

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Усенко Богдан Миколайович

УДК 331.45

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ
ЄМНОСТЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Усенко Б.М

Керівник роботи
Боровський В.М.
старший викладач

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Усенко Богдан Миколайович. Підвищення ефективності функціонування ємностей сільськогосподарського призначення. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В кваліфікаційній роботі 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.

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

Розроблена параметрична модель бункера дозволяє визначити основні параметри, що впливають весь процес функціонування ємності та оцінити їх значимість на етапах завантаження, зберігання та вивантаження.

Інженерні випробовування показали, що бункер з керованим технологічним процесом завантаження, зберігання і вивантаження забезпечує необхідну високу пропускну здатність у широкому діапазоні зміни фізико-механічних властивостей сипучих матеріалів.

Ключові слова: ємність, контроль, технологічний процес, завантаження пристрій

ANNOTATION

Usenko Bohdan Mykolaiovych. Improving the efficiency of agricultural tanks.

– *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the qualification work, based on the identified design features of loading devices, their classification was developed, which allows identifying the main ways to improve them. With this in mind, a new device for storing bulk cargo with a control unit for technological process modes is proposed.

The design of a storage facility with a controlled technological process of loading, storage, and unloading has been developed. The proposed technical solution is aimed at preventing material segregation and its uniform distribution over the entire cross-section of the tank, eliminating caking and cake formation by distributing pressure over the vertical cross-section of the tank; as well as ensuring uniform flow of bulk material during unloading.

The developed parametric model of the bunker allows us to determine the main parameters that affect the entire process of the tank's functioning and assess their significance at the stages of loading, storage and unloading.

Engineering tests have shown that a bunker with a controlled technological process of loading, storage, and unloading provides the required high throughput in a wide range of changes in the physical and mechanical properties of bulk materials.

Keywords: capacity, control, technological process, loading device

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ФУНКЦІОНУВАННЯ СХОВИЩ ДЛЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ.....	8
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ЄМНОСТІ ДЛЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ.....	27
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ПРИСТРОЮ.....	36
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Відповідно до Постанови уряду України «Науково-технічної програми розвитку сільського господарства на 2017-2025 роки» визначає основні науково-технологічні напрями для забезпечення стабільного зростання виробництва сільськогосподарської продукції. Одним із завдань є створення та впровадження сучасних технологій виробництва, переробки та зберігання сільськогосподарської продукції, сировини та продовольства.

Однією з основних технологій у тваринництві залишається виробництво, переробка та зберігання комбікормів та кормосумішей. В даний час жодне комбікормове виробництво, пов'язане з сипучими матеріалами, не обходиться без спеціального обладнання для акумулювання, зберігання та випуску цих матеріалів. Роль допоміжних пристроїв у транспортно-технологічному ланцюгу спеціалізованих підприємств і в господарсько-виробничих умовах виконують бункера, силосу та комбіновані бункерні пристрої.

На сучасному підприємстві транспортні та технологічні лінії взаємопов'язані і є єдиною виробничою системою. Правильна організація та безперебійна робота міжцехового та внутрішньоцехового транспорту є такою ж обов'язковою умовою успішної 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, поліпшення 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 і грубих припущень. Сприйняття сховищ сипких матеріалів як простих технічних об'єктів не забезпечує розвитку їхнього 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 роботи – підвищення ефективності функціонування сільськогосподарських ємностей шляхом розробки пристрою управління технологічним процесом завантаження, зберігання і вивантаження компонентів комбікорму.

Для реалізації поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі **завдання**:

- провести аналіз технологічного процесу функціонування сховищ для сипучих матеріалів;
- розробити конструкцію сховища з керованим технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження.

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.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Усенко Б.М.** Технологічний процес функціонування сховищ для сипучих матеріалів. Збірник тез ІХ-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». м. Житомир, 5 квітня 2023 року. Житомир : ЖАТФК. С. 265-267.

2. Боровський В.М. **Усенко Б.М.** Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми ємності для сипких матеріалів. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 126-129.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для підприємств АПК представляє розроблений пристрій управління технологічним процесом завантаження, зберігання і вивантаження компонентів комбікорму.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 52 сторінки комп'ютерного тексту, містить 23 рисунки та 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ФУНКЦІОНУВАННЯ СХОВИЩ ДЛЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ

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

Бункери та силоси є акумулювальними 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 бункери та силоси відповідали цим умовам:

- механізація й автоматизація всіх операцій з обробки зернових матеріалів;
- у процесі завантаження, зберігання і вивантаження забезпечувалося якісне і кількісне збереження зернового матеріалу;
- дотримання санітарно-гігієнічних вимог;
- забезпечувався захист від птахів, гризунів і навколишнього середовища;
- геометрія бункерів і силосів не повинна бути порушена, а також своєчасно виявляти появу тріщин і щілин.

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

Заготівельні ТСК у великих і приватних агровиробників приймають зернові матеріали та здійснюють первинну обробку і зберігання.

Потім відправляють на складські підприємства другої і третьої ланки.

Відвантажують на залізничний і водний транспорт. Заготівельні підприємства володіють великою місткістю і продуктивністю, що дає змогу забезпечити обробку всього врожаю, протягом усього періоду збирання.

Основою функцією є відпуск зерна з меншою продуктивністю.

Базисні ТСК - призначені для поточного споживання зерна та зернопродуктів. До основних операцій належать: приймання зерна, очищення від каміння, лушпиння та пилу, сушіння, довготривале зберігання та навантаження на транспорт.

Базисні елеватори розташовані на перетині залізничних і 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 для транспортування відрізняється високою продуктивністю.

Держава організовує фондові сховища для створення резервів.

Термін зберігання зерна і зерно продуктів приблизно становить 3-4 роки.

Отже, у процесі зберігання необхідно підтримувати якість матеріалу, тобто проводити очищення, сушіння, провітрювання зернової маси.

Виробничі ТСК – забезпечують зерном і зернопродуктами борошномельні, комбикормові, олійні та інші переробні підприємства. Такі сховища мають запас сировини на 5-6 місяців, щоб за потреби відпускати зерновий продукт підприємствам.

Для відвантаження зернового матеріалу на експорт використовуються портові

транспортно-складські комплекси (ТСК). Після того як зерно приймають із водного або залізничного транспорту, партію зернового продукту готують на експорт, тобто додатково очищають і просушують. Для своєчасного завантаження транспортних суден і залізничного рухомого складу та зменшення

їхнього простою портові ТСК мають бути оснащені вантажно-розвантажувальними машинами великої продуктивності.

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

Усі вище названі ТСК крім своїх основних функцій частково виконують функції інших типів комплексів. Завдяки поєднанню операцій, шлях від виробництва до споживача скорочується, збільшується продуктивність праці, а витрати обігу 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. Безтарна технологія - це основний спосіб зберігання зерна та зернопродуктів. При цьому об'єм і площа зерносховищ використовується набагато ефективніше, ніж при зберіганні в тарі. ТСК, завдяки бункерам і силосам, мають невеликі складські площі, оскільки останні дають змогу зберігати сипучі матеріали в ємностях висотою від 30 до 60 метрів. На рис. 1 наведено схему ТСК, яка може слугувати основою будь-якого типу сховищ. Після того, як транспорт прибуває на територію складу, сипучий матеріал потрапляє до приймальних бункерів, потім за допомогою конвеєрів у накопичувальну та вагову ємність, а потім, у силоси, на зберігання. Згодом зерновий матеріал потрапляє в технологічну лінію на виробництво. Для навантаження в транспортні засоби використовуються відпускні бункери.

Залежно від призначення бункери бувають приймальні та відпускні. Приймальні бункери повинні перевищувати об'єм кузова транспортних засобів і мають глибину від 1,5 до 5 метрів.

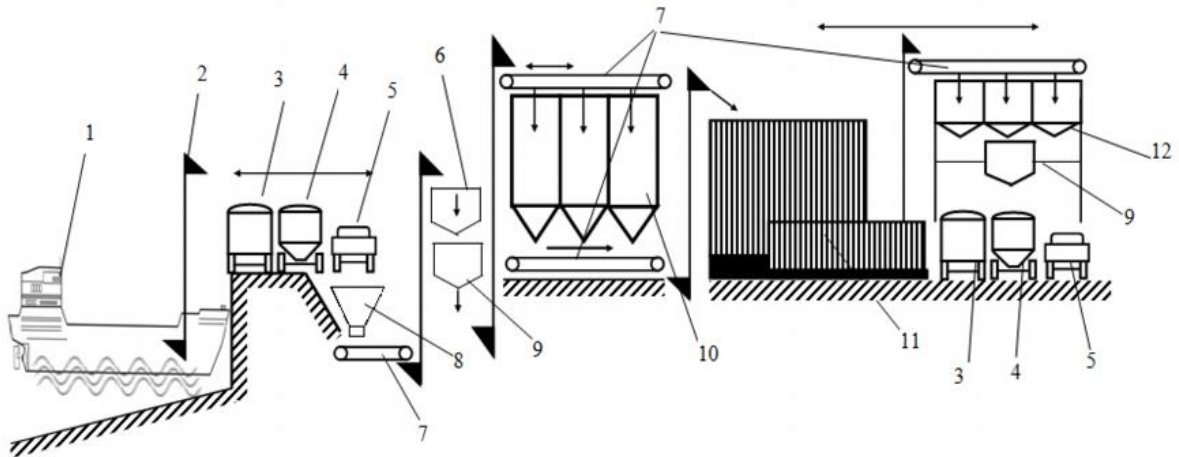


Рис. 1.1. Схема транспортно-складського комплексу: 1 - судно; 2 - ковшовий навантажувач; 3 - критий вагон; 4 - вагон-хоппер; 5 - автомобіль; 6 - накопичувальна ємність; 7 - скребковий конвеєр; 8 - приймальний бункер; 9 - ваговий бункер; 10 - силосний корпус; 11 - переробне підприємство; 12 - відпускні бункера.

Бункерне та силосне зберігання має низку переваг перед іншими способами, а саме дає можливість:

- здійснювати механізоване приймання та зручне зберігання матеріалу;
- надійно захищати від атмосферних опадів і псування гризунами та птахами;
- поєднання різного технологічного обладнання безперервної та дискретної дії;
- низькі енергетичні витрати та експлуатаційні витрати.

В даний час вітчизняні підприємства харчової та переробної промисловості зазнають кардинальних змін. Це пов'язано з розвитком технічних засобів, але рівень автоматизації вантажно-розвантажувальних і транспортно-складських (ВРТС) операцій на етапі характеризується досить низько. Оскільки, при виборі акумулюючих пристроїв, у процесі функціонування транспортно-складських комплексів (ТСК) повною мірою не враховуються фізико-механічні властивості сипучих мас, що зберігаються, що в свою чергу веде до виникнення труднощів при завантаженні, зберіганні та вивантаженні їх з ємностей і порушенні роботи

всього підприємства. За наявності різних негативних факторів, випуск сипучої маси стає нестабільним, у зв'язку з утворенням динамічних склепінь, а в ряді випадків з виникненням статичних склепінь. Внаслідок чого відбувається порушення якісних характеристик сипучої маси в технологічній лінії, що може призвести до поломки обладнання і як наслідок затримки транспорту при відправці до споживача.

Відновлення сипкості зернового матеріалу всередині ємності відноситься до трудомісткого та енергоємного процесу. Нерідко застосовується важка ручна праця, часто з недотриманням техніки безпеки, а дії спрямовані на склепіння призводять до порушення геометричних форм випускної воронки і в цілому всього сховища.

У процесі функціонування сховищ у ТСК крім вивантаження та зберігання сипучих мас, важливе значення має процес завантаження. У працях Богом'яких В.А., Дженіку Е.В., що працюють над цією проблемою та інших відомих вчених, говориться, що завантаження впливає на весь процес функціонування сховищ. У практиці відомо три варіанти завантаження ємностей: струменем, дощем і завантаження каскадом. Розглянемо, що відбувається із зерновим матеріалом в процесі кожного способу завантаження.

Дослідженнями вище наведених вчених встановлено, що при завантаженні струменем осідання вантажу відбувається більш інтенсивно, і в нижніх шарах виникає великий горизонтальний тиск, у зв'язку з чим випускна вирва відчуває інтенсивне навантаження. При цьому може виникнути розпір сипучої маси в нижній частині вивантажувальної воронки, і закінчення без допоміжних засобів буде утруднений. Крім того, при такій схемі завантаження знижується місткість ємності, так як сипуча маса розташовується конусоподібно, під кутом природного укосу. Щоб уникнути конусоподібної форми насипу застосовують спеціальні завантажувальні пристрої.

