

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему:

**“ Вплив параметрів обладнання на робочий процес
витікання сипких матеріалів з бункерів ”**

Виконав: студент VI курсу, групи Маш-61

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Назарій ПЕТРИКОВИЧ
(Ім'я та прізвище)

Керівник: к.т.н. доцент Петро КОРУНЯК
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.
“12” вересня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Петриковичу Назарію Юрійовичу

1. Тема роботи: “ **Вплив параметрів обладнання на робочий процес витікання сипких матеріалів з бункерів** ”

Керівник роботи: Коруняк Петро Степанович, к.т.н., доцент

Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 02.12.2024 року

3. Вихідні дані: Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів виробництва та розрахунків технологічного обладнання; Матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; Методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Стан питання, літературний пошук;

2. Теоретичні передумови роботи машини для подрібнення деревини;

3. Експериментальні дослідження роботи машини для подрібнення деревини;

4. Охорона праці та захист населення;

5. Ефективність прийнятих рішень;

Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: огляд відомих конструкцій машин для подрібнення

матеріалу; принципові схеми машин для подрібнення деревини; машина для подрібнення деревини RM-51; схема експериментальної установки для дослідження впливу технологічних та конструктивних параметрів машини для подрібнення деревини на основні показники роботи; графік залежності необхідної потужності, яка затрачається на подрібнення деревини та пропускної здатності; графік залежності швидкості подачі деревини в камеру подрібнення; залежність продуктивності від співвідношення радіуса ножового диска і частоти обертання; залежність продуктивності від співвідношення частоти обертання ножового диска і його радіуса; економічні показники запропонованого технічного рішення.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5	Коруняк П.С. к.т.н., доц. кафедри машинобудування			
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Виконання розділу: «Стан питання, літературний пошук»</i>	<i>12.09.24- 29.09.24</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Теоретичні передумови роботи машини для подрібнення деревини»</i>	<i>30.09.24- 14.10.24</i>	
3.	<i>Виконання розділу: «Експериментальні дослідження роботи машини для подрібнення деревини»</i>	<i>15.10.24- 29.10.24</i>	
4.	<i>Виконання розділу: «Охорона праці та захист населення»</i>	<i>30.10.24- 12.11.24</i>	
5.	<i>Виконання розділу: «Ефективність прийнятих рішень»</i>	<i>13.11.24- 25.11.24</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	<i>26.11.24- 02.12.24</i>	

Студент _____ Назарій ПЕТРИКОВИЧ
(підпис)

Керівник роботи _____ Петро КОРУНЯК
(підпис)

Вплив параметрів обладнання на робочий процес витікання сипких матеріалів з бункерів

Петриковичу Н. Ю. Кваліфікаційна робота. – Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2024р

96 с. текст. част., 41 рис., 8 табл., 50 джерел.

У даній магістерській роботі проаналізовано літературні джерела та здійснено огляд існуючих машин для зберігання сипких матеріалів, а також засобів, що застосовуються для зрушування їх. Розглянуті конструкції бункерів та зрушувачів, які використовують на виробництві. Наведено опис конструкції і принцип роботи розробленої схеми зрушувача.

Проведені дослідження із встановлення залежності кута природного відкосу матеріалу залежно від частоти обертання приводу зрушувача.

В розділі охорони праці проаналізовано аварійні та травматичні ситуації, які можуть виникнути під час роботи з бункерами і зрушувачами, розроблено «дерево» відмов роботи бункера і зрушувача. Проведені розрахунки ймовірності виникнення основної події від базових. Розглянуто заходи щодо захисту населення в надзвичайних ситуаціях.

В економічній частині даної роботи було проведено оцінку конструкторської розробки зрушувача вібробункера щодо витрати на модернізацію, прибуток від модернізації, трудомісткість процесу під час застосування зрушувача і термін окупності вкладень на модернізацію.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД БУНКЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ

В різних галузях промисловості та агропромислового комплексу під час механізації і автоматизації виробничих процесів використовують обладнання яке призначене для зберігання і накопичення сипких матеріалів. До таких пристроїв відносяться бункери та силоси, які оснащені допоміжними засобами для ефективного їх функціонування.

Зберігання і безтаре перевезення сипких вантажів у цьому обладнанні значно знижує вартість розвантажувально-навантажувальних операцій, витрати на зберігання, тарпакування, зменшує виробничі площі тощо. Завдяки їм уможлиблюється рівень автоматизації виробництва, підвищення рівня використання технологічного обладнання та його продуктивності.

Ефективність і надійність роботи бункерних пристроїв залежить від параметрів і режиму експлуатації, конструктивних параметрів та фізико-механічних властивостей сипких матеріалів.

До складу бункерного обладнання можуть входити затвори, прискорювачі витікання, розвантажувально-навантажувальні механізми, живильники, засоби контролю і управління.

1.1 Властивості та класифікація насипних вантажів

Поведінка сипкого вантажу під час зберігання, завантаження, пакування залежить від його властивостей. Вони у свою чергу визначають форму, конструктивні параметри ємностей та матеріали з якого вони виготовляються. Так, реалізація стабільного процесу витікання вантажу залежить від явищ, які можуть бути у середині бункера (силосу). Крім того, на самоплинне витікання сипкого матеріалу з отвору бункера впливають його параметри, технологічні методи завантаження-розвантаження, властивості суміші.

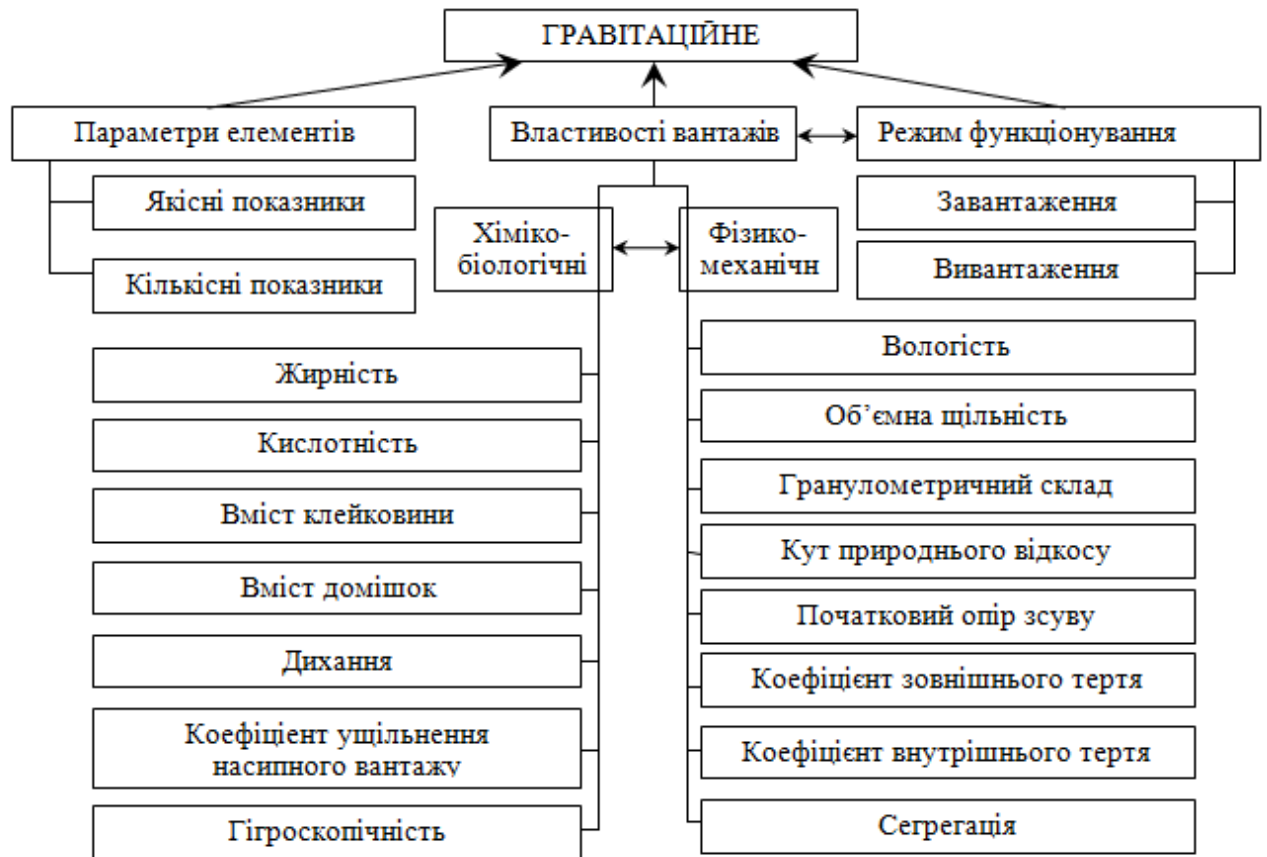


Рис. 1.1. Класифікація чинників, що впливають на гравітаційне вивантаження сипкого вантажу з місткостей

