень. При відсутності запобіжних пристроїв можливий травматизм в результаті падіння обслуговуючого персоналу в відкриті незахищені люки.

4.2.3 Пропозиції щодо покращення умов виробничої безпеки та недопущення появи небезпечних ситуацій

Труби і фасонні частини самопливних трубопроводів повинні бути надійно закріплені, щільно з'єднані між собою і не пропускати пил. Чим не дозволяється усувати залягання продукту в соматичних трубопроводах, б'ючи по них твердими предметами. Лючки на самопливних трубопроводах повинні мати щільно закриті кришки і розташовуватися в місцях, зручних для обслуговування.

Для очищення повітропроводів від пилу кожна горизонтальна ділянка мережі обладнують герметично закритими люками.

Повітропроводи слід прочищати при непрацюючому вентиляторі. При очищенні повітропроводів робочі повинні користуватися протипиловими індивідуальними респіраторами. Під час роботи не можна відкривати кришки люків в повітропроводах, що примикають до вентиляторів, і просовувати руки всередину воздухопровода. При обслуговуванні повітропроводів, розташованих на висоті, треба користуватися тільки справними сходами.

Для обслуговування засувок, якщо вони встановлені на висоті більше 2 м, влаштовують спеціальні площадки з драбинами.

Насипні лотки слід ретельно встановлювати по транспортеру. Вони повинні аспіровані, не допускати пилевиділення, подсору зерна. Забороняється поправляти щітки насипного лотка на ходу транспортера, брати з нього проби зерна, виймати сторонні предмети.

Ефективна і безпечна робота аспіраційних і пневмотранспортних установок багато в чому залежить від вмілого і правильного догляду за ними. При експлуатації всмоктуючих фільтрів необхідно, щоб їх шафи, конуси для пилу і дверки (люки), а також випускні колектори та прийомні коробки були герметичними і не допускали підсосу повітря. Оглядати рукава і перевіряти їх натяг необхідно не рідше одного разу на добу. Несправні рукава повинні своєчасно замінюватись новими.

У відцентрових пиловідокремлювачах (циклони і розвантажувач) всі з'єднання і затвори пилевідвідного патрубка систематично перевіряють на герметичність. Необхідно стежити, щоб в пилозбірнику не накопичувався пил. Доступ до люків циклонів повинен бути вільним і безпечним. Для обслуговування циклонів і розвантажувачів, встановлених на висоті, навколо них влаштовують спеціальний майданчик. Настил площадки не повинен мати щілин між дошками, щоб вниз не могли впасти інструмент та інші предмети.

При експлуатації повітродувних машин і вентиляторів, щоб уникнути аварій і нещасних випадків робочі колеса, з'єднувальні муфти і шківи необхідно добре відбалансувати.

Всмоктуючий отвір вентилятора, що не приєднаний до повітропроводу, має бути перекритий сіткою з осередками розміром 20х25 мм. Без таких сіток включати вентилятор в роботу не можна.

Для пневмотранспортних установок застосовують відцентрові вентилятори високого тиску і повітродувні машини. Робочий, який обслуговує вентилятор, повинен стежити за тим, щоб він працював безшумно, не перегрівалися підшипники, щоб було нормальним натяг приводних ременів і щільно приєднаний всмоктуючий повітропровід до вентилятора. Температура корпусу підшипників вентилятора повинна бути не вище 40 ... 50 °С. У разі підвищення температури необхідно виявити причину, при необхідності заповнити свіжою мастилом.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Для оцінки економічної ефективності проекту використовують такі показники: чистий дисконтований дохід (ЧДД), індекс прибутковості (ІД), внутрішня норма прибутковості (ВНД), термін окупності інвестицій ($Т_{ок}$).

Чиста поточна вартість використовується при оцінці інвестиційних проектів, в зв'язку з не равноценностью сьогоднішніх і майбутніх доходів (зміною «цінності» грошей з плином часу). Для цього використовується коефіцієнт дисконтування m_t. [15]

$$m_t = \frac{1}{(1+r)^t}, \tag{4.1}$$

де m_t – коефіцієнт дисконтування в t-період;

r – норма дисконтування, у долях.

Норма дисконтування являє собою норму прибутку на вкладений капітал. Якщо інвестором є саме підприємство, то норма дисконтування приймається на рівні середньої норми прибутку даного підприємства. Якщо інше підприємство або фізична особа вкладає в проект, то норма дисконтування прирівнюється ставкою банківського кредиту.

Розрахунок дисконтованого доходу (ЧДД) можна представити в наступному вигляді [15]:

$$ЧДД = \sum_{t=1}^{T} E_{річ} m_t - \sum_{t=1}^{T} K_t m_t, \tag{4.2}$$

де $E_{річ}$ – економія, що отримується від впровадження проекту, тис. грн; K_t – капітальні вкладення у проекту, тис. грн; T – термін реалізації проекту, років; t – номер часового інтервалу; m_t – коефіцієнт дисконтування.