Щоб зменшити тиск на дно ємності на початку застосовують завантаження дощем. Дане завантаження забезпечує рівномірний розподіл часток по

горизонтальному перерізу ємності. Внаслідок чого випуск матеріалу відбувається поступово. Але такий спосіб завантаження підходить для ємності малої глибини: бункерів та кузовів транспортних засобів.

Каскадні спуски використовують для зменшення ущільнення сипучого матеріалу, рівномірного завантаження горизонтального перерізу ємності. Внаслідок меншої висоти падіння пилоутворення мінімальне, а також відбувається зниження травмування частинок сипучого матеріалу. Каскадні спуски є також і переривниками тиску, що виникає всередині ємності, завдяки чому забезпечується стійкий однорідний потік при вивантаженні.

Під час завантаження відбувається розшарування зернового матеріалу. При детальному розгляді даний процес можна розбити на два етапи: падіння сипучого матеріалу і формування насипу.

На першу ділянку, впливає дія повітряного середовища, внаслідок різної швидкості витання великих і дрібних фракцій сипучої маси. При вільному падінні матеріалу його потік перетворюється на конус розсіювання, в центрі якого концентруються великі частинки, а дрібні виносяться опором повітря на периферію (рис. 1.2 а). У міру збільшення висоти вільного падіння площа конуса розсіювання збільшується. Великі частинки сипучої маси з центру потоку переміщуються на периферію, а дрібні – центральну зону (рис. 1.2 б). У зв'язку з цим характер формування насипу і щільність розподілу частинок сипучої маси поперечного перерізу ємності будуть різні через висоти вільного падіння матеріалу, що зберігається, що пов'язано з вивантаженням. Отже, спосіб і параметри завантаження істотно впливають на випуск матеріалу, що зберігається з ємності. При вивантаженні також може спостерігатися сегрегація, так як у процесі завантаження фракції матеріалу займають певне місце розташування в порожнині ємності, що веде до оптимальних умов виникнення злежуваності. Таким чином, розшарування матеріалу, що зберігається по фракціях (сегрегація) істотно ускладнює його вивантаження. Однак для досліджень ВНИИКП

виявлено, що якщо висота падіння не перевищує 3 ... 4 м, то сегрегація у полідисперсних сумішей не відбувається.

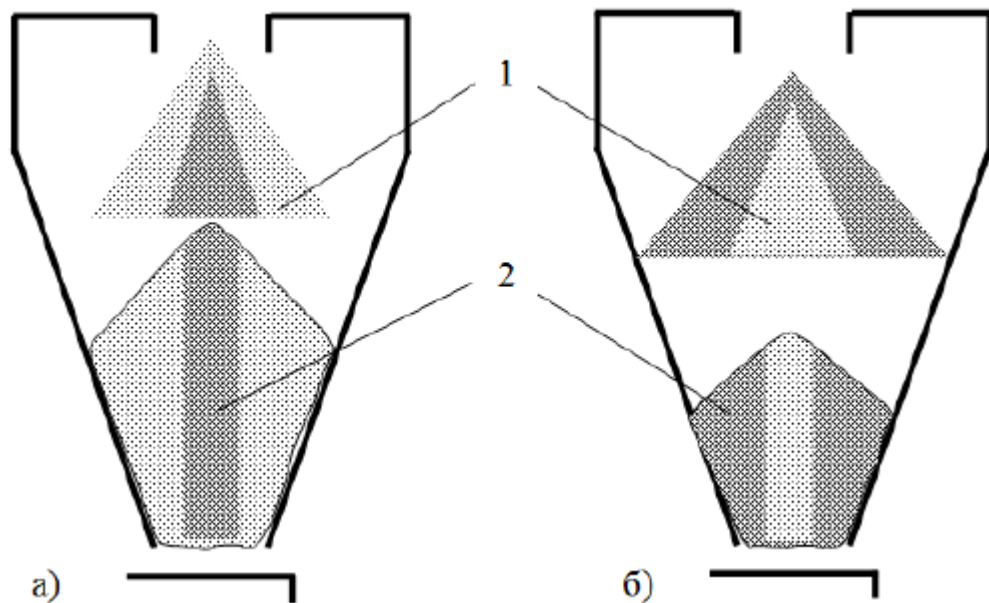


Рис. 1.2. Схема формування насипу при вільному падінні сипучої маси: 1 – дрібні частки; 2 – великі частки.

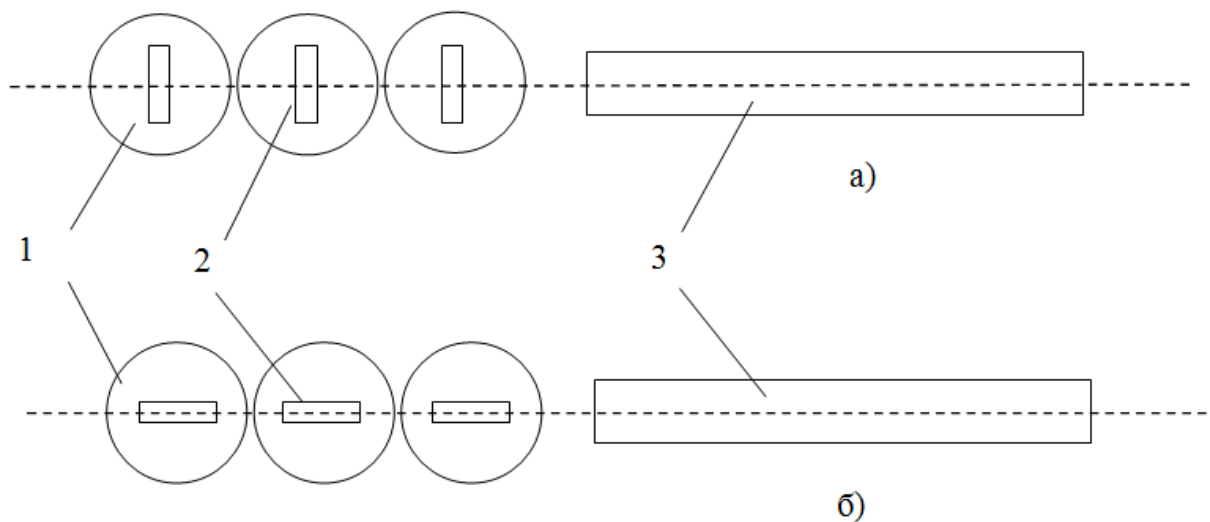


Рис. 1.3. Схема бункерного ряду з випускними отворами щілинної форми, що завантажуються конвеєром: 1 – силоса; 2 – випускний щілинний отвір; 3 – конвеєр.

Дослідження Г.А. Рогінського і Дженіку показали, що якщо бункер з випускним отвором щілинної форми завантажуються конвеєром, у якого поздовжня вісь перпендикулярна по відношенню до довгої сторони щілини, то

явище сегрегації зменшується (рис. 1.3 а). При такому розташуванні осей сипкий матеріал при випуску переміщується. В іншому випадку, коли вісь конвеєра паралельна поздовжній осі випускного отвору, явище сегрегації збільшується (рис. 1.3 б).

Отже, для запобігання цим факторам у процесі завантаження необхідно використовувати пристрої або способи завантаження, що зводять їх значення до мінімуму.

Існує велика кількість пристроїв для завантаження ємностей сипучим матеріалом. Аналіз завантажувальних пристроїв дозволив запропонувати їх класифікацію (рис. 1.4). Завантажувальні пристрої поділяються: за об'єктом завантаження, за способом завантаження, за розташуванням завантажувального пристрою, за призначенням, за принципом дії, за видом завантажувального матеріалу. Розглянемо конструктивні особливості завантажувальних пристроїв за пропонованими найбільш характерними ознаками. За принципом дії завантажувальні пристрої можна розділити на гравітаційні, механічні та пневматичні. Але, незважаючи на їх кількість, широке застосування отримали завантажувальні пристрої гравітаційного типу, так як прості у виготовленні та не витрачають електроенергію.

Також широко застосовуються і механічні завантажувальні пристрої, а пневматичні завантажувальні пристрої не знайшли широкого поширення, у зв'язку з високою енергоємністю (у 4...6 разів перевищує механічні пристрої) і швидким зносом обладнання при транспортуванні через абразивність перевантажуваних мас.

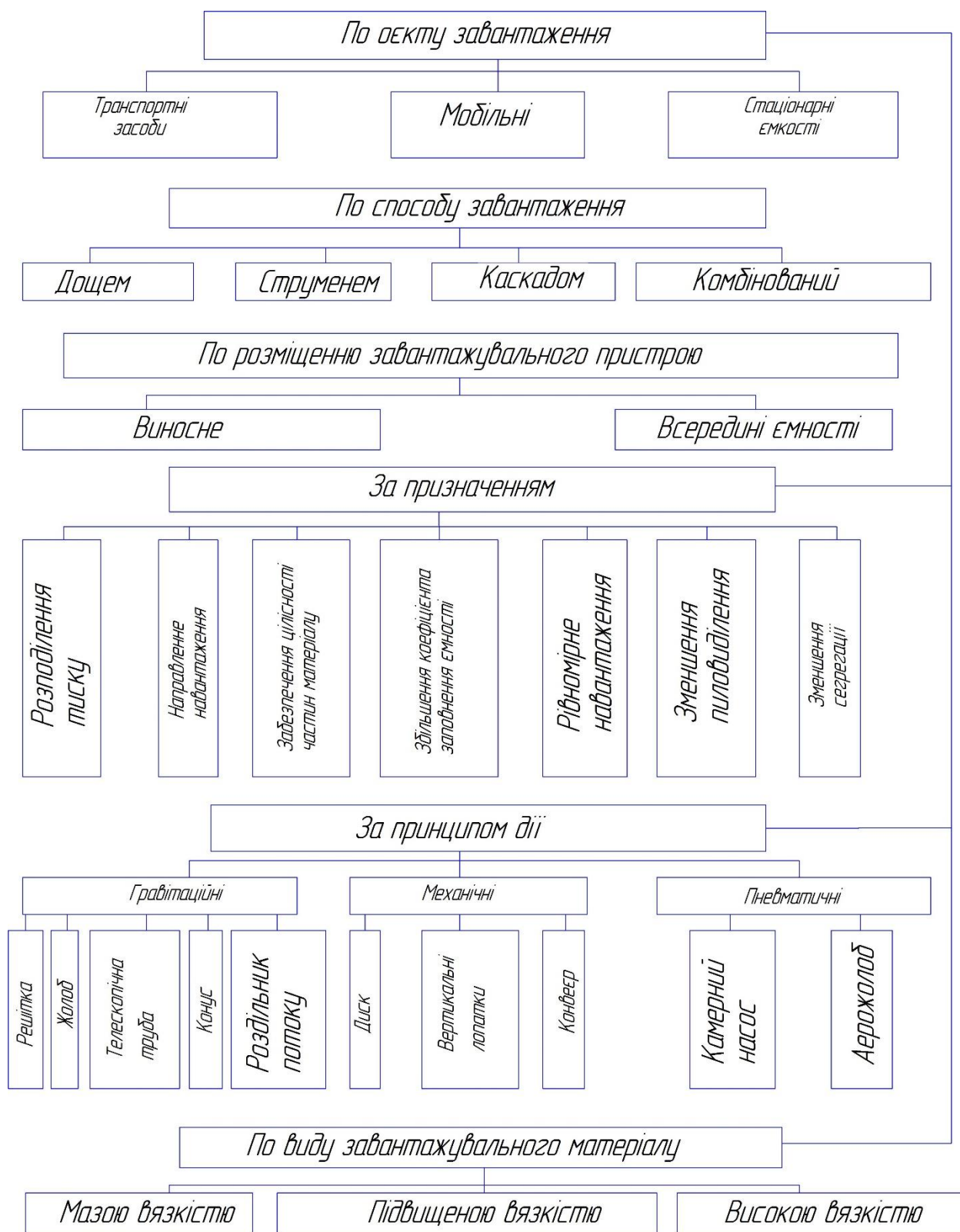


Рис. 1.4. Класифікація завантажувальних пристроїв

Для гравітаційного завантаження сипких мас застосовують конвеєри в різному конструктивному виконанні. По виду тягового вантажонесучого органу вони поділяються на: стрічкові, ланцюгові, скребкові, ковшові, пружинні тощо.

При транспортуванні в потоці сипучої маси можуть перебувати сторонні предмети (болти, гайки та ін), які завдають шкоди обладнанню під час переробки матеріалу. Для видалення твердих сторонніх домішок використовують пасивні відсікачі або кишені з гребінчастими уловлювачами; від металевих – магнітні сепаратори (рис. 1.5 а). Однак, незважаючи на високу продуктивність конвеєри мають обмежені функціональні можливості.