В процесі витікання можливе утворення склепінь, які негативно впливають на рухомість матеріалу. Основними чинниками утворення склепінь є вологість та щільність вивантажувального матеріалу.

Вологість це відношення у відсотках кількості води, яка випарувалася, до маси даного матеріалу. Між злежуванням, змерзанням, корозією, ущільненням, теплостійкістю і вологістю є пряма залежність. Більше того, вологість є причиною утворення адгезії, тобто прилипання під час доторкання двох різних частинок (тіл). Це можна спостерігати під час розвантаження, наприклад борошна або цементу, з бункера. При цьому можливе прилипання вантажу до стінок конструкції бункера.

Гранулометричний склад характеризує сипкий матеріал розподілом його частинок за величиною. Величина її визначається найбільшим лінійним розміром.

Гранулометричний склад проводиться шляхом просіюванням зваженої проби через калібровані отвори набору сит. В результаті цього взята проба розподіляється на окремо взяті фракції (рис. 1.2) і за залишковою фракцією ситі визначають процент матеріалу у взятій пробі.

Насипна щільність визначається кількістю насипного матеріалу до об'єму, який він займає. Як правило, насипна щільність різних матеріалів залежить від гранулометричного складу і є неоднорідною. На рис. 1.3 показано вимірювання насипної щільності дрібно фракційного матеріалу за допомогою пурки.

Насипна щільність визначається за формулою

$$\gamma = \frac{G_0 - G_1}{V_1} \quad (1.1)$$

де G_0 - маса посудини з насипним вантажем в кг;

G_1 - власна маса посудини в кг;

V_1 - об'єм посудини в m^3 .

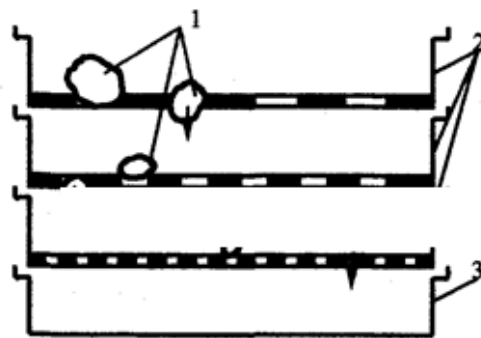


Рис. 1.2. Схема пристрою для визначення гранулометричного складу: 1 – матеріал, який просіюється; 2 – набір сит з різним діаметром отворів; 3 – піддон для мілкої фракції

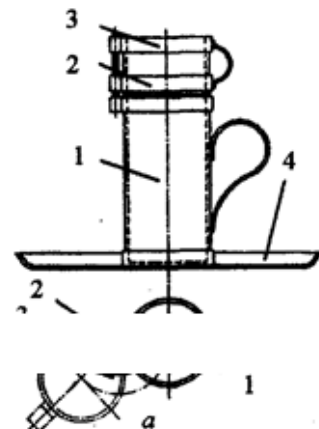


Рис. 1.3. Схема пурки для визначення насипної щільності сипких вантажів

Коефіцієнт ущільнення сипкого матеріалу це відношення однієї його кількості до і після ущільнення. Під час ущільнення домінуючим фактором є вібрація і динамічне навантаження, яке може коливатися у широкому діапазоні. В результаті цього відбувається структурне переформовування

матеріалу. Повітря витісняється з пор, вони зменшуються, щільність між частками зростає, збільшуються молекулярні сили.

За результати досліджень встановлено, що із зростанням внутрішнього тертя збільшується коефіцієнт ущільнення k_y

$$k_y = 1 + 0,2 f_{вн}. \quad (1.2)$$

Крім зазначених властивостей, робота бункерного обладнання залежить від корозійності, крихкості, абразивності, гігроскопічності тощо. Всі ці та інші чинники повинні бути враховані у проектуванні бункерного обладнання.

Класифікація насипних вантажів проводиться за гранулометричним складом, сипкістю, об'ємній масі і вологістю. Ще їх розділяють на сортові і рядові. У перших співвідношення розмірів його частинок становить менше у 2,5 рази і менше, у других – більше за цю кратність.

Насипні вантажі ще діляться на такі групи: шматкові – дуже крупношматкові, крупношматкові, середньошматкові, дрібно шматкові; зернисті – крупнозернисті, дрібнозернисті та порошкоподібні і порохоподібні. Останні групи відносяться до дрібнофракційних.

Крім того, насипні вантажі за об'ємною масою поділяться на легкі, середні, важкі і дуже важкі, а за сипкістю вони – на добресипкі і поганосипкі. Якщо перші у вертикальній площині укис не утворюють, то зв'язні, тобто поганосипкі, за рахунок внутрішніх зв'язків в середині матеріалу створюють укис. Прикладом добресипких вантажів є сухий пісок, а зв'язних - волога глина.

Крім того, за кількістю вологості їх поділяють на вологі, природньо вологі (це так звані повітряносухі) та сухі.

1.2. Стан насипних вантажів під час роботи бункерів

Довготривале зберігання насипних вантажів у бункерах негативно впливають на рухливість їх часток. Такий стан вантажу називається злежуванням. До них можна віднести порошкоподібні матеріали, вапно, глина, цемент, сніг тощо.

З підвищенням вологості ця небезпека з подібним вантажем. Це стосується, наприклад, кам'яної солі, цукрового піску, цементу. Для таких

матеріалів необхідне зусилля зрушення становить у 4-7 разів більшим від початкового опору.

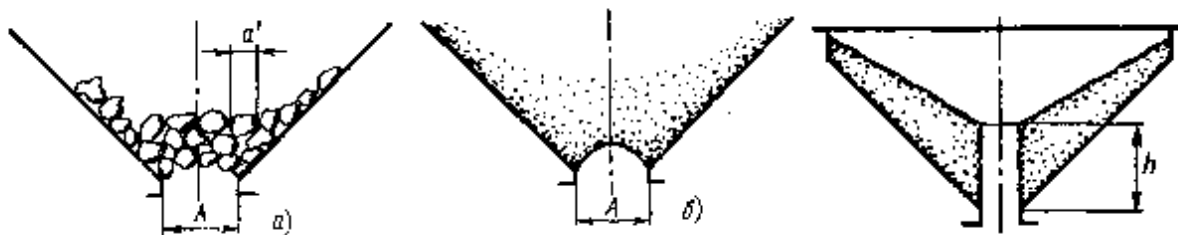


Рис. 1.4. Куполоутворення кускових вантажів (а) і зв'язних вантажів (б) та трубоутворення (в).

У таких випадках злежувальні матеріали створюють своєрідні моноліти, що перешкоджають їх витіканню заблоковуючи отвір бункера. Вони можуть утворювати купола із зв'язних та шматкових вантажів або явище трубоутворення. За таких умов припиняється витікання матеріалу.