Економія від впровадження технології керованого завантаження, зберігання та вивантаження сипкого матеріалу типу комбікорм за рахунок зменшення витрат на проведення даної технологічної операції [15]:

$$E_{річ} = (S_{вих} - S_{пр}) \cdot Q_{заг}, \tag{4.3}$$

де $Q_{заг}$ – річний об'єм обробітку сипкого матеріалу.

Річна економія залежить від обсягу сипкого матеріалу в рік. Далі наведено зміна річної економії в залежності від кількості сипкого матеріалу оброблюваного в рік (табл. 4.1)

Таблиця 4.1 - Зміна річної економії в залежності від кількості сипкого матеріалу (комбікорм) оброблюваного в рік

Об'єм комібкорму, т	Річна економія комбікорму, тис. грн
1000	19,2
2000	38,4
3000	57,6

Індекс дохідності (ІД) капіталовкладень визначається за формулою [15]:

$$ІД = \frac{\sum_{t=0}^{T} \frac{E_{річ}}{(1+E)^t}}{\sum_{t=0}^{T} \frac{K}{(1+E)^t}}. \quad (4.4)$$

Критерії ефективності інвестиційного проекту наступні:

– ЧДД > 0, позитивне значення чистого дисконтованого доходу говорить про те, що проект приносить прибуток. Негативне значення показує, що при заданій нормі прибутку проект приносить збиток.

– ІД > 1, тобто, сума доходів повинна перевищувати капітальні вкладення.

Для наближеного розрахунку внутрішньої норми прибутковості використовуємо формулу [15]:

$$ВНД = p_{1\%} + \frac{ЧДД_{1\%}}{ЧДД_{1\%} - ЧДД_{2\%}} \cdot (p_{2\%} - p_{1\%}), \quad (4.5)$$

де $p_{1\%}$ - процентна ставка, при якій $ЧДД_{1\%}$ має невелике позитивне значення;

$p_{2\%}$ - процентна ставка, при якій $ЧДД_{2\%}$ має невелике від'ємне значення.

Розрахунок чистого дисконтного доходу представлений 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок чистого дисконтного доходу.

Період, рік	Капітало-вкладення	Річна економія, грн	Коефіцієнт дисконтування		Дисконтний дохід, грн		ЧДД, грн	
			12%	25%	12%	25%	12%	25%
0	80440	-	1	1	-	-	-80440	-80440
1		38400	0,893	0,8	34286	30720	-46154	-49720
2		38400	0,797	0,64	30612	24576	-15542	-25144
3		38400	0,712	0,512	27332	19661	11790	-5483
4		38400	0,636	0,409	24404	15729	36194	10245
5		38400	0,567	0,328	21789	12583	57983	22828
6		38400	0,507	0,262	19455	10066	77438	32895
7		38400	0,452	0,209	17370	8053	94808	40948
8		38400	0,404	0,168	15509	6442	110317	47390
9		38400	0,361	0,134	13847	5154	124165	52544
10		38400	0,322	0,107	12364	4123	136529	56667
Всього					216969	137107		

Термін окупності капіталовкладень визначається графічним способом на рисунку 4.1.

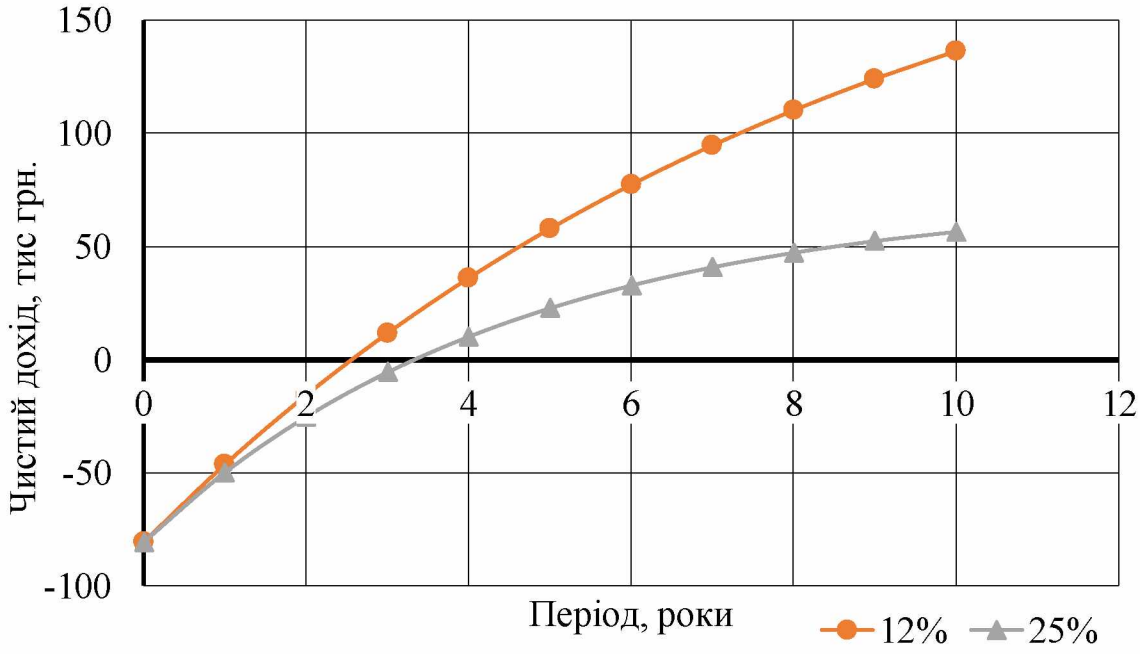


Рисунок 4.1 – Зміна чистого доходу за певний період

Згідно отриманих результатів техніко-економічного обґрунтування встановлено, що при різних джерелах фінансування чистий дисконтний дохід складає від 56,67 тис. грн до 136,53 тис. грн за 10 років експлуатації, термін окупності складає від 2 до 2,5 років.