При завантаженні транспортних засобів використовують циліндричні труби, виготовлені з пластику, що кріпляться між собою хомутами, завдяки цьому сипкий матеріал і пил, що виникає в процесі навантаження, не потрапляє в навколишнє середовище (Рис. 1.5 б). Навантаження сипучого вантажу може здійснюватися як вертикальному положенні труб, і у похилому. Недоліком цього пристрою є складна конструкція та система стропування, а також у міру збільшення висоти транспортування збільшуватиметься маса пристрою.

На рис. 1.5 в представлено завантажувальний пристрій, призначений для мобільних ємностей. У конструкцію входять дві гофровані рухомі труби. Завантаження сипучого матеріалу може проводитися як по одному, так і за двома напрямками, внаслідок чого коефіцієнт місткості близький до одиниці. На рис. 1.5 г, представлений жолоб, що вертикально складається. У процесі заповнення його сипучим матеріалом він висувається. Після зіткнення з підлогою кузова транспортного засобу відкривається заслінка, і матеріал висипається на поверхню, що приймає, одночасно відбувається підняття жолоба на задану висоту і висипання вантажу припиняється, тим самим виключається руйнування його частинок внаслідок малої висоти падіння. Недоліком конструкції є велика металомісткість. В умовах підвищеної вологості пристрій швидко іржавіє і виходить з ладу. Пристрій, зображений на рис. 1.5 д, призначений для завантаження напіввагонів. Пристрій містить верхню циліндричну вирву, прикріплену до майданчика. Нижче співвісно розташовані конусоподібні вирви, прикріплені одна до одної гнучкими елементами. Для

здійснення завантаження гравітаційний спуск наводять у робоче положення, тобто конусоподібну вирву опускають до торкання дна напіввагона.

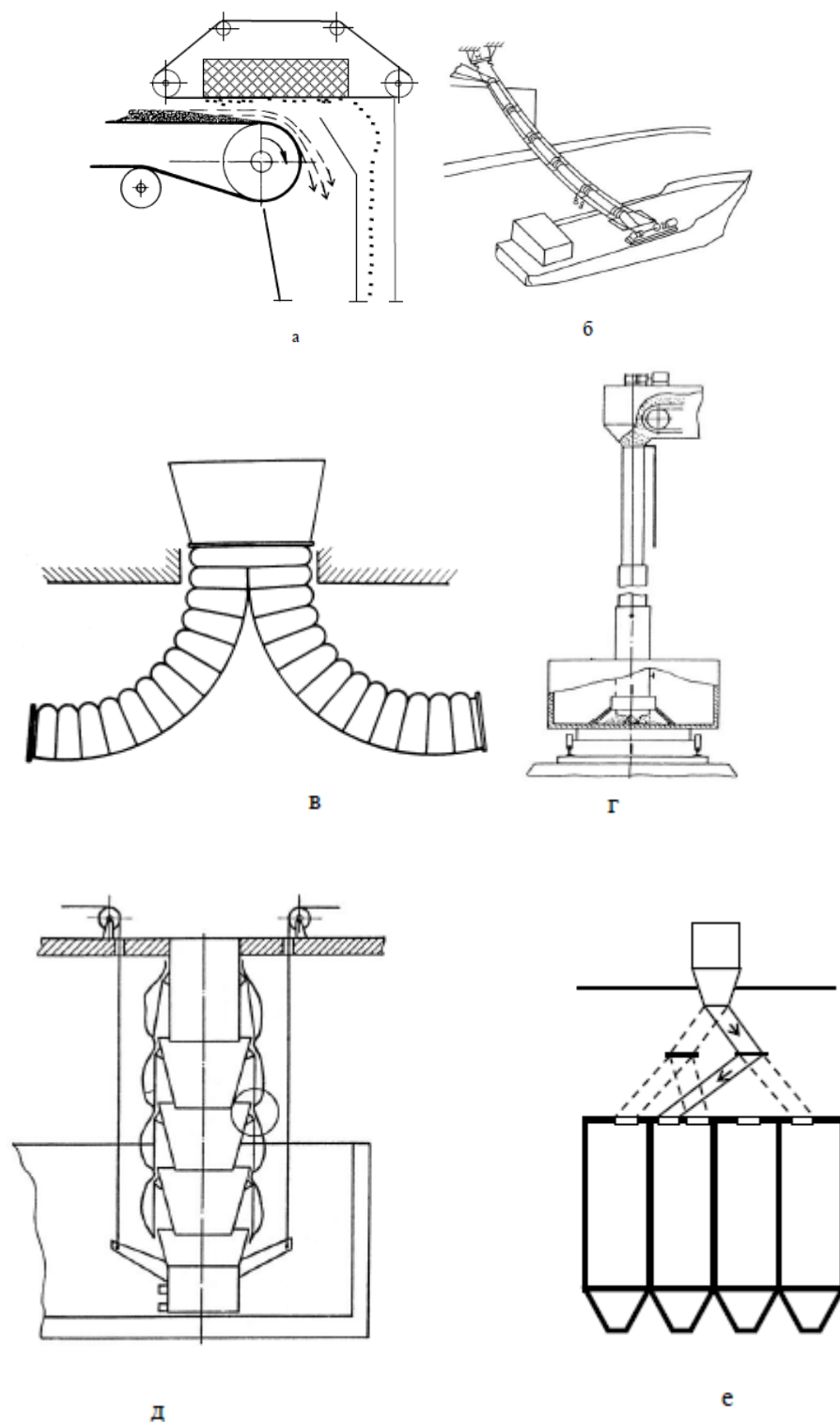


Рис. 1.5. Завантажувальні пристрої, що формують компактний потік

Потім здійснюють подачу вантажу до моменту фіксації датчика його наявності. Одночасно включається двигун підйому нижньої лійки і піднімає її за

допомогою канатів до тих пір, поки не покаже датчик відсутності вантажу. Потім за сигналом двигун включається і знову відбувається опускання воронки і заповнення її вантажем. Недоліком цієї конструкції є складність у виготовленні та недовговічність.

Для завантаження декількох ємностей застосовується розподільний пристрій Мауо, який складається з самопливу, що обертається, з крутим нахилом і з'єднаного з одним джерелом подачі (рис. 1.5 е). При такому вигляді завантаження виникає велике виділення пилу.

Розглянемо такі пристрої, завдяки яким знижується щільність потоку падаючого вантажу і відбувається більш рівномірне завантаження.

Відомо пристрій, що містить двосхилий дільник з можливістю кочення на осі, за допомогою механізму регулювання розподілу потоку вантажу по ширині ємності, скати якого виконані криволінійними (рис. 1.6 а). Пропонована конструкція знижує сегрегацію, отже, покращує вихід та якість вантажу. Недоліком двосхильного дільника є відсутність можливості рівномірного регулювання розподілу потоку вантажу.

На рис. 1.6 б наведено завантажувальний пристрій, що містить завантажувальний рукав, затвор-розсікач, виконаний у вигляді симетричного тіла обертання. При подачі вантажу в завантажувальний рукав під дією сили тяжіння затвор-розсікач опускається і по всьому периметру завантажувального рукава утворюється рівномірний зазор. У зв'язку з тим, що затвор-розсікач являє собою опукле донизу тіло обертання, частинки вантажу відкидаються у всіх напрямках, в ємності, що завантажується, внаслідок чого зменшується щільність потоку і максимально використовується місткість ємності. Але при завантаженні спостерігається нерівномірний розподіл горизонтального перерізу ємності.

На рис. 1.6 показаний відцентровий розкидач. Він призначений для різних ємностей (стаціонарних, мобільних). Відцентровий розкидач складається з вертикального валу, на якому закріплений диск, що обертається, і кільцевим обмежувачем, розташованим під диском, який може переміщатися вгору-вниз.

На кільцевому обмежувачі є технологічний отвір у бічній стінці з якої сипкий матеріал потрапляє в будь-яку точку ємності. Але завантаження вантажу відбувається із сильним ущільненням.

Для зменшення кінетичної енергії падаючого вантажу та його самосортування при завантаженні в силос застосовують спеціальний пристрій, виконаний у вигляді усіченого конуса, зверненого вершиною вниз (рис. 1.6 г).

Завдяки чому потік вантажу поділяється на три частини, а співвідношення верхнього діаметра конуса, до нижнього - дорівнює 10. Недоліком даного пристрою є складність кріплення в нутрії ємності.

Ще один завантажувальний пристрій представлений на рис. 1.6 д. Він призначений для завантаження вагонів мінеральними добривами. Розкидаючий пристрій складається з напрямних елементів, опорних перекладин і завантажувального рукава. Пристрій працює таким чином, завантажувальний рукав опускають разом з розкидувачем всередину вагона, поперечини спираються на буртики люка і завдяки їх шарнірному з'єднанню забезпечується робоче положення напрямних елементів.

У процесі завантаження сипкий матеріал розділяється на три частини, одна з яких потрапляє між двома напрямними і завантажує середину транспортного засобу, а дві інші переміщуються по симетрично розташованим напрямним завантажувального пристрою, завдяки цьому сипкий матеріал розкидається до бічних стінок транспортного засобу. У зв'язку з цим ступінь сегрегації знижується і зменшується динамічне ущільнення добрив, але цей завантажувальний пристрій може бути використаний тільки для завантаження вагонів або бункерів малого обсягу.

Для завантаження транспортних засобів застосовується пристрій, зображений на рис. 1.6 е. Він складається з бункера, з випускними воронками, які перекриваються конусними клапанами. При вивантаженні вантажу з бункера конусні перекривачі одночасно опускаються, і здійснюється подача вантажу

через кругові зазори, які регулюються до заданого технологічного значення. Даний пристрій є громіздким за конструкцією та металомістким.

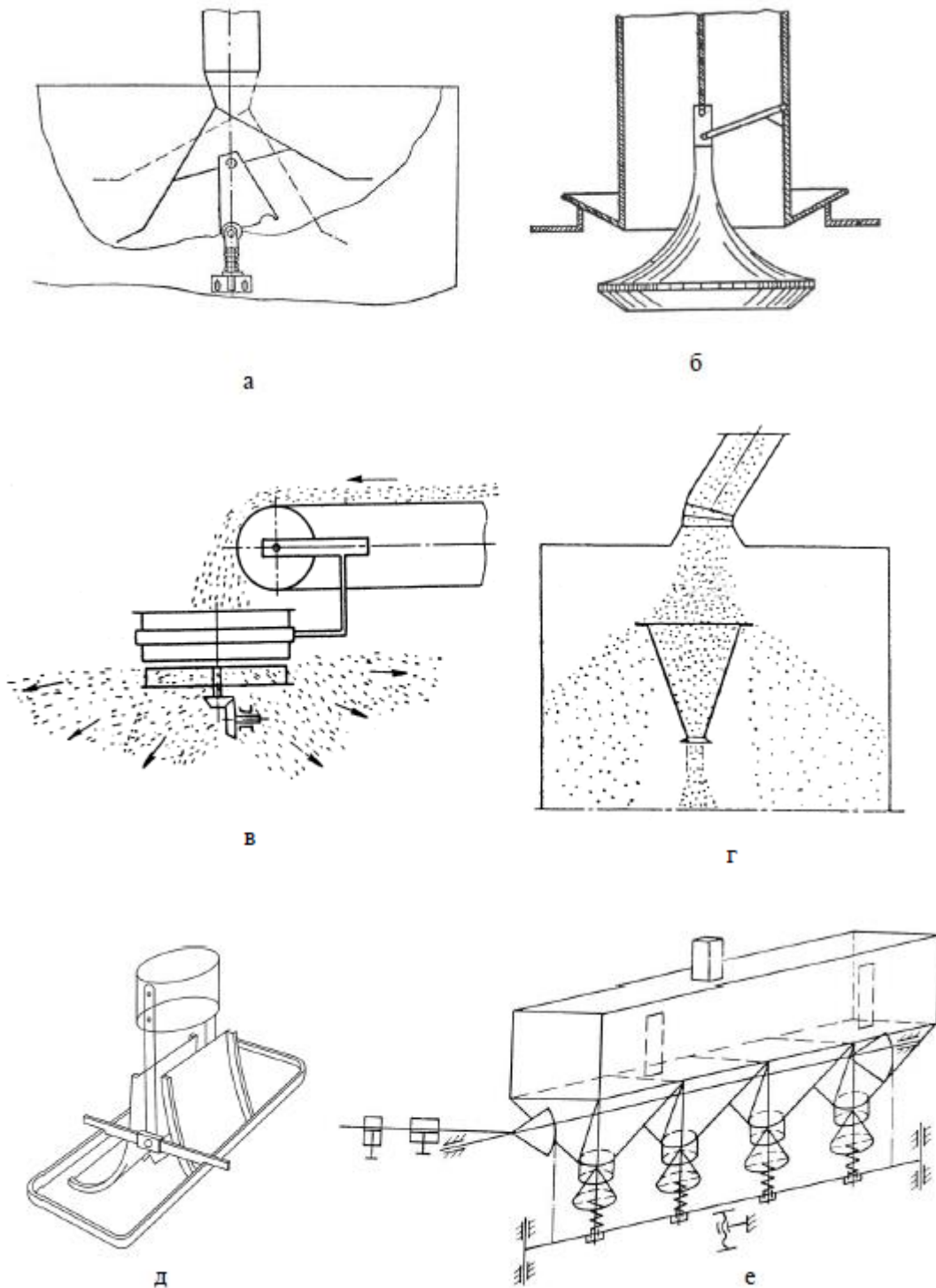


Рис. 1.6. Завантажувальні пристрої - розсікачі потоку

Установка для розподілу гранульованих частинок представлена на рис. 1.7 а. Вона складається з бункера із завантажувальним патрубком. Уздовж вертикальної осі завантажувального жолоба проходить вал, що обертається

електродвигуном, до якого приєднані легкі пластини. Пластини знаходяться нижче патрубк і мають довжину від 10 см до декількох метрів, що забезпечує в ємності розподіл частинок. Недоліком цієї конструкції є складність у виготовленні та великі експлуатаційні витрати.