Неможливлення утворення склепіння зв'язних матеріалів відбувається за умови коли радіус отвору буде дорівнювати

$$R_{\text{сп}} = \frac{\tau_0(1+\sin \varphi)}{\gamma} \quad (1.3)$$

де τ_0 - початковий опір зсуву;

γ - об'ємна вага вантажу;

φ - кут внутрішнього тертя.

Взагалі витікання насипних вантажів з бункерів поділяється на нормальне, гідравлічне і суцільне. Нормальне витіканні характеризується тим, що при цьому над випускним отвором утворюється стічна труба, діаметр якої можна визначити за формулою

$$d_{\text{к}} = \frac{\tau_0(2+\sin \alpha)}{\gamma} \quad (1.4)$$

За цих умов біля стінок бункера створюються застійні зони і вони тривають поки випускна воронка вантажу не досягне випускного отвору бункера. Як правило кут воронки зсуву дорівнює куту природнього відкосу. Такий вид витікання має місце у бункерах з кутом стінок 45° - 55° .

У варіанті суцільного витікання уся маса вантажу переміщується до отвору (рис. 1.5, б). При цьому відсутні застійні зони матеріалу, а його

поверхня одночасно і хаотично опускається вниз. Такий вид витікання можна реалізувати при нахилу стінки бункера $70...80^\circ$.

Гідравлічне витікання має місце при випуску аерованого сипкого вологого матеріалу. У цьому випадку вантаж набуває вигляду суспензії. Такого стану вантажу можна досягнути застосовуючи вібрацію, а тому його можна реалізувати при різних значеннях нахилу стінок.

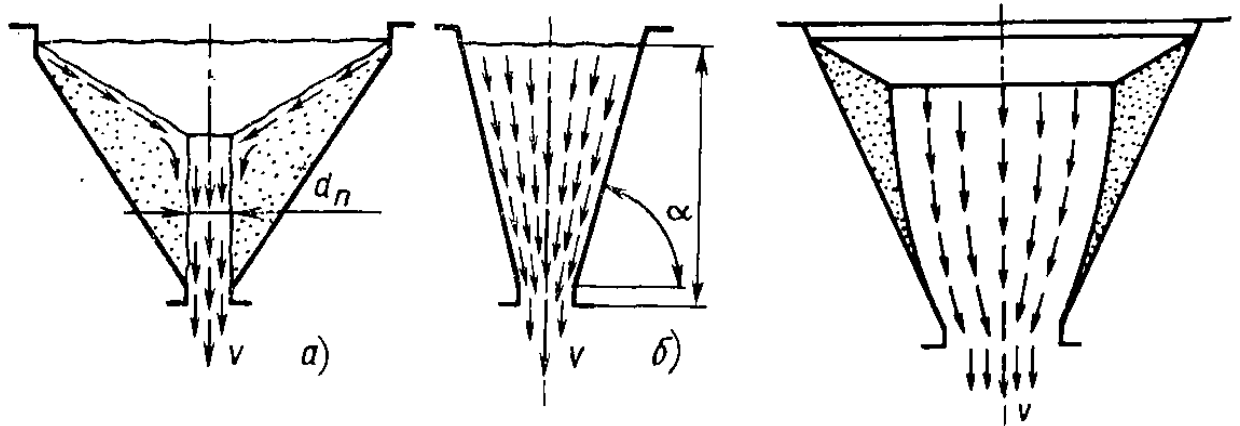


Рис. 1.5. Види витікання.

При суцільному витіканні висота вантажу у бункері не впливає на його швидкість і залежить від отвору. Натомість у гідравлічному вона знаходиться у прямій залежності від висоти шару.

Проектуючи бункери слід враховувати непередбачені ситуації під час розвантаження:

- зупинка витікання матеріалу в результаті утворення склепінь над отвором;
- нестабільне витікання при утворенні тимчасових склепінь;
- викиди насипного вантажу за умов нерівномірного витікання.

При зміні властивостей матеріалу під час зберігання (зміна вологості), конструкцію бункера необхідно проектувати для найгіршого варіанту. Так нормальне витікання слід застосовувати у бункерах для шматкових матеріалів. Крім того, вид самого витікання можна визначити завдяки діаграмі на рисунку 1.6. У свою чергу, для поганосипких вантажів рекомендуються гіперболічні воронки, які збільшують пропускну здатність і не уможливають куполоутворення.

Волога негативно впливає на плинність сипких матеріалів. Вважається, що найбільш небажаним випадком є матеріали із місткістю води 70...90%.

Зазвичай кут нахилу стінок у випускних воронках постійний. Проте для них притаманне зростання коефіцієнта звуження донизу.

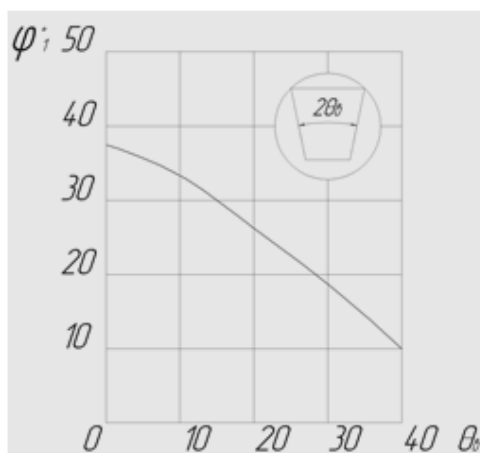


Рис. 1.6. Графік для визначення виду витікання

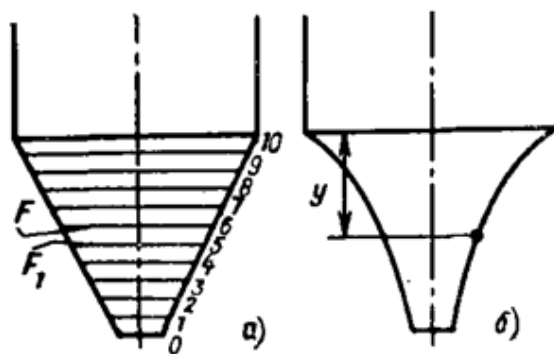


Рис. 1.7. Конічна (а) і гіперболічна (б) воронки.

На противагу конічним у гіперболічних воронках можна домогтися постійного коефіцієнта звуження, а отже і зменшення опору стінок. У таких бункерах відсутні застійні зони.

1.3 Огляд відомих типів бункерного обладнання

Бункерні пристрої бувають трьох типів: технологічні, акумулюючі та зрівнюючі. Для тимчасового зберігання матеріалів використовують технологічні бункерні пристрої, а для довготривалого – акумулюючі. Вони оснащені засобами розвантаження і завантаження, пристроями вимірювання вантажу тощо. Зрівнюючі ємності є проміжними елементами бункерного обладнання і призначені стабілізації роботи транспортувальних засобів у випадку нерівномірної і нестабільної роботи обладнання, яке задієне у виробничому процесі.

Бункерне обладнання включає в себе завантажувально-розвантажувальні засоби, збурювачі витікання сипких вантажів, живильників, затворів, приладів керування і контролю.

Під час автоматизації бункерних пристроїв їх оснащують приладами контролю рівня матеріалу в ньому. Як правило, елементи бункерного

обладнання уніфіковані завдяки яким можна створити різні типи бункерів відповідного призначення. Для завантаження їх використовують транспортери безперервної і періодичної дії, елеватори, а також різноманітні спуски.

Бункерні пристрої бувають закритого і відкритого типу. Вибір його конструкції обумовлений фінансовими можливостями виробництва, виду насипного вантажу, місця знаходження та дотримання техніки безпеки.