4.4 Висновки до четвертого розділу

1. На основі проведеної екологічної експертизи щодо виявленню ступеня негативного впливу технології керованого завантаження, зберігання та вивантаження комбікорму на стан природного навколишнього середовища не було встановлено фактів можливого радіоактивного, бактеріального, хімічного та інших видів забруднень

2. Основним об'єктом дослідження на предмет виявлення та упередження небезпечних ситуацій та дотримання вимог охорони праці є техніка безпека та правила поведінки при використанні обладнання для завантаження, зберігання та вивантаження сипкого матеріалу.

3. У ході проведення аналізу наявних потенційних небезпек при використанні обладнання для завантаження, зберігання та вивантаження комбікорму були окреслені ймовірні причини виникнення небезпечних ситуацій та випадків. Більшість травмонебезпечних і аварійних ситуацій було піддано аналізу та надано рекомендації по їх недопущенню та профілактики.

4. За результатами техніко-економічного обґрунтування доцільності використання технології завантаження, зберігання та вивантаження комбікорму встановлено, що запровадження даної технології дозволяє отримувати дохід від 57 до 137 тис грн при термін окупності капіталовкладень 2..2,5 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі виявлених конструктивних особливостей завантажувальних пристроїв розроблено їх класифікацію, що дозволяє виявити основні шляхи їх удосконалення. З урахуванням цього запропоновано новий пристрій для зберігання сипких вантажів з блоком управління режимами технологічного процесу.

2. Розроблено конструкцію сховища з керованим технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження. Пропоноване технічне рішення спрямоване на запобігання сегрегації матеріалу і його рівномірний розподіл по всьому перерізу ємності, виключення сводоутворення шляхом розподілу тиску по вертикальному перерізу ємності, а також забезпечення рівномірного закінчення сипучого матеріалу при розвантаженні.

3. Експериментальні дослідження пристрою управління технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження дозволили зробити наступний висновок:

1) при завантаженні забезпечується рівномірність і відсутність сегрегації сипких вантажів:

- для цеоліту: кут нахилу решета - 36^0, ширина щілини в решітці - 0,8 см, довжина решета - 27,4 см, відносний крок установки решіт - 2,8;

- для висівок: кут нахилу решета - 380, ширина щілини в решітці - 1,2 см, довжина решета - 25 см, відносний крок установки решета - 2,5;

- для шроту: кут нахилу решета - 36,40, ширина щілини у решітці - 1,1 см, довжина решета - 19 см, відносний крок установки решіт - 2,3.

2) у процесі зберігання:

- решета, що знаходяться в порожнині бункера, знижують ущільнення насипного матеріалу, отже збільшиться термін зберігання продукту;

- тиск у галузі вивантажувальної воронки знижується, що дозволяє процес вивантаження стабілізувати;

3) при розвантаженні:

- встановлення елемента пристрою керуванням технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження під кутом 45° та висота установки на вивантажувальному отворі від 2 до 2,3 $h_в/B$ забезпечує максимальну продуктивність та рівномірну подачу сипучого матеріалу в технологічну лінію;

- сегрегація сипучого матеріалу відсутня, навіть при "нормальному" вигляді закінчення. Це дозволяє розширити технологічні та функціональні можливості бункера;

- якісні властивості сипучого матеріалу не змінюються в процесі завантаження, зберігання та вивантаження при використанні пристрою управління технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження.

4. На основі проведеної екологічної експертизи щодо виявленню ступеня негативного впливу технології керованого завантаження, зберігання та вивантаження комбікорму на стан природного навколишнього середовища не було встановлено фактів можливого радіоактивного, бактеріального, хімічного та інших видів забруднень

5. Основним об'єктом дослідження на предмет виявлення та упередження небезпечних ситуацій та дотримання вимог охорони праці є техніка безпека та правила поведінки при використанні обладнання для завантаження, зберігання та вивантаження сипкого матеріалу.

6. У ході проведення аналізу наявних потенційних небезпек при використанні обладнання для завантаження, зберігання та вивантаження комбікорму були окреслені ймовірні причини виникнення небезпечних ситуацій та випадків. Більшість травмонебезпечних і аварійних ситуацій було піддано аналізу та надано рекомендації по їх недопущенню та профілактики.

7. За результатами техніко-економічного обґрунтування доцільності використання технології завантаження, зберігання та вивантаження комбікорму встановлено, що запровадження даної технології дозволяє отримувати дохід від 57 до 137 тис грн при термін окупності капіталовкладень 2..2,5 роки.