Для перевантаження сипких вантажів застосовується каскадна гравітаційна завантаження (рис. 1.7 б). У середині вертикального корпусу встановлені перемички та полиці у зоні розвантажувальної щілини. При спуску сипучого вантажу зменшується висота вільного падіння, що знижує утворення пилу. Завдяки такій конструкції можна повністю автоматизувати процес складування сипких вантажів і зменшити їх подрібнення. Але полиці не забираються з ємності і не складаються, у зв'язку з цим на полицях залишається сипкий матеріал, що призводить до виникнення склепінь, що негативно позначається на випуск вантажу.

На рис. 1.7, представлена установка, що містить колону, яка забезпечена регульовальними похилими перегородками. Похилі перегородки забезпечують розподіл вантажу висотою колони. Найнижча перегородка має можливість переміщатися у вертикальній площині і управляється датчиком напруги, з метою подачі певної кількості вантажу.

Для завантаження сховищ коренеплодами застосовуються зигзагоподібний жолоб (рис. 1.7 г), який складається з похилих лотків, шарнірно з'єднаних в єдиний зигзагоподібний ланцюг. Під час завантаження під дією власної ваги лотки опускаються в ємність, у міру заповнення сховища вантажем лотки лебідкою піднімаються нагору, тим самим лотки не залишаються в вантажі і можуть застосовуватися для завантаження іншого сховища.

Завантажувальний пристрій представлений на рис. 1.8 д, призначений для забезпечення цілісності частинок і зменшення висоти падіння матеріалу. У процесі завантаження похилі патрубки змінюють напрямок руху сипучого матеріалу. Завдяки цьому матеріал не падає, а тече потоком. Але падіння матеріалу все-таки відбувається з висоти від 0 до 1,5 м через отвори, розташовані

в патрубках. Після закінчення завантаження патрубку не вилучаються з бункера, у зв'язку з цим у ємності виникають статичні склепіння, які перешкоджають закінченню сипучого матеріалу.

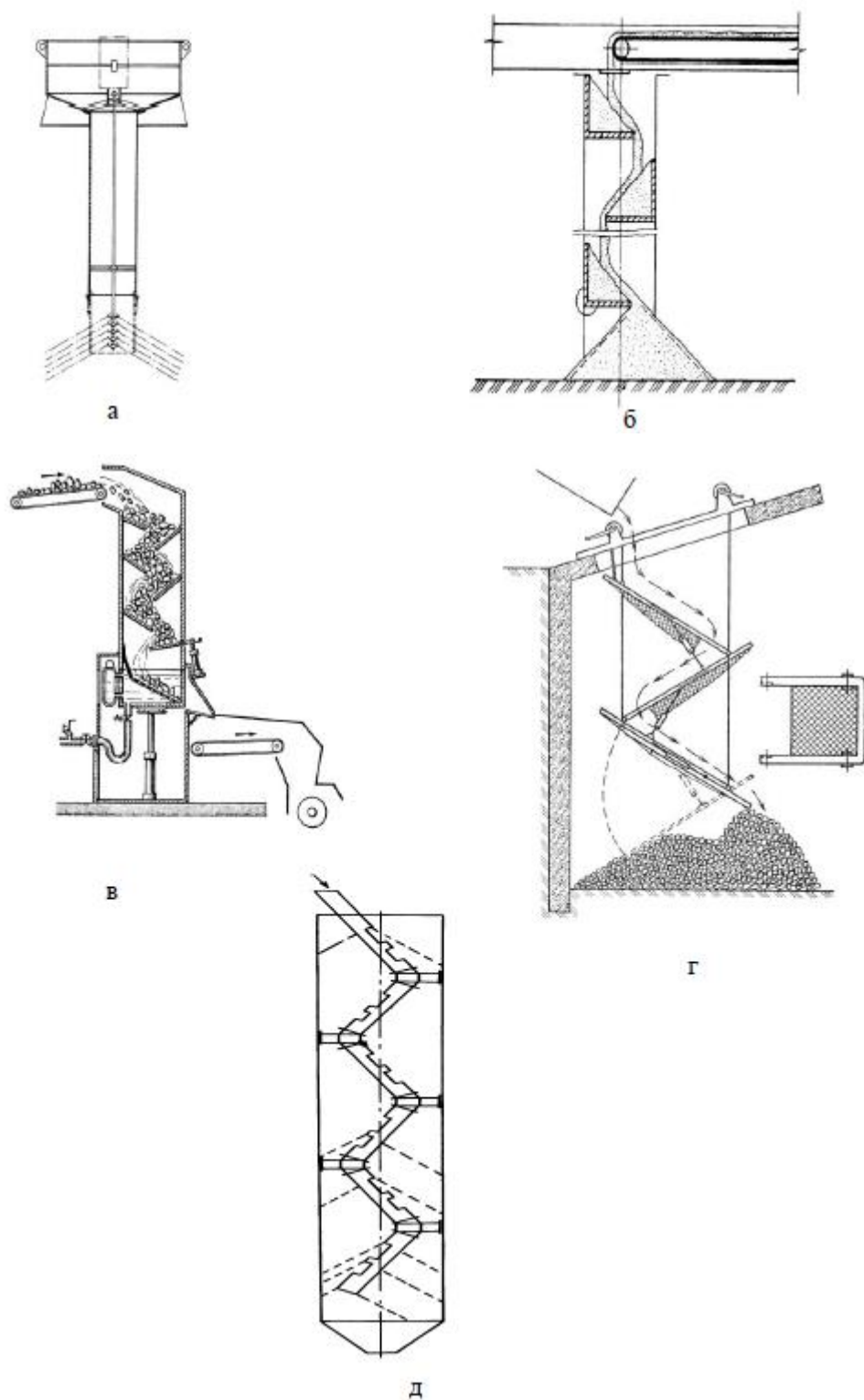


Рис. 1.7. Завантажувальні пристрої каскадного типу

Таким чином, завантажувальні пристрої, які забезпечують ефективне і якісне завантаження сипких матеріалів складні у виготовленні та експлуатації. Основна маса завантажувальних пристроїв запобігає одному фактору, але негативно впливає на інший.

Як говорилося раніше, сегрегація спостерігається у всіх процесах функціонування ємності. За дослідженнями вчених С. Ясмана і С. Кобеляк, щоб уникнути цього явища необхідно дотримуватися наступних рекомендацій: зберігати вантаж в циліндричних силосах, в яких вивантаження відбувається одним потоком. Якщо ж у ємності є кілька випускних воронки, то необхідно застосовувати змішуючі пристрої; не проектувати силосу з несимметричними випускними воронками; також не слід робити завантаження кількох ємностей з одного конвеєра, так як існує можливість розшарування вантажу на стрічці; недоцільно використовувати завантажувальні лотки з різними кутами тертя; бажано використовувати клиноподібні (каналні) днища і розподіляти вантаж рівномірно по всьому перерізу ємності за допомогою завантажувальних пристроїв.

Г.А. Рогінський, у свою чергу, стверджує, що сегрегація зменшується при використанні бункерів з асиметричними випускними отворами; при вивантаженні вантажу через кілька одночасно працюючих вивантажувальних отворів. В іншому їх думки сходяться. Таким чином, сегрегація є мало вивченим явищем. Для боротьби з цим негативним процесом застосовуються додаткові пристрої.

Розрізняють два типи пристроїв:

- пристрої, що забезпечують рівномірне завантаження сипучої маси в ємність і запобігають руйнуванню і розшаруванням частинок;
- пристрої, що служать для рівномірного вивантаження сипучої маси з ємності.

Останні встановлюються в центральній зоні ємності і виконані у вигляді конусів, дисків, плит, хрестовин та ін. Ці пристрої гальмують вивантаження

вантажу, тим самим сприяють рівномірному випуску і послаблюють явище сегрегації шляхом змішування частинок сипучого тіла при випуску.

Комбінованими засобами боротьби з сегрегацією є каскадні, спіральні і направляючі жолоби (рис. 1.8). Вони запобігають розшаруванню вантажу в процесі завантаження та забезпечують рівномірне вивантаження з ємності. Але це обладнання після завантаження ємності сипучим матеріалом не виймається. У цьому випадку воно є опорою для склепінь, у зв'язку з чим вивантаження матеріалу з ємності утруднене. Багато яких з розглянутих раніше завантажувальних пристроїв також не вилучаються з порожнини ємності, що негативно позначається на випуск матеріалу з бункерів і силосів, але їх потенціал не вичерпаний, що і є предметом досліджень.

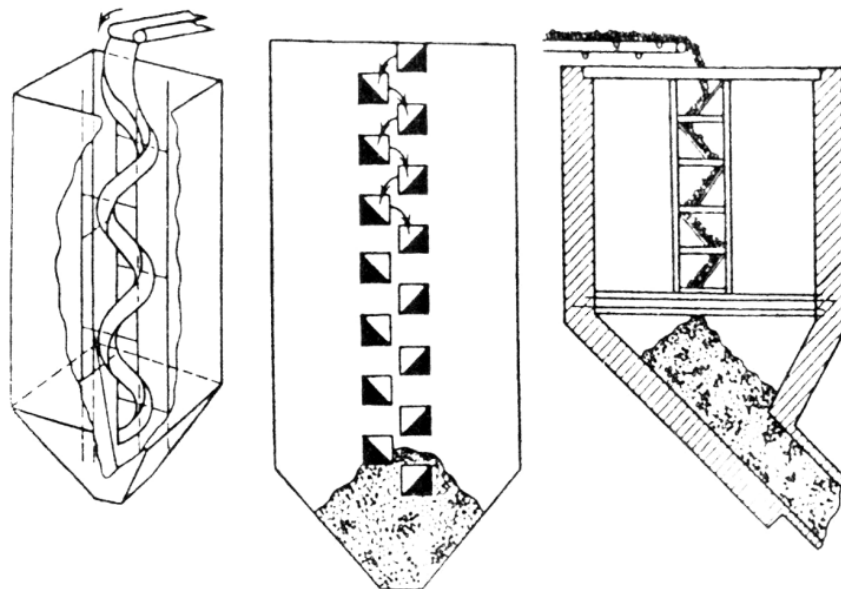


Рис. 1.8. Завантажувальні пристрої комбінованого типу

Висновки по розділу

Таким чином, усі перелічені вище конструкції мають ті чи інші недоліки в конструктивному виконанні, які роблять ці пристрої менш ефективними. З урахуванням перерахованих вище недоліків існуючих конструкцій, можна зробити такі висновки. Ефективне технологічне сховище повинно мати такі важливі якості:

- 1) Поступово розподіляти матеріал усередині сховища;
- 2) Мінімізувати ударні навантаження на поверхню нижчих шарів сипучої маси при завантаженні;
- 3) Звести до мінімуму утворення сегрегації у сипучому середовищі;
- 4) Поступово розподіляти тиск по всій висоті сховища;
- 5) Звести до мінімуму водоутворення в порожнині сховища;
- 6) Мати можливість регульованого випуску сипучої маси, що зберігається.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ЄМНОСТІ ДЛЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

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

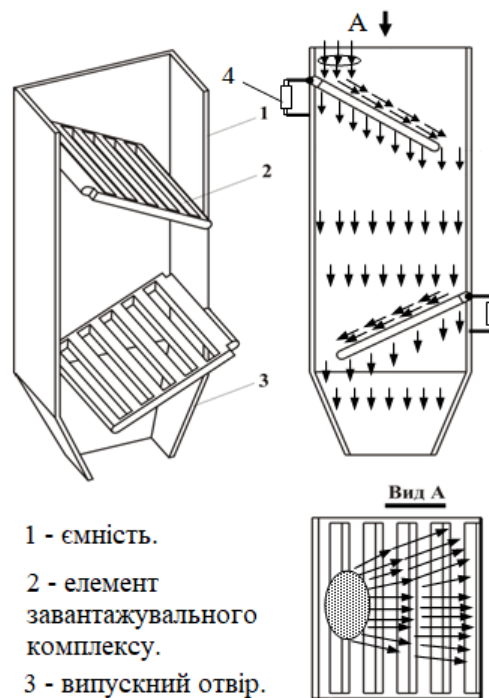


Рис. 2.1. Пристрій керування технологічним процесом завантаження, зберігання і вивантаження сипких матеріалів.