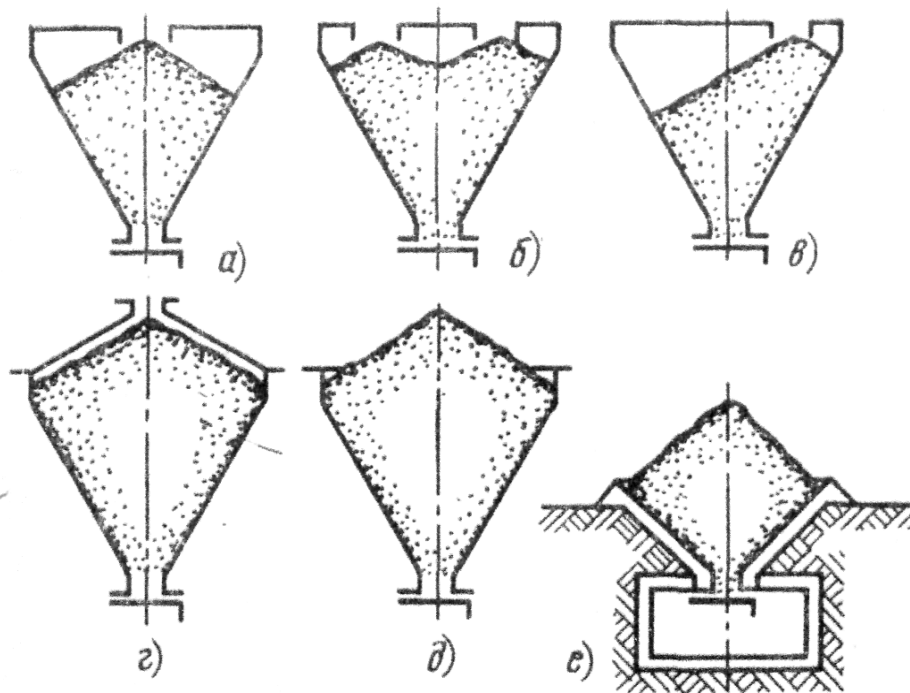


Рис. 1.8. Типи бункерів: *a - г* – закриті; *д, е* – відкриті

Форма бункерів може бути різною: прямокутна (пірамідальна), овальна (бочкоподібна), кругла (циліндрична, конічна). Днища бункерів теж буває різноманітним: дво три і більше скатні.

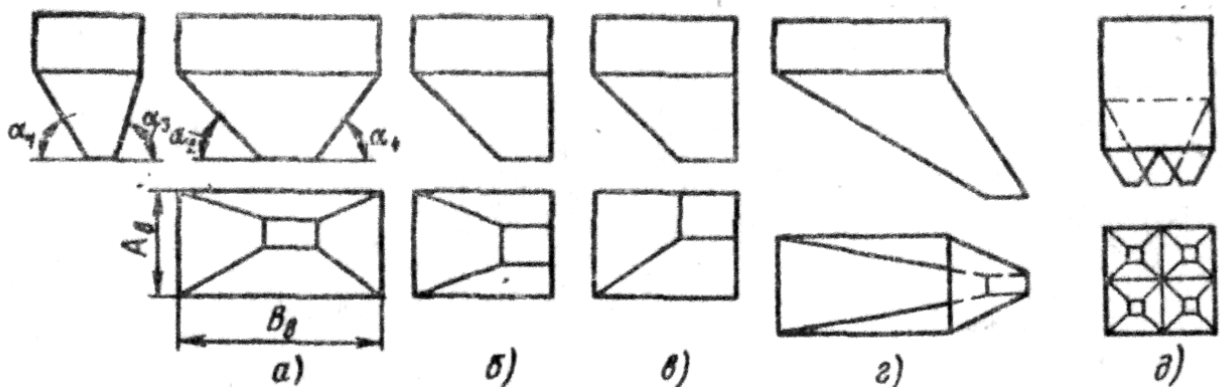


Рис. 1.9 Бункери прямокутної форми

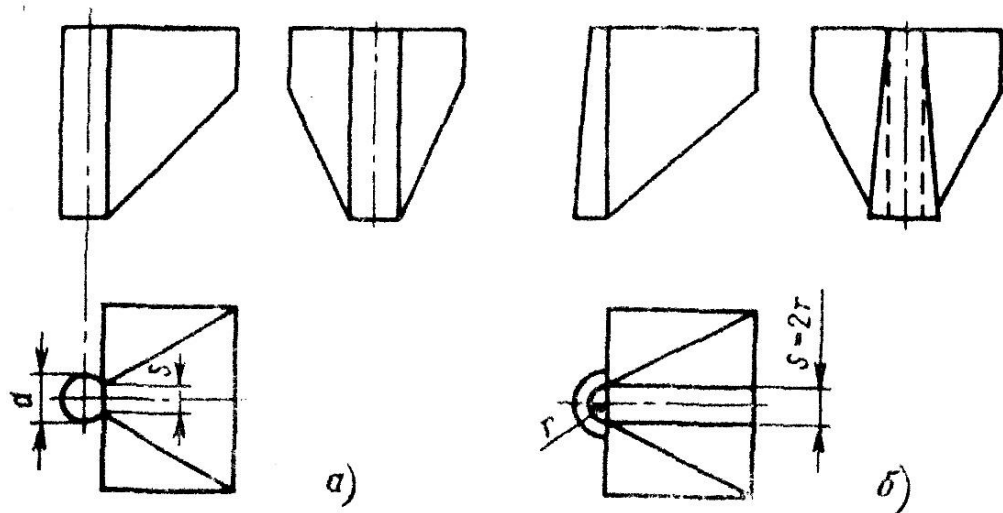


Рис. 1.10. Прямокутні бункери з циліндричною (а) і конічною трубами (б)

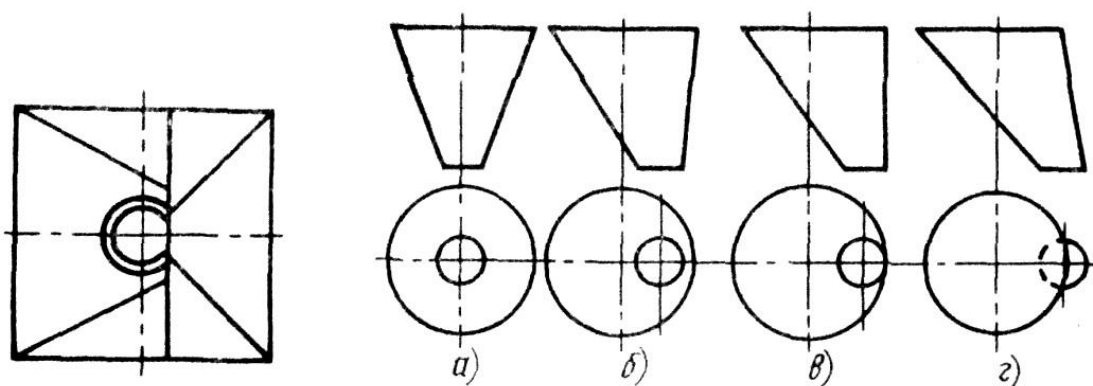


Рис. 1.11. Бункер з розвантажувальною трубою

Рис. 1.12 Схеми бункерів у вигляді а – круглого конуса; б, в, г – еліптичного конуса