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

Функціонування бункера відбувається таким чином, решета встановлюються під заданим кутом до горизонтальної площини. Сипучий

матеріал (комбікорм, висівки тощо) надходить на початок 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, що розташоване на протилежній стінці бункера, і так далі до повного заповнення 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 перебуває в розуцільненому стані. У процесі випуску забезпечується зниження сегрегації до мінімуму.

Основною перевагою пропонованого бункера є те, що завантаження і 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 сипучий матеріал постійно переміщується, що призводить до відсутності сегрегації. Прогнозована схема функціонування пропонованого бункера в процесі завантаження, зберігання та вивантаження представлена на рис. 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 за горизонтальним перерізом. Сипучий матеріал може зберігатися в цьому бункері будь-який час. Решета під час зберігання не витягуються з бункера, отже, вони слугують 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 огорожена зверху і знизу решетом.

Матеріал на кожній ділянці перебуває в розушільненому стані, оскільки зверху розташоване решето, яке тримає вищерозміщений сипучий матеріал. Під час вивантаження сипучого матеріалу з бункера відкривається випускна заслінка, матеріал, що перебуває в зоні "а", буде вивантажуватися. Коли сипучий матеріал закінчиться із зони "а", то нижнє решето зони "б" досить опустити на 1° , щоб зруйнувати статичне склепіння тощо до повного спорожнення ємності.

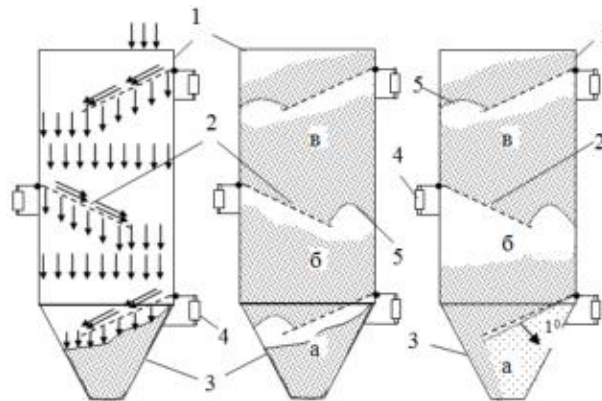


Рис. 2.2. Схема прогнозування процесу завантаження, зберігання та випуску

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

Складування сипучих вантажів у транспортно-складських комплексах пов'язане з багатьма труднощами, такими як сегрегація, зависання сипучого матеріалу, склоутворення, неповне використання об'єму ємності, змерзання матеріалу, пошкодження стінок ємності від механічних, температурних і хімічних впливів. Це пов'язано з недостатньою вивченістю властивостей сипучих матеріалів та особливості їх завантаження, зберігання та випуску, та нераціональне використання геометричних форм ємностей та випускних воронок. Усі ці недоліки впливають на функціонування транспортно-складських комплексів. Крім цього на функціонування сховищ впливають і навколишнє середовище.

У відомих працях розглядалися параметричні моделі бункерів у процесі їхнього функціонування. Завдяки їх дослідженням розглянемо параметричну модель бункера з керованим технологічним процесом завантаження, зберігання та розвантаження (рис. 2.3).

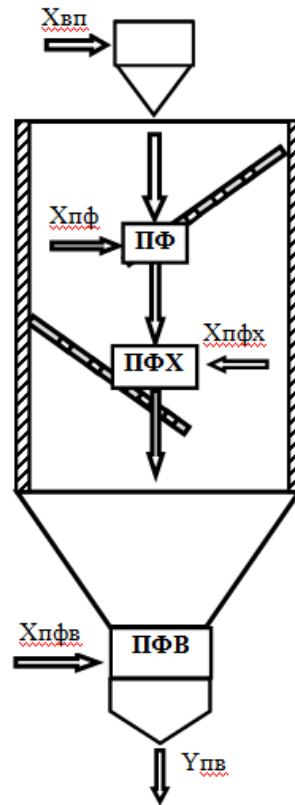


Рис. 2.3. Схема параметричної моделі

Розглянемо чинники впливу завантажувального пристрою на функціонування ємності. Процес функціонування бункера можна розбити на взаємопов'язані функціональні блоки: вхідний потік ($X_{вп}$), процес функціонування решета в запропонованій конструкції ($X_{пф}$), функціонування решета в процесі зберігання вантажу ($X_{пфх}$), параметри, що характеризують роботу решета в процесі випуску ($X_{пфв}$), умови впливу параметрів випуску результат роботи ємності ($Y_{пв}$).

Виходячи з перерахованих вище параметрів, процес функціонування запропонованого пристрою можна представити у вигляді виразу:

$$Z_{пф} = Z_{пф} \{X_{пв}, X_{пф}, X_{пфх}, X_{пфв}, Y_{пв}\} \quad (2.1)$$

Для оцінки стану процесу потрібен повний аналіз представлених елементів.

Фактор вхідного потоку, що характеризує умови, можна представити в наступному вигляді:

$$X_{вп} = X \{ X_{1вп}, X_{2вп}, X_{3вп}, X_{4вп}, X_{5вп}, X_{6вп}, X_{7вп}, X_{8вп} \}, \quad (2.2)$$

де $x_{1вп}$ – продуктивність пристрою, що подає, кг/с;

$x_{2вп}$ – площа перерізу потоку, м²;

$x_{3вп}$ – щільність потоку, кг/м³;

$x_{4вп}$ – висота падіння, м;

$x_{5вп}$ – вологість вантажу, %;

$x_{6вп}$ – вміст домішок;

$x_{7вп}$ – коефіцієнт парусності;

$x_{8вп}$ – фізико-механічні властивості вантажів;

Таким чином, розглянуті показники, що впливають на завантаження ємності з використанням решета, з яких видно, що при використанні цього пристрою параметри скоротилися щодо інших авторів.

У свою чергу на завантаження ємності також впливає і решето, яке характеризується параметрами міцності і геометричними, причому на останні надають фізико-механічні властивості сипучого матеріалу.

Фактор, що характеризує умови функціонування решета завантажувального пристрою, представлений таким виразом:

$$X_{пф} = X \{ X_{1пф}, X_{2пф}, X_{3пф}, X_{4пф}, X_{5пф}, X_{6пф}, X_{7пф}, X_{8пф}, X_{9пф} \}, \quad (2.3)$$

де $x_{1пф}$ – пропускна спроможність решета (що вище пропускна спроможність, то швидше відбувається завантаження), кг/с;

$x_{2пф}$ – кут установки решета (впливає на коефіцієнт сходу і проходу частинок вантажу, на сегрегацію), град.;

$x_{3пф}$ – форма отворів в решеті (впливає на характер переміщення матеріалу, тобто коефіцієнт сходу і проходу, якщо форма отворів кругла, то потрібно злегка струшувати решето, а якщо довгасте - струшування не потрібно), м;

$X_{4пф}$ – площа отворів у решеті (надає вплив на сход і прохід частинок вантажу), m^2 ;

$X_{5пф}$ – відстань між отворами в решеті, м;

$X_{6пф}$ – коефіцієнт розподілу вантажу по поперечному перерізу ємності (залежить від співвідношення площ вхідного потоку S_1 , поперечного перерізу ємності S_2 і решета S_3 , де повинна дотримуватися умова $S_1 = S_3$, а в свою чергу $S_3 \approx S_2$);

$X_{7пф}$ – відстань між решетами в пропонованому бункері (залежить від кута нахилу решета і безпосередньо впливає на рівномірний розподіл тиску всередині ємності та на коефіцієнт сегрегації), м;

$X_{8пф}$ – коефіцієнт пружності решета (впливає на відскок частинок та їх цілісність);

$X_{9пф}$ – коефіцієнт заповнення ємності (залежить від геометричних розмірів отворів у решеті);

Таким чином, було розглянуто всі показники, що впливають на завантаження ємності. У свою чергу, процес завантаження на пряму впливає на процес зберігання вантажу. Під час зберігання вантажу, в ємності виникають різні негативні явища, такі як свідоутворення, зависання, злежуваність вантажу.

Розглянемо фактор, що характеризує вплив параметрів функціонування решета в процесі зберігання:

$$X_{пфх} = X \{X_{1пфх}, X_{2пфх}, X_{3пфх}\}, \quad (2.4)$$

де $X_{1пфх}$ – кількість решіт (залежить від висоти ємності та впливає на розподіл тиску по висоті ємності, чим рівномірніше розподілиться тиск, тим вивантаження буде здійснюватися рівномірніше), шт.;

$X_{2пфх}$ – співвідношення горизонтального перерізу ємності і решета (повинна дотримуватися умова $S_2/2 \leq S_3 \leq S_2$, якщо цієї умови буде дотримуватися, то елемент завантажувального комплексу буде служити опорою для прогнозованої та керованої основи склепінь, завдяки якому можна буде контролювати процес випуску);

$X_{3пфх}$ – кут нахилу решета (впливає на коефіцієнт зсуву), град.;

На процес зберігання впливають також геометрична форма горизонтального перерізу ємності. Якщо форма перерізу прямокутна, то в кутах спостерігатиметься концентрація напружень, що веде до зависання матеріалу. Вібрація також негативно впливає на процес зберігання, матеріал ущільнюється і істікання не відбувається. Спосіб завантаження особливо впливає процес зберігання. Так тиск, що виникають у ємності на пряму, залежить від способу завантаження, чим рівномірніше розподілено тиск по висоті ємності, тим істікання буде рівномірніше. На процес зберігання особливий вплив має температурний режим. При зміні температури докільця фізико-механічні властивості також змінюються. Так, наприклад, при збільшенні температури м'ясо-кісткове борошно спікається і утворює монолітну масу. При зберіганні сипучого матеріалу виникає свідоутворення зі збільшенням горизонтального тиску. Статичні склепіння, що виникли під час зберігання, негативно впливають на випуск вантажу.

У свою чергу решето служить опорою для свідоутворення, але завдяки його рухливості можна регулювати випуск вантажу з ємності, достатньо опустити елемент завантажувального комплексу на 1° вантаж почне істікання.

Особливу увагу слід приділяти процесу випуску вантажу, оскільки істікання є одним із показників функціонування ємності.

Чинник, що характеризує функціонування решета в процесі випуску:

$$X_{пфв} = X \{ X_{1пфв}, X_{2пфв}, X_{3пфв}, X_{4пфв}, X_{5пфв}, X_{6пфв}, X_{7пфв}, X_{8пфв}, X_{9пфв}, X_{10пфв} \}, \quad (2.5)$$

де $X_{1пфв}$ – геометричні розміри ємності (існують основні форми ємностей: прямокутного, круглого та коритоподібного перерізу).