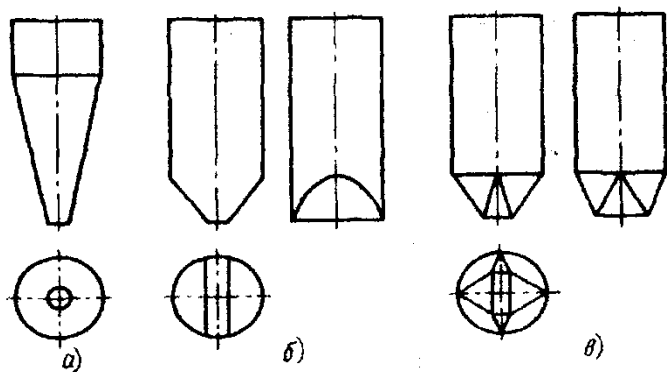


Рис. 1.13 Круглі і конічні бункери

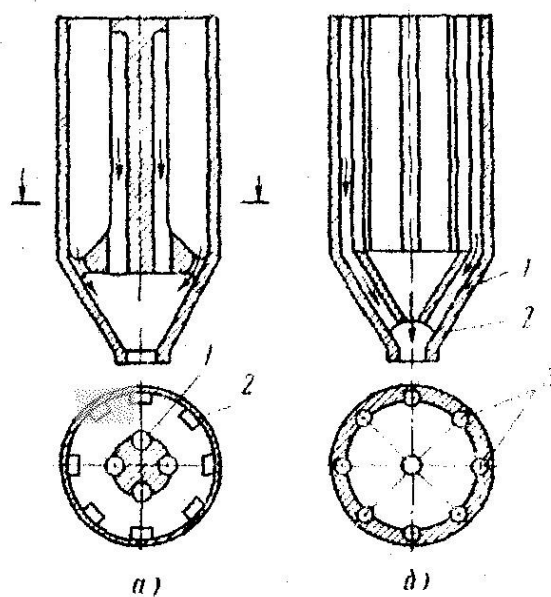


Рис. 1.14. Бункери з трубами

Для запобігання злежування сипких матеріалів у конструкціях круглих бункерів передбачені бічні або центральні труби, а для неможливлення утворення склепінь слід встановити в середині бункерів спеціальні пристрої, які їх руйнують. Це можуть бути різноманітні шарнірно рухомі зрушуючі елементи, еластичні оболонки, днища з окремо взятих пластин тощо.

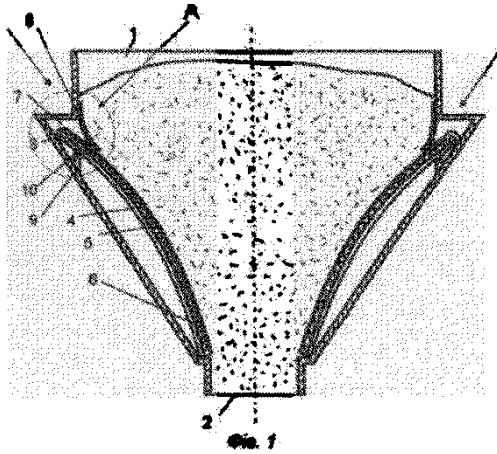


Рис. 1.15 Бункер з еластичною оболонкою

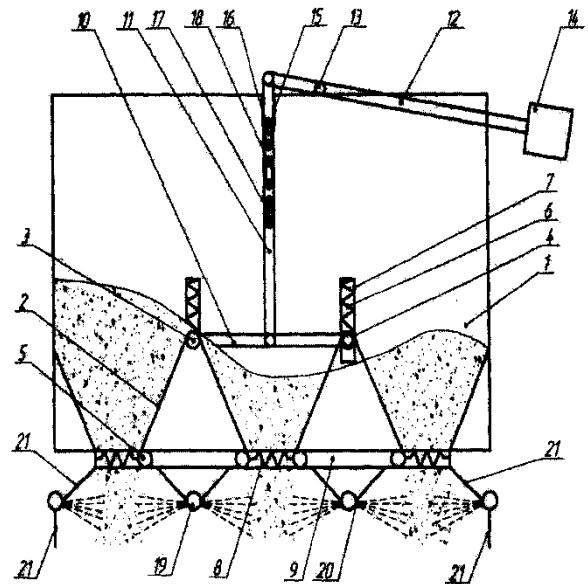


Рис. 1.16. Схема бункера з пластинчатим днищем

На виробництві бункери виготовляють залізобетонними, з дерева, металу, комбінованими. Так залізобетонні бункери використовують як для вологих так і сухих матеріалів. Вони довговічні але дорогі у виготовленні, можуть бути монолітними та збірними.

Металеві довговічні при зберіганні сухих матеріалів, дешеві в експлуатації порівнянно з іншими. У цьому випадку слід пам'ятати, що при роботі з вологими вантажами можлива корозія конструкції, а отже зростає коефіцієнт тертя, стають гіршими умови розвантаження.

Дерев'яні конструкції бункерів порівняно з іншими типами недовговічні і вимагають ретельного обслуговування та ремонту.

У комбінованих бункерах відбувається поєднання складових конструкції (наприклад днища) з різних матеріалів. Відомі також даного типу пристрої

виготовлені із спеціальних матеріалів (поліетилену). Висока зносостійкість і ударно-згинальна міцність, низький коефіцієнт тертя, водовідштовхувальні властивості є незамінним матеріалом під час футерування жолобів та бункерів.

1.4. Огляд конструкцій механізмів руйнування склепінь

Конструктивні схеми механічних зрушувачів

Дія механічних засобів руйнування склепінь побудована на зміщенні та переміщенні матеріалу з метою зменшення сил сцеплення між частинками матеріалу та порушення стану рівноваги його в бункері. Так для підвищення ефективності витікання гранульованих вантажів можна застосувати керування, а для поганосипких та липких матеріалів – вібруюче днище.

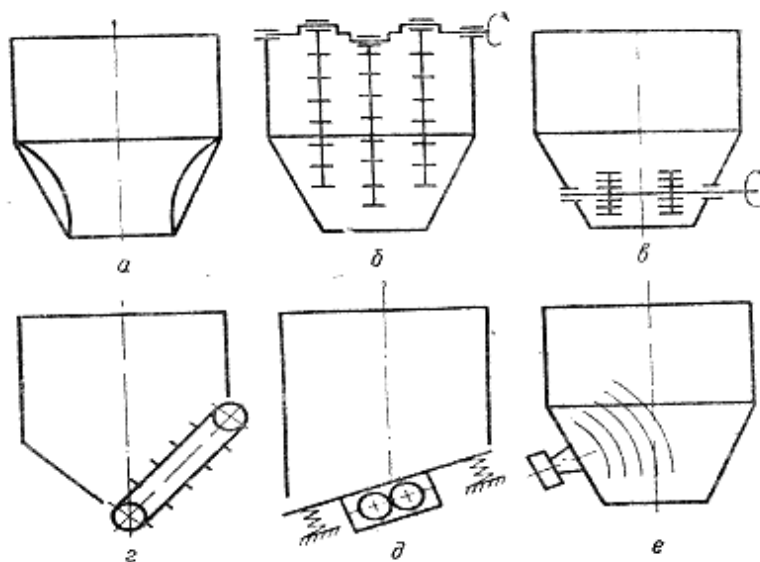


Рис. 1.17. Схеми збуджувачів витікання: *а* — параболоїдальної форми; *б* — механічний, штанговий; *в* — механічний, ротаційний; *г* — скребковий живильник; *д* — вібраційний; *е* — пневматичний (аерування).

За результатами досліджень встановлено, що найбільш ефективним засобом є використання вібрації. Так підбираючи (рис. 1.17, *д*) кут нахилу днища, частоту і амплітуду коливань можна домагтися оптимального режиму роботи обладнання при мінімальній витраті потужності приводу вібрування днища.

Механічний збурювач у вигляді обертаючих лопатей є простим у виготовленні та енергоощадним. В порівнянні з іншими конструкціями його роботу можна легко узгодити з роботою живильника.