Ємності з круглим перерізом сприяють швидше випуску вантажу, ніж з прямокутним перерізом через відсутність внутрішніх двограних кутів. Якщо ємність з круглим і прямокутним перерізом призначена для різного виду вантажу, то ємність з коритоподібним перерізом призначена для сипких вантажів);

$X_{2\text{пфв}}$ – конфігурація вирви (впливає на сводоутворення та пропускну здатність);

$X_{3\text{пфв}}$ – кількість випускних отворів (зі збільшенням кількості випускних отворів, випуск вантажу буде рівномірним), шт;

$X_{4\text{пфв}}$ – місце розташування випускного отвору (якщо випускний отвір розташовується ближче до стінки ємності або на стінці ємності, то закінчення вантажу буде асиметричним, що небажано, а якщо по центру, вид закінчення залежатиме від кута нахилу стінок воронки);

$X_{5\text{пфв}}$ – кут нахилу стінки лійки (при куті нахилу лійки $\alpha = 45^\circ\text{-}55^\circ$ - нормальне закінчення, а якщо кут нахилу лійки $\alpha = 70^\circ\text{-}80^\circ$, то гідравлічне, краще гідравлічне закінчення);

$X_{6\text{пфв}}$ – співвідношення площ випускного отвору та ємності (чим ближче площа випускного отвору до площі ємності, тим матеріал краще вивантажуватиметься);

$X_{7\text{пфв}}$ – відстань від кромки решета до випускного отвору (чим ближче відстань, тим тиск на випускний отвір буде меншим, тому що решето в даний момент служить як переривник тиску, відповідно при відкритті випускного отвору істікання вантажу буде безперервним), м;

$X_{8\text{пфв}}$ – фізико-механічні властивості сипучого матеріалу (початковий опір зсуву вантажу, коефіцієнт внутрішнього тертя, кута обвалення, коефіцієнт ущільнення вантажу, коефіцієнт зовнішнього тертя, коефіцієнт неоднорідності фракційного складу вантажу, чим ці показники будуть меншими, тим вивантаження матеріалу буде стабільним і якість матеріалу збережеться);

$X_{9\text{пфв}}$ – матеріал, з якого виготовлена ємність (при зберіганні вологих вантажів утворюється корозія в металевій ємності, це веде до збільшення зовнішнього коефіцієнта тертя, що згодом може утруднити розвантаження ємності, залізобетонні ємності призначені для сухих та вологих вантажів, що робить їх універсальними);

$\alpha_{10\text{пфв}}$ – кут нахилу решета (впливає на швидкість вивантаження, що більше кут, то швидше вивантажується), град.

Розглянемо умови впливу параметрів випуску на результат роботи ємності:

$$Y_{\text{пв}} = Y\{ Y_{1\text{пв}}, Y_{2\text{пв}}, Y_{3\text{пв}} \}, \quad (2.5)$$

де $Y_{1\text{пв}}$ – продуктивність бункера, кг/с;

$Y_{2\text{пв}}$ – рівномірна подача до технологічної лінії;

$Y_{3\text{пв}}$ – коефіцієнт однорідності вантажу (тобто відсутність сегрегації).

Висновки по розділу.

Аналіз системи факторів, що впливають на процес функціонування завантажувального пристрою, виявив всі параметри, які впливають на його роботу.

РОЗДІЛ 3

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ПРИСТРОЮ

Досліджувана установка була виготовлена з дерев'яних елементів у вигляді прямокутної конструкції з висотою ємності 3000 мм. На рис. 3.1 наведено зовнішній вигляд конструкції експериментальної установки.

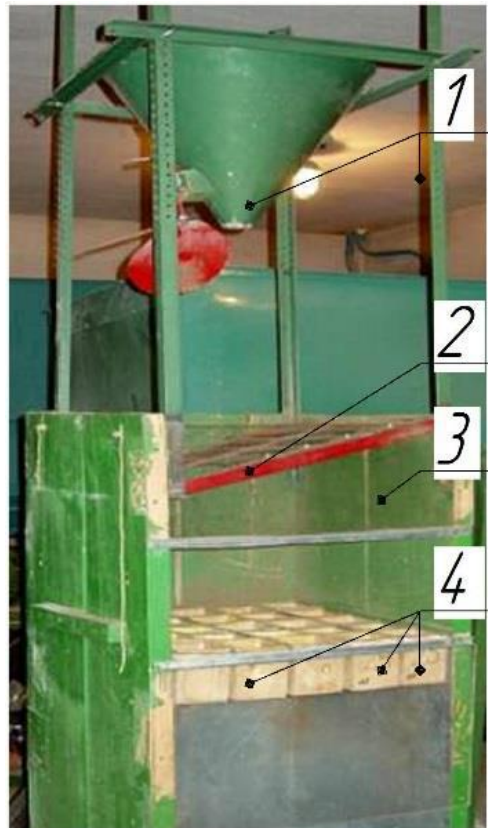


Рис. 3.1. Загальний вид лабораторної установки: 1 – завантажувальний бункер; 2 – розподільне решето; 3 – корпус; 4 – вимірювальні осередки

Внутрішні габарити бункера складають – 500×500 мм.

Решета мають такі розміри – 490×490 мм.

Інтервал між завантажувальним бункером і основним становить 1000 мм.

На рис. 3.2 показаний зовнішній вигляд решета всередині ємності, розташовані навпроти один одного.



Рис. 3.2. Вид на встановлення з двома решітками



Рис. 3.3. Вид на заповнення осередків

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. На рис. 3.3 представлений вид заповнення вимірювальних осередків, шляхом засипання сипучої маси через решета.

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

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

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

- висоту засипаного шару від 0 до 3 м;
- довжину решета l від 25см до 45см;
- відстань між ґратами h_p/V від 1 до 3;
- ширину щілини у решеті "а" від 5 мм до 2,5 см;
- кут нахилу решета " β " від 250 до 650.

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.

Тиск сипучого матеріалу в процесі зберігання, вимірювалося за допомогою вимірювального комплексу. Вимірювальний комплекс складається з вольтметра постійного струму, датчиків тиску і перетворювачів сигналу (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Вид на установку з датчиками та вимірювальним комплексом

Датчик побудований за двох резисторною схемою (збалансований міст), тензорезистори наклеєні з обох боків пружної пластини, одна частина якої жорстко закріплена на корпусі датчика, інша сприймає за допомогою майданчика певної площі.

Спільно із датчиками використовувався перетворювач сигналів типу ПА-1. Цей перетворювач переводить значення тиску в електричний сигнал постійного струму, який фіксується вольтметром (мультиметр М890G).

Технічні характеристики вимірювального комплексу для визначення тиску:

- джерело змінної напруги частотою 50 Гц, В - 24 ± 3 ;
- опір мостових тензорезисторних датчиків, Ом - 200;
- похибка вимірювання мультиметра в діапазоні 2 В при роздільній здатності 1 мВ, % - $\pm 0,8$;
- діапазон сприйманих тисків, кПа - 0 ... 350;
- основна наведена похибка перетворювача, % трохи більше – 1,5;
- номінальний вихідний сигнал перетворювача, - ± 1 .

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 вчених, були визначені фактори, що впливають на сегрегацію та рівномірність розподілу матеріалу по горизонтальному перерізу ємності (відстань між решетами, ширина зазору в решеті, кут нахилу решета, довжина решета).

Скористаємося теорією багатofакторного експерименту для отримання загальної математичної залежності узагальненого критерію оцінки якості завантаження. Найменування та рівні варіювання факторів, що вивчаються, наведені в таблиці 3.1.

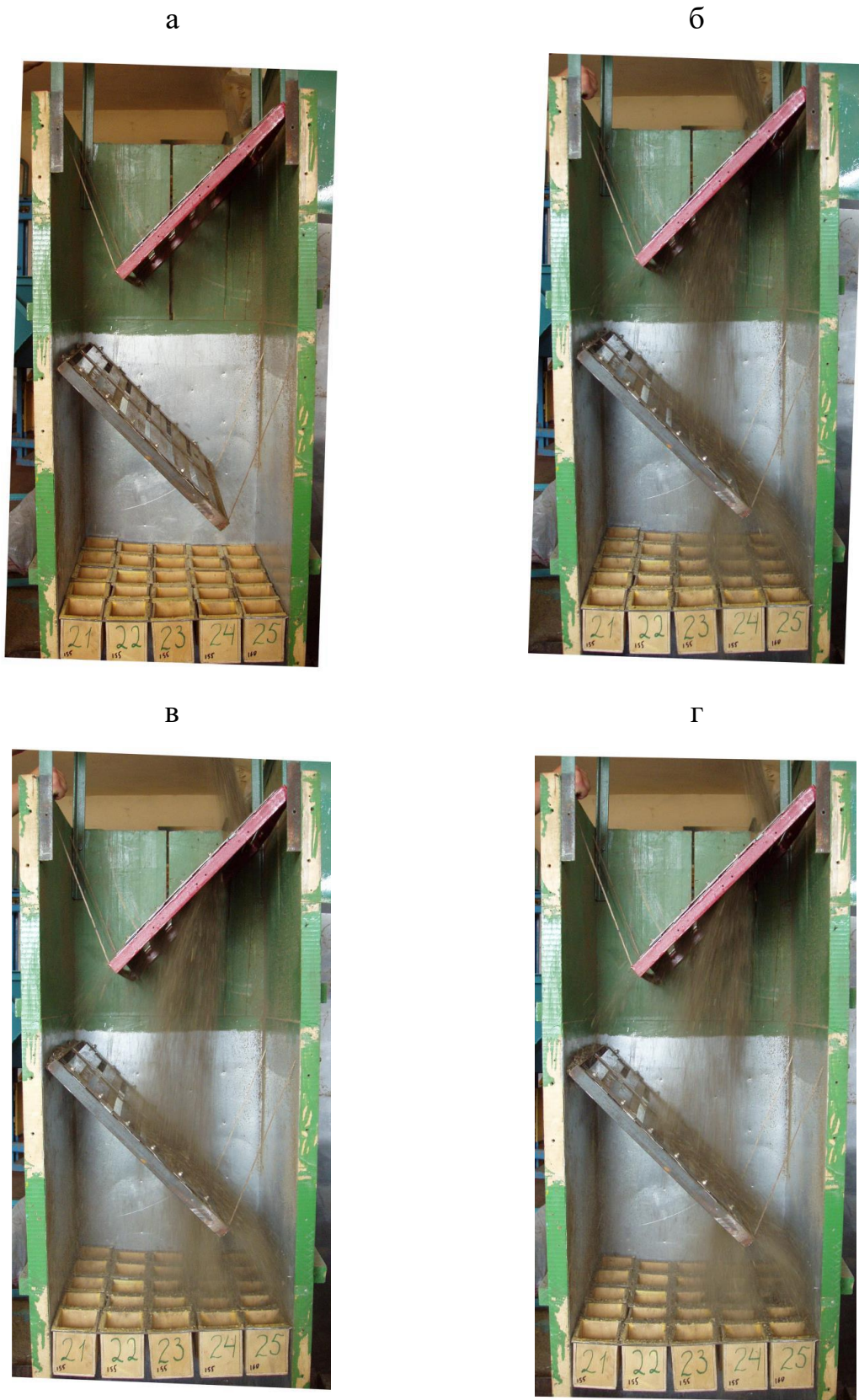


Рис 3.6. Вид на завантаження щота в установці

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

Таблиця 3.1 - Фактори, що впливають на завантажувальний процес

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

Примітка: h_p/B – відносний крок установки решет, h_p – відстань між решетами, м; B – ширина бункера, м.

Експеримент проводився у такому порядку. На експериментальній установці встановлювали задані параметри згідно з планом дослідження. 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. Повторюваність 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 за такою формулою:

$$E = K_p \left(\frac{q_{pi} - q_{po}}{q_{po}} \right)^2 + K_c \left(\frac{q_{ci} - q_{co}}{q_{co}} \right)^2 \quad (3.7)$$

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

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

k_p, k_c – коефіцієнти значущості (0,3 та 0,7 відповідно).

Як було розглянуто раніше, найбільш якісні та кількісні показники (зниження сегрегації) спостерігається при гідравлічному (масовому, симетричному) протіканні сипучого матеріалу. У процесі визначення характеру протікання з бункера з керованим технологічним процесом завантаження, зберігання та вивантаження, (рис. 3.7), виявилось, що характер протікання на даній лабораторній установці відповідає схемою, зображеною на рис. 2.3 а. Цей вид є нормальним. При нормальному вигляді матеріал спливає центральним потоком, спочатку рухається вертикальний стовп сипучого матеріалу, розташований над вивантаженим отвором і на поверхні сипучого середовища утворюється лійка (рис. 3.7 а, б, в, г). Потім по схилах воронки, що утворилася, скочуються бічні шари до повного спорожнення ємності (рисунок 3.7 д, е, ж, з). Таким чином у лабораторній установці спостерігається нормальний вид протікання, що призводить до негативних наслідків, одним з яких є сегрегація сипучого матеріалу в процесі вивантаження. У зв'язку з цим перевірка сегрегації проводилася за відомими методиками, бралися проби на початку випуску, у середині та наприкінці вивантаження сипучого матеріалу (рис. 3.8).

Кут і висота установки решета над випускним отвором встановлювалися згідно з раніше проведеними дослідженнями, тобто. $\beta = 45^\circ$ і $h_v/V = 2,4$. Червоною лінією позначався гранулометричний склад вихідного продукту. Як видно з рис 3.8, гранулометричний склад кожного матеріалу змінюється незначно.

Для перевірки якості функціонування лабораторної установки досліди здійснювали на комбікормі К-57.

Динаміка кількісної зміни солі на різних етапах випуску показала, що похибка становить 0,05%, що відповідає ДСТУ (рис. 3.9).

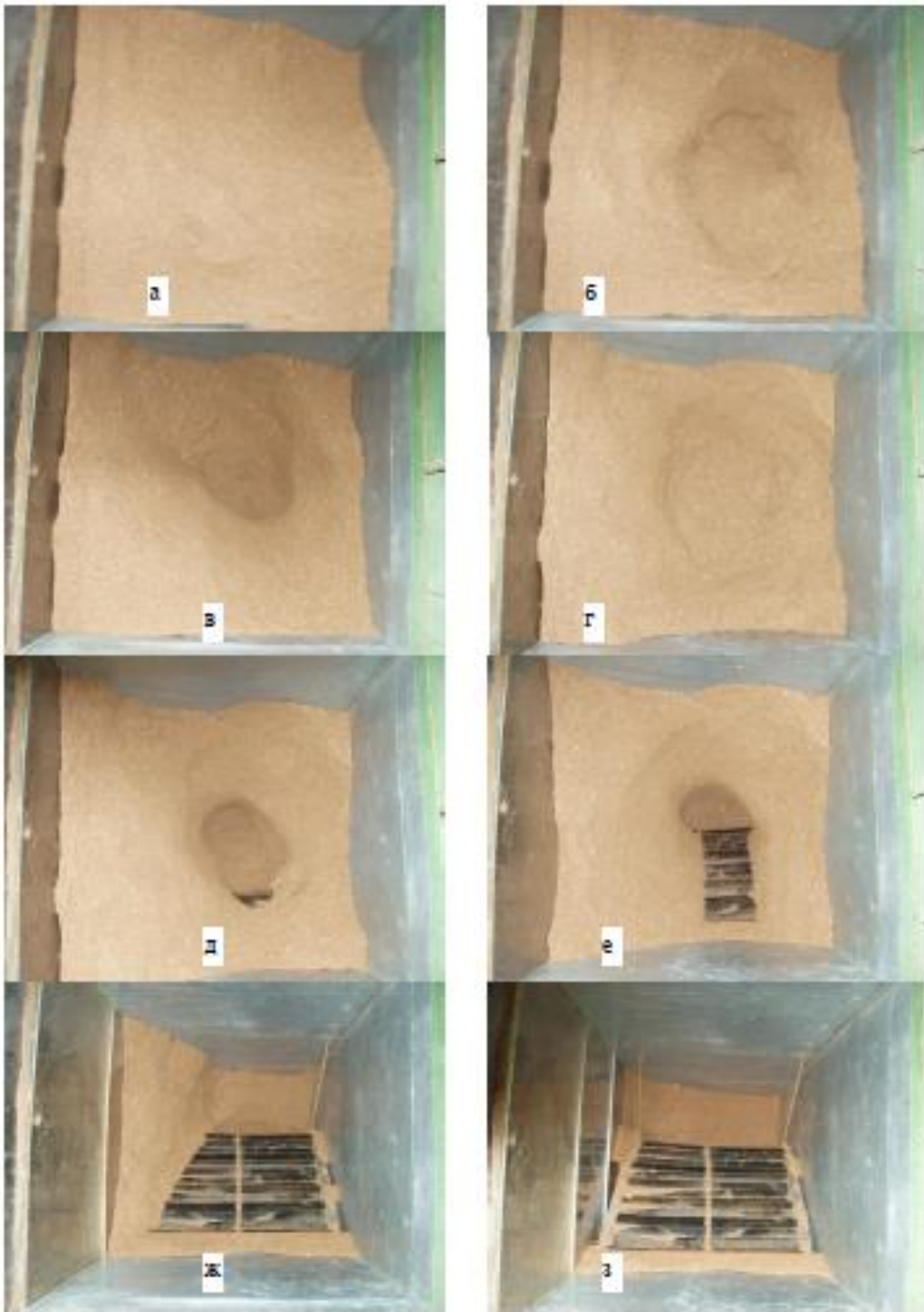


Рис. 3.7. Етапи вивантаження висівок

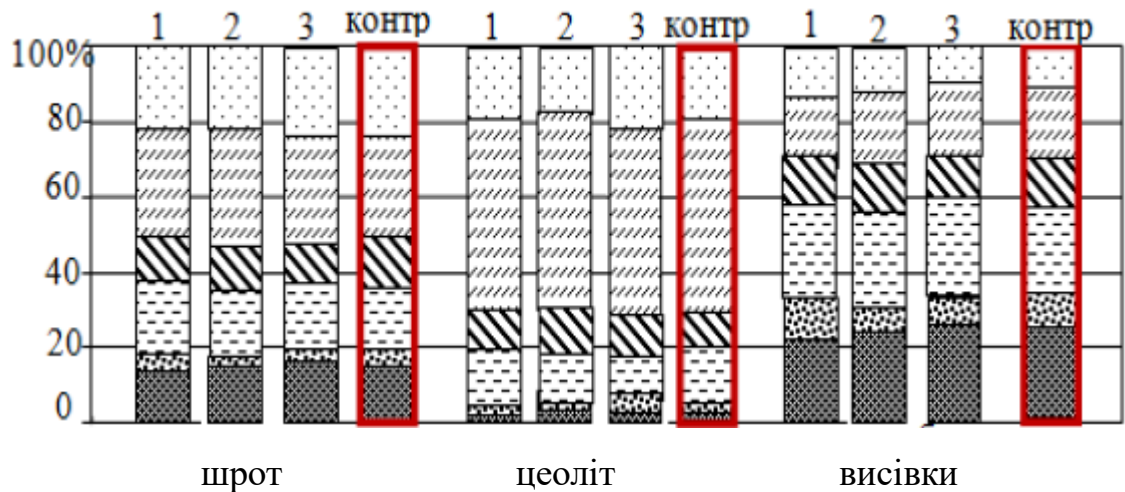


Рис. 3.8. Структура кількісної зміни фракцій матеріалів на різних етапах випуску:

1 – на початку випуску, 2 – у середині, 3 – в кінці; — контроль

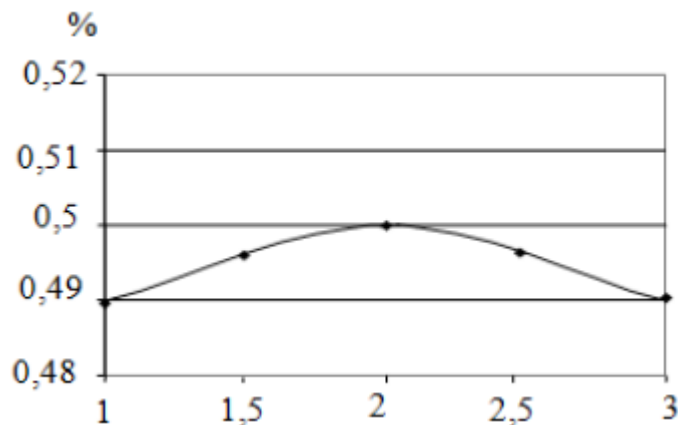


Рис. 3.9. Відносна похибка

Виробничі дослідження дослідного бункера з керованим завантаженням, зберіганням та вивантаженням з решетом допомагають виявити його можливі недоліки в конструкції, а також оцінити вплив використання цього обладнання на якість виробництва кормів порівняно з аналогами.

Таким чином, метою виробничих досліджень бункера з керованим завантаженням, зберіганням та вивантаженням з решетом є підтвердження отриманих теоретичних результатів та досліджень у лабораторних умовах, а

також виявлення впливу процесів завантаження, зберігання та вивантаження на якість кормів, що випускаються.

Для досягнення поставленої мети розроблено план виробничих досліджень бункера з керованим завантаженням, зберіганням та вивантаженням на території Житомирської області, представлений у таблиці 3.2.

№ п/п	Найменування робіт
1	Виготовлення бункера з керованим завантаженням, зберіганням та вивантаженням за результатами теоретичних та експериментальних досліджень
2	Вибір виробничого підприємства для проведення досліджень, коригування технічних параметрів бункера з керованим завантаженням, зберіганням та вивантаженням під конкретні умови
3	Вибір режиму роботи бункера
4	Відбір проб у процесі завантаження, зберігання та вивантаження
5	Аналіз та порівняння результатів теоретичних, лабораторних та виробничих досліджень
6	Визначення якості приготовлених кормів на лінії оснащених дослідним бункером з керованим завантаженням, зберіганням та вивантаженням та на контрольній лінії

Перший пункт плану виробничих досліджень передбачає виготовлення виробничого зразка бункера з керованим завантаженням, зберіганням та вивантаженням.

Його параметри обґрунтовані раніше проведеними теоретичними та експериментальними дослідженнями.

У процесі дослідження бункера з керованим завантаженням, зберіганням та вивантаженням насамперед контролювали якість виконання процесів завантаження, зберігання та вивантаження, визначали надійність та безвідмовність конструкції при роботі.

Виявлені слабкі місця конструкції оперативно доопрацьовані. Також визначали якість приготованих кормів ПК-57-1-89 на лінії оснащених дослідним бункером з керованим завантаженням, зберіганням та вивантаженням та на контрольній лінії.

Використовуючи отримані дані у процесі цього дослідження, уточнювалися показники на різних режимах роботи, створювали інструкцію по роботі бункера з керованим завантаженням, зберіганням та вивантаженням. Усі дослідження у виробничих умовах проводилися на компонентах комбікорму – висівки.

Фінальний етап дослідження присвячений обґрунтуванню техніко-економічної ефективності від використання пропонованого бункера з керованим завантаженням, зберіганням і вивантаженням.

Варіанти застосування виробничого зразка пристрою керування технологічним процесом функціонуванням ємності.

На представленій вище схемі виробництва комбікормів, в якому використовується різне обладнання, як у приготуванні комбікорму, так і його навантаженні в мобільні ємності. У процесі приготування комбікормів проводиться зважування, змішування різних компонентів, дозування, але обладнання не забезпечує оптимального змішування, так як у багатьох процесах відбувається розшарування сипучого матеріалу за густиною, масою, формою частинок і т.п.

На комбікормових підприємствах для виготовлення комбікорму застосовують різні технологічні схеми:

- всі інгредієнти готуються одночасно чи послідовно, дозування відбувається один раз (дана схема вважається класичною);
- спочатку готують різні суміші (білково-мінеральні, зернові), а потім дозують двічі;
- спочатку готують різні суміші (білково-мінеральні, зернові), а потім виробляють дозування;
- прямоточний.

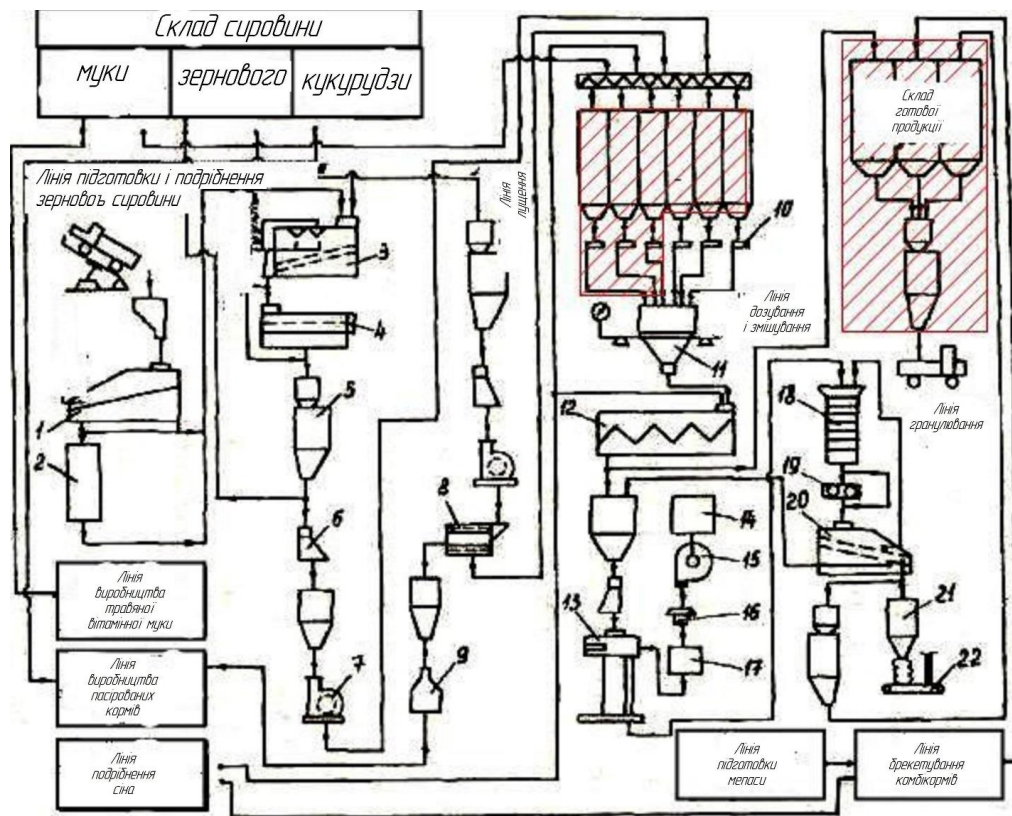


Рис. 3.10. Технологічна схема виробництва комбікормів за умов господарств: 1 – ворохоочисник; 2 – сушарка; 3 – сепаратор; 4 – трієр; 5 – дозатор; 6 – електромагнітний сепаратор; 7, 9 – дробарка; 8, 20 – машина, що просіває; 10 – шнек-живильник; 11 – багатокомпонентні ваги; 12 – змішувач; 13 – гранулятор; 14 – сховище гідролу; 15 – насос; 16 – фільтр; 17 – бак; 18 – охолоджувальна колона; 19 – подрібнювач; 21 – ваговибійний апарат; 22 – мішкозашивальна машина

Роздільне приготування компонентів до дозування у класичній схемі наведено на рис. 3.11. У цій схемі застосовується велика кількість наддозаторних бункерів, щоб забезпечити запас інгредієнтів на 8-36 годин приготування комбікормів. Також комунікації та підготовчі лінії для різних операцій займають велику площу.