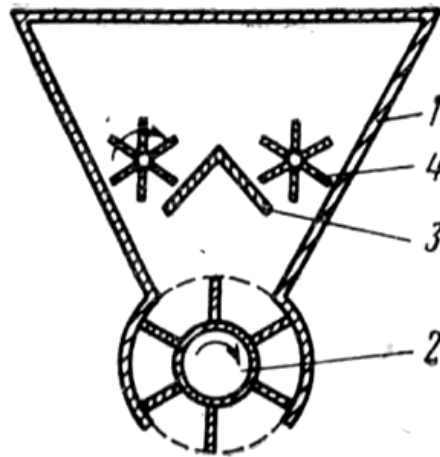


Рис. 1.18 Схема лопатевого збурювача

Із найрозповсюджених механічних збурювачів насипних вантажів є мішалки. Як правило на приводному горизонтальному валі закріплені штирі або лопаті, кількість яких, як режим роботи, визначається розміром воронки та матеріалом. Вал таких мішалок розташовується над отвором визначається виходячи з властивостей матеріалу та конструкції бункера. Дослідження показали, що зрушувач необхідно встановлювати у зоні можливого утворення склепінь. Недотримання такої рекомендації приводить до підвищення енергозатрат та неефективного використання пристрою.

Механічні зрушувачі повинні постійно діяти під час випуску матеріалу одночасно з роботою живильника. В неробочому стані пристрій стає перешкодою витікання маси, сприяє його зависанню.

Лопаті встановлені з кутовим зміщенням працюють за принципом ножа: кожен наступний елемент зрізає шар матеріалу, руйнує склепіння приводячи його положення добре сипкого стану. Крім того, розташовуючи їх за гвинтовою лінією, робить процес менш енергоємним. При цьому відстань між лопатями на валу повинна бути менше сводоутворюючого отвору, який визначається за параметрами вихідного отвору.

Виконуючи функцію розпушування лопаті не повинні бути широкими, оскільки у зворотному випадку відбувається переміщення нерозпушеної частини маси склепіння.

Технологічні умови роботи зрушувачів та конструкції їх різні, але функцію яку вони виконують однакова. Залежно від конкретних умов роботи

конструкції зрушувачів різні, проте принцип їх роботи, різноманіття, однаковий. Для руйнування склепіння всередині бункера можна використовувати штангу (рис 1.19). Зрушувач-штанга здійснює обертальний зворотньопоступальний рух і таким чином взаємодіє із склепінням матеріалу. Такий спосіб взаємодії з склепінням ефективний лише за умови, коли даний технологічний об'єкт знаходиться в зоні дії пристрою.

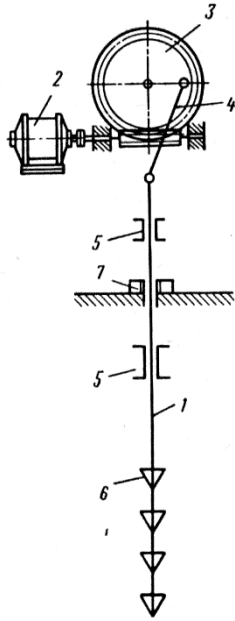


Рис. 1.19 Рухомий зрушувач-штанга

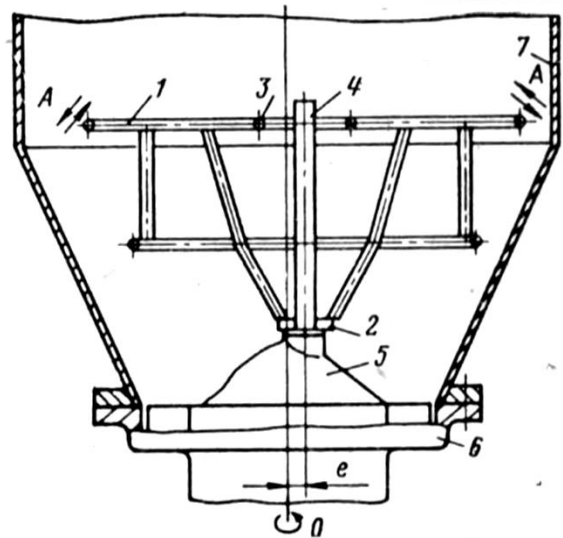


Рис. 1.20 Зрушувач в вигляді коливальної решішки

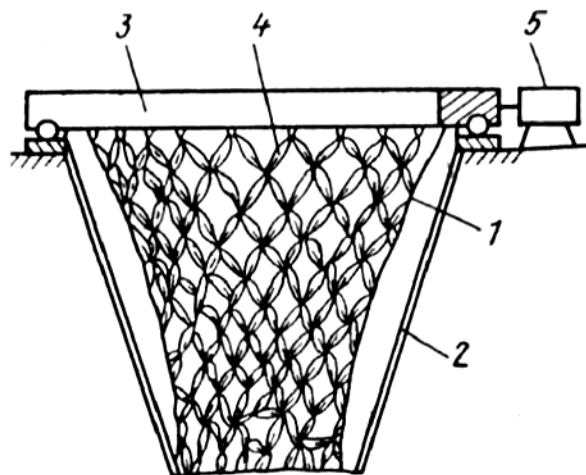


Рис. 1.21 Зрушувач в вигляді гнучкої корзини

Для руйнування насипного вантажу в бункері ще використовують стінку у вигляді окремої секції, що коливається. Її розташовують на похило становленій внутрішній стінці бункера. Секцію обфутеровано тканиною з закріпленими на ній відрізками транспортерної стрічки.

Для неможливлення зависання матеріалів пропонується використовувати зрушувач (рис. 1.20) у формі просторової решітки. Вона встановлюється у бункер, а її вертикальний вал ексцентриситично знаходиться по відношенню до приводного вала. Завдяки такому розташуванню, решітці генерують коливальні рухи з амплітудою прийнятого ексцентриситету в результаті чого відбувається руйнування. Для підвищення ефективності роботи пристрою, параметри такої решітки вибираються співрозмірними із внутрішніми розмірами бункера, тобто таким чином охоплюється небезпечна зона склепінняутворення.

У випадку роботи з поганосипкими матеріалами, відбувається нарощування його шару в результаті чого відбувається закупорювання отвору. Для уникнення такого ефекту рекомендується в бункері встановлювати гнучкий воронкоподібний кошик (рис. 1.21), який змонтований з металевих ланцюгів. Під дією тяжіння елементів кошика (гілок ланцюгів) утворюється його воронкоподібна конструкція. Їй надається поворотно-обертальний рух і завдяки дії сил інерції ланок ланцюгів та дотично прилягаючого до нього матеріалу здійснюється періодично-змінний кутовий зсув кошика відносно обичайки пристрою.

На виробництві, крім механічних пристроїв руйнування склепінь використовуються ще інші способи. Так, для одержання псевдорідкого стану матеріалу застосовують потік стислого повітря, завдяки якому відбувається його розпушування. Така операція (аерація) уможливає в живильнику стабілізувати щільність матеріалу. Пневматичні пристрої використовують для порошкоподібного матеріалу. Крім аерації застосовують різні зрушувачі вібраційної дії. Для отримання максимального ефекту роботу таких механізмів необхідно синхронізувати з живильниками.

Патентний огляд

Використання бункерного обладнання в різних галузях виробництва та широкого ряду насипних вантажів породжує все нові і нові технічні завдання які повстають перед інженерно-технічним персоналом для ефективної реалізації технологічних процесів. Особливо це стосується у роботі з такими

матеріалами як борошно, цемент, крейда, добрива, продуктами хімічної промисловості тощо.

Стан сипкого матеріалу характеризується тертям між його частками, а від цього залежить кут природнього відкосу, швидкість витікання матеріалу з отвору, визначає площу його поперечного перерізу.

Як було раніше зазначено, збільшення швидкості викання суміші через отвір відбувається коли стінки корпусу бункера встановлюються під кутом, більшим від кута природнього відкосу і впливу на матеріалу збурювальних ефектів (ворошіння, вібрація, керування тощо).

Відомі конструкції бункерів, у яких зрушувачі виконані у вигляді дисків розташованих на осі під кутом до неї. Корпус у вигляді паралелепіпеда із спряженням стінок та дна, виконаного у вигляді виступів та заглиблень. У нижній частині заглиблення виконані напівциліндричними, а шнеки встановлені із мінімальним зазором всередині між витками шнеків та внутрішньої поверхні.

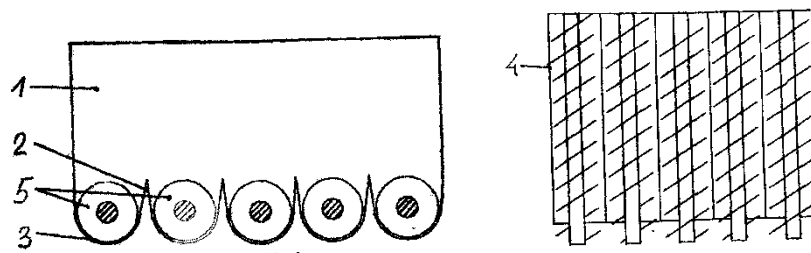


Рис. 1.22 Бункер сипких матеріалів з шнеками

Для зменшення зависання і руйнування склепінь застосовують вібраційні пристрої. Вібруючим елементом може виступати шарнірно підвішений лист, до якого закріплена платформа з вібратором. Як показали дослідження, вібрація ефективно впливає на стан добре сипких матеріалів, легко руйнуються склепіння, уможлиблює зменшення кута воронки.

Проте, вона малоефективна у роботі з молосипкими матеріалами з адгезійними властивостями. У цьому випадку коливання діють на невелику глибину і швидко затухають

Розробляються і проводять випробування інші типи зрушувачів для матеріалів з адгезійними властивостями. До них слід віднести пневматичні

пристрої у виді сопел. Але вони характеризуються складністю монтажу, недостатньою ефективністю, високою енергоємністю.

У протипагу їм позитивно зарекомендували зрушувачі у вигляді пневматичних подушок, закріплених у шахматному порядку до внутрішніх стінок пристрою. Під час надування ці подушки впливають на навколишній матеріал у застійних зонах.

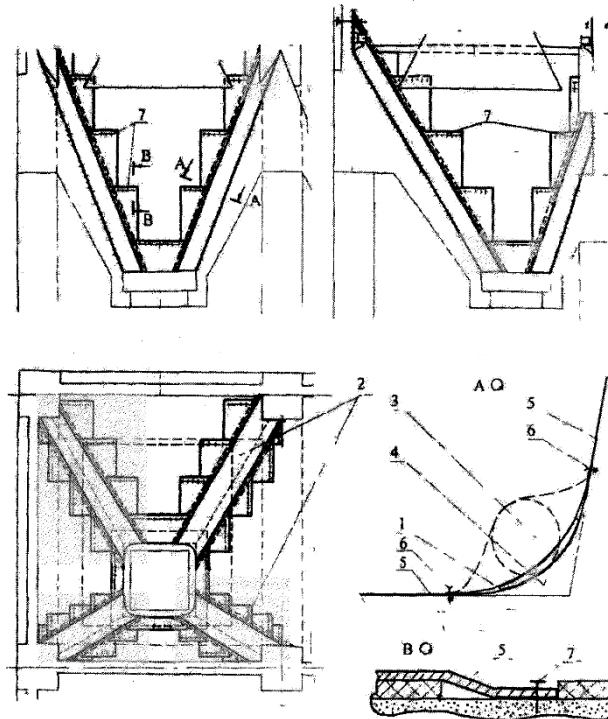


Рис. 1.24 Бункерний пристрій для матеріалів з підвищеними адгезійними властивостями

Відомий також пристрій, що не уможливорює утворення склепін у бункерах, у вигляді індуктора з плоскою котушкою. Така система котушок пов'язаних проміжними ланками встановлюється на станині бункера.

Відомі засоби для обвалення склепін у магнітному полі. Пристрій поміщений у стакані і закритий кришкою, кріпиться на стінці бункера. Робочі обмотки, що розташовані одна на проти одної становлять індуктор (рис. 1.24).

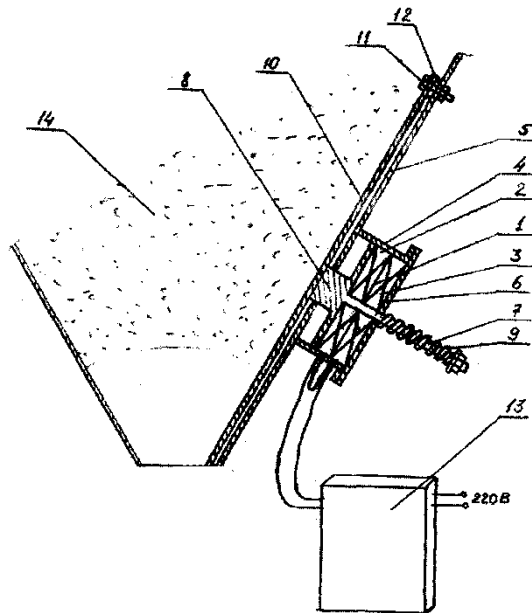


Рис. 1.25 Пристрій руйнування склепіння в магнітному полі

Стакана, кришка і бойок виготовлені з магнітом'якого матеріалу. Таке виконання сприяє уловлюванню і концентрації магнітних потоків у просторі між обмотками. Це дає можливість генеруванню додаткової руйнівної сили, цілеспрямованої дії магнітного поля, а завдяки пружині можна встановити оптимальний зазор між котушками індуктора і забезпечити ефективну дію магнітного поля. Крім того, виготовлення елементів пристрою з магнітом'якого матеріалу убезпечує від шкідливого впливу на робочий персонал магнітного поля.

1.5. Висновки

На підставі зробленого аналізу літературних джерел можна стверджувати, що процес зберігання насипних вантажів та вивантаження їх з бункерів супроводжуватись утворенням склепінь. Причинами їх утворення є властивості матеріалу вантажу, час перебування та параметри бункерів. Тому причини і способи запобігання утворення склепінь, а також методи їх руйнування є важливим і актуальним науково-технічним завданням, яке повстає перед інженерно-конструкторською спільнотою у відомих на сучасному етапі та нових розвиваючих видах виробництвах.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПІДСТАВИ РОЗРАХУНОКУ БУНКЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ

Для забезпечення сипкого стану матеріалові слід правильно спроектувати конструкцію бункеру та оснастити його необхідним обладнанням. До них відносяться стабілізатори тиску матеріалу на днище, механізми руйнування склепінь, живильники.

2.1 Стабілізатори тиску завантаженого матеріалу на днище бункера

Витікання сипкого матеріалу з ємності відрізняється витікання рідини. Це залежить перш за все від закону розподілу їх по висоті бункера. Тому щільність сипкого матеріалу у конкретно взятому місці буде визначатися функцією найбільшого тиску в даній . Для визначення щільності матеріалу в живильнику слід знати співвідношення розподілу тиску по висоті та бокового тиску.

Результати досліджень показали, механічні властивості матеріалу і нахил стінок бункера в залежності від зміни вертикального тиску знаходяться у певній залежності: при сталому тиску $\sigma = const$ гідростатичний визначається як $\sigma = f(H)$; а коливальний – $\sigma = var$.

Отож, тиск у верхніх шарах матеріалу буде впливати рухливості його під час витіканні з бункерів. Найоптимальнішим вважається $\sigma = const$ на дно бункера або ж поверхню живильника.

Сталий тиск у бункері можна забезпечити при нахилу стінки бункера під кутом $52,4 \cdot 10^{-2}$ рад (30°). Це підтверджено експериментальними даними під час витікання з бункеру кварцевого піску, пшениці, лену, вівса і суперфосфату, для яких кут внутрішнього тертя знаходиться в межах $15 - 27^\circ$.

Стабілізатори слід встановлювати біля отвору бункера (рис. 2.1, а). Їх завданням є зрівноваження тисків у верхніх шарах матеріалу з тисками у нижній горловині бункера.

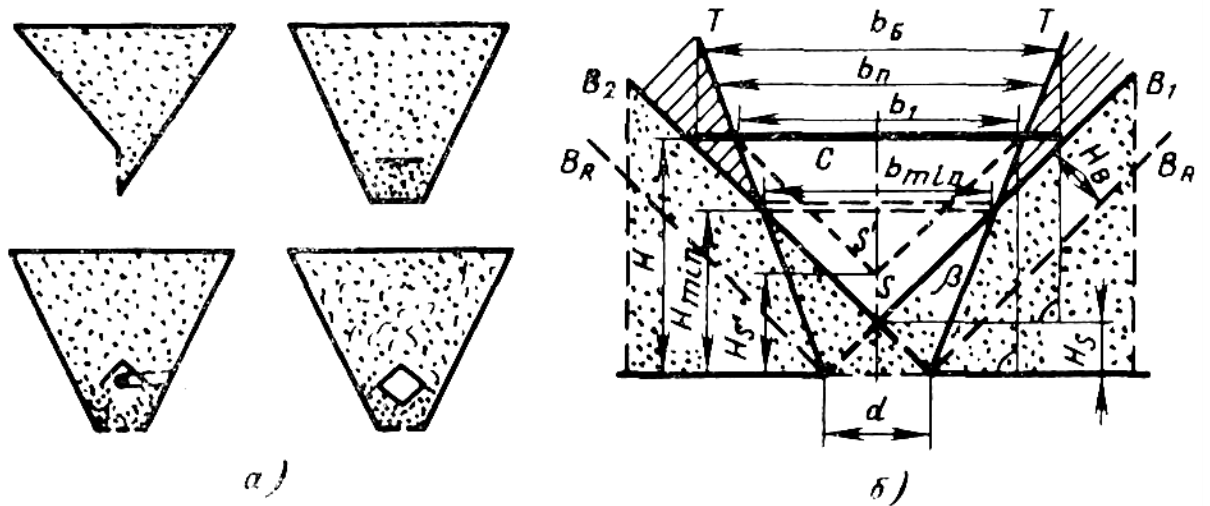


Рис. 2.1. Стабілізатори тиску матеріалу (а); варіанти можливого встановлення пластини (б)

Для досягнення таких умов необхідно аби вихідному отвору бункера (рис. 2.1, а) надати спеціальної форми, тобто край його знаходиться на одній вертикалі, а живильник – зміщений відносно осі бункера.

Як стабілізатор тиску можна використати горизонтальну пластину або такий собі двоскатний дашок (рис. 2.1, а). Його встановлюють в центрі воронки бункера і відіграє роль опори для матеріалу, який над нею і тим самим поділяє бункер на дві зони верхню і нижню. Тиск внизу визначається вагою матеріалу, а тому опір зменшується і відповідно склепіння не утворюються. Крім того, під час завантаження бункера така пластина убезпечує живильник від вільно падаючого матеріалу.

Якщо розмір отвору a і кут природного відкосу β даного матеріалу відомі, то місце знаходження стабілізатора (рис. 2.1, б) і вплив його на переміщення матеріалу буде залежити від розміру b пластини та висоти H встановлення її над випускним отвором. Під час розвантаження матеріалу з бункера під пластиною виникає конічна вільна поверхня, що обмежена з однієї сторони цією пластиною, а з іншої — площинами, які знаходяться під кутом природного відкосу.

Висота H матеріалу, над отвором

$$H_s = 0,5a \operatorname{ctg} \beta, \quad (2.1)$$

а товщина рухомого шару H_B між поверхнею B_1 і площиною B_R ,

$$H_B = 0,5a \cos \beta, \quad (2.2)$$

Мінімальна ширина пластини визначається перетином площин B_1 , і B_2

$$b_{min} = a + 2H_n \quad (2.3)$$

Встановлення пластини виходять з розрахунку мінімальної висоти

$$H_{min} = H_B \operatorname{ctg}(90^\circ - \beta) \quad (2.4)$$

Із збільшенням висоти підйому пластини над випускним отвором збільшується і її розмір пластини із збільшенням висоти піднімання збільшується. На якійсь умовній висоті H_B найменший розмір її буде дорівнювати

$$b_n = a + 2 H_n \operatorname{tg}(90 - \beta)/2, \quad (2.5)$$

а найбільший

$$b_n = 2(H_n - H_S) \operatorname{ctg}\beta \quad (2.6)$$

При умові $b_n = b_b$ площини B_1 та B_2 , будуть перетинаються над отвором (точка 5). Якщо ж $b_n = b_T$, то перетин їх буде знаходитись в положенні S' . Тоді висота її над отвором становитиме

$$S' = H - 0,5 b_n \quad (2.7)$$

Стабілізатори тиску виконаних на основі двох конусів чи пірамід показали, що така конструкція утримує ущільнений матеріал і уможлиблює рівномірне витікання матеріалу і дозволяє тривале зберігати його неутворюючи склепінь.

2.2 Визначення параметрів бункерного обладнання

Під час проектування бункерного обладнання і визначення конструктивних параметрів необхідно дотримуватись таких умов, а саме:

- об'єм бункера, тобто його розміри повинні відповідати об'єму завантажувального насипного вантажу;
- відсутність на похилих стінках бункера об'єктів гальмування частинок вантажу;
- вільне самоплинне витікання матеріалу через випускний отвір, неможливе утворення склепінь;
- забезпечення проектної продуктивності вивантаження матеріалу з бункера.

На рисунку 2.2. показані геометричні параметри бункерів.

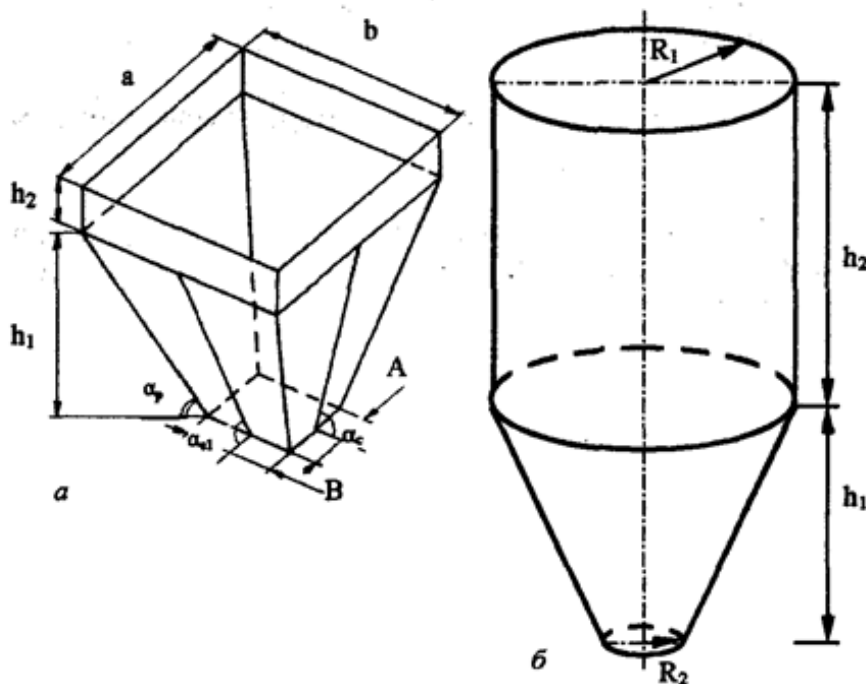


Рис.2.2. Основні геометричні параметри бункерів: *a* - прямокутного; *б* - циліндричного

Для прямокутного бункера $V_{\text{б}}$, форма якого складається з паралелепіпеда та січеного піраміди об'єм визначається з виразу

$$V_{\text{б}} = a \cdot b \cdot h_2 + 1/3 h_1 (a \cdot b + \sqrt{a \cdot b \cdot A \cdot