На схемі позначено місце, де можна використовувати розроблене обладнання. Використання даної технології потребує автоматизованого обладнання та процес приготування комбікорму займає значний час.

На рис. 3.12 а, б показані схеми з заздальгідь приготуванням сумішей з повторним дозуванням і без нього. У цій схемі також немає пристроїв та обладнання, яке забезпечить відсутність розшарування інгредієнтів комбікорму.

Прямоточні технологічні лінії, як правило, вимагають розміщення у високих приміщеннях. У схемі позначені місця застосування бункера з керованим завантаженням, зберіганням та вивантаженням.

В даний час на комбікормових підприємствах при приготуванні комбікормів частіше застосовують останню схему (рис. 3.13). При прямоточному способі приготування енергоємність процесу мінімальна порівняно з іншими способами, а також спосіб простий в управлінні.

Таким чином, визначено місце застосування пропонованого бункера з керованим завантаженням, зберіганням та вивантаженням для сипких матеріалів.

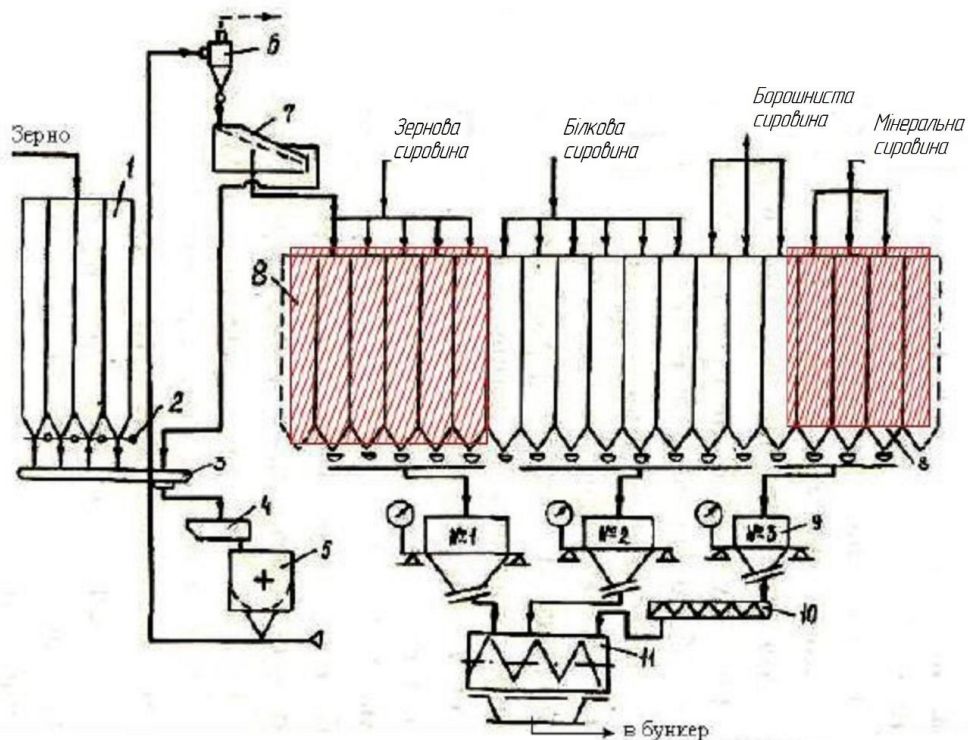


Рис. 3.11. Класична технологічна схема виробництва комбікормів:

1 – силоси зернової сировини; 2 – засувка; 3 – конвеєр; 4 – магнітний сепаратор; 5 – молоткова дробарка; 6 – циклон-розвантажувач; 7 – машина, що просіває; 8 – наддозаторні бункери; 9 – багатоконпонентний ваговий дозатор; 10 – шнек; 11 – порційний змішувач.

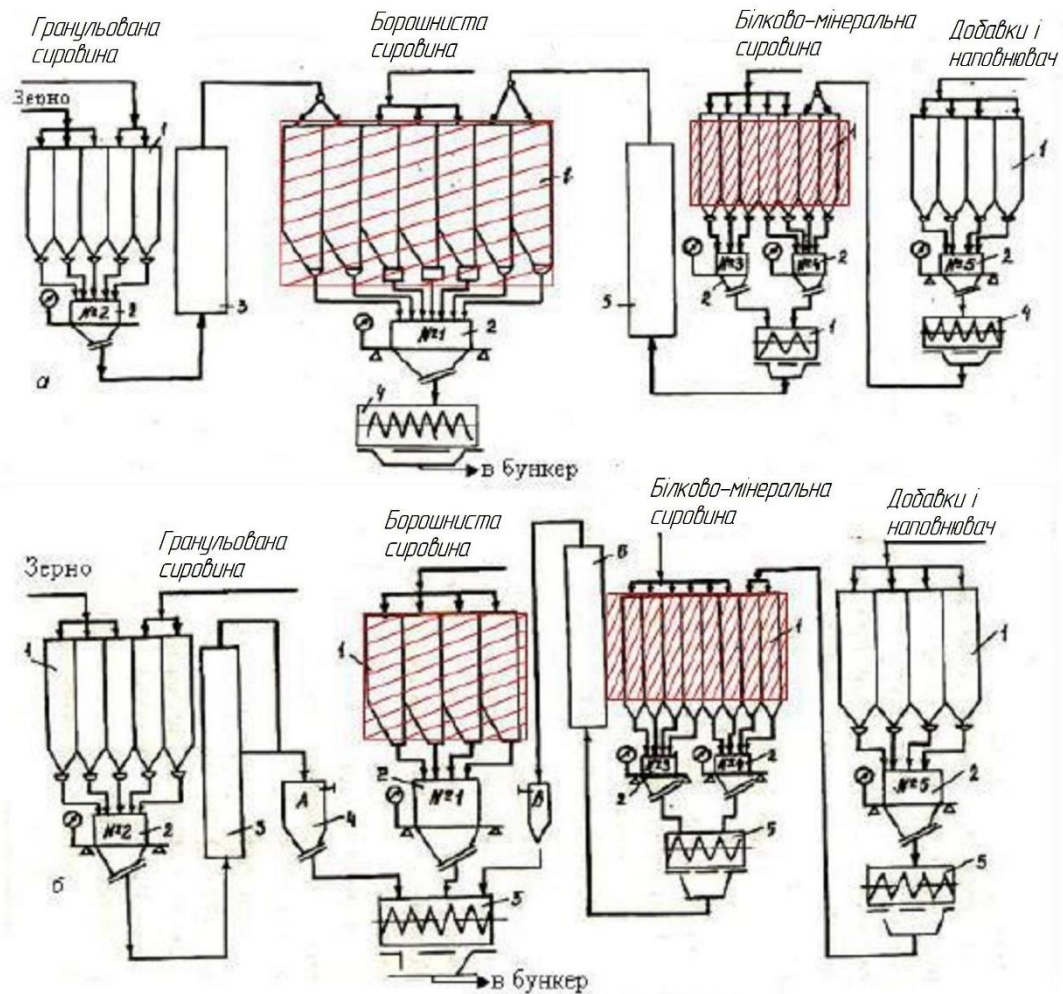


Рис. 3.12. Технологічна схема виробництва комбікормів: а – з формуванням попередніх сумішей: 1 – наддозаторні бункери; 2 – багатокомпонентний ваговий дозатор; 3 – обробка попередньої суміші; 4 – порційний змішувач; 5 – обробка попередньої суміші білково-мінеральної сировини; б – з одноразовим дозуванням попередніх сумішей: 1 – наддозаторні бункери; 2 – багатокомпонентний ваговий дозатор; 3 – обробка попередньої суміші зернової та гранульованої сировини; 4 – бункер попередньої суміші (А – зернової та гранульованої сировини; В – білково-мінеральної); 5 – порційний змішувач; 6 – обробка попередньої суміші білково-мінеральної сировини.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

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.

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

Розроблена параметрична модель бункера дозволяє визначити основні параметри, що впливають весь процес функціонування ємності та оцінити їх значимість на етапах завантаження, зберігання та вивантаження.

Інженерні випробовування показали, що бункер з керованим технологічним процесом завантаження, зберігання і вивантаження забезпечує необхідну високу пропускну здатність у широкому діапазоні зміни фізико-механічних властивостей сипучих матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горшкова Л. М. Основи сільського господарства: навч. посіб. для студ. вищ. пед. навч. закл. / Міністерство освіти і науки України, Глухівський держ. пед. ун-т. Глухів: РВВ ГДПУ, 2005. 136 с.
2. Виробництво продукції тваринництва за видами. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/sg/vpt/arh_vpt2019_u.html. (дата звернення: 08.02.2021).
3. Щодо перспектив відновлення тваринницької галузі в Україні URL: <http://old2.niss.gov.ua/content/articles/files/tvarynnnytvo-3a8bd.pdf> (дата звернення: 23.03.2020).
4. Подпратов Г. І. Зберігання і переробка продукції рослинництва. Київ: Мета, 2002. 495 с.
5. ДСТУ 7693:2015. Комбікормова сировина. Загальні технічні умови. [Чинний від 2016-08-01]. Київ.: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2016.
6. Аграрний тиждень. Україна. Ціле зерно в годівлі птиці – це раціонально URL: <https://a7d.com.ua/tvarinnictvo/breeding/13845-cle-zerno-vgodvl-ptic-ce-racionalno.html> (дата звернення: 23.03.2020).
7. Ревенко І. І. Машина та обладнання для тваринництва: посібникпрактикум. К. : Кондор, 2011. 396 с.
8. Ревенко І. І. Машина та обладнання для тваринництва: електрон. підруч. Київ : Кондор, 2019. URL: <http://rodak.if.ua/mot/index.htm> (дата звернення: 09.02.2021).
9. Бізнес-каталог підприємств України. URL: <https://www.uaeregion.com.ua/kved/Ind.15.7> (дата звернення: 25.03.2020).
10. Вітчизняне обладнання для приготування комбікормів. Державна дослідна станція птахівництва НААН URL: <http://avianua.com/ua/>

index.php/statty_po_pticevodstvu/tekhnolohiia-ptakhivnytstva/25-obladnannya_dlya_prigotuvannya_ormiv (зата звернення: 23.03.2020).

11. Царенко О. М. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник за ред. С. С. Яцуна. Київ: Мета, 2003. 448 с.

12. Піщелка В. А. Стан та перспективи розвитку комбикормової галузі в Україні. Ефективні корми та годівля. 2006. № 3. С. 5–8.

13. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: навч. посіб. О. В. Дацишин та ін.; за ред. О. В. Дацишина. Вінниця: Нова кн., 2009. 488 с.

14. Ревенко І. І. Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машини та обладнання для тваринництва: підручник. Київ: Кондор, 2012. 731 с.

15. Гвоздєв О. В, Шпиганович Т. О., Ялпачик О. В. Вдосконалення процесу подрібнення зерна. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія «Технічні науки». 2011. № 9. С. 143–150.

16. **Усенко Б.М.** Технологічний процес функціонування сховищ для сипучих матеріалів. Збірник тез ІХ-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». м. Житомир, 5 квітня 2023 року. Житомир : ЖАТФК. С. 265-267.

17. Боровський В.М. **Усенко Б.М.** Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми ємності для сипких матеріалів. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики.* 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 126-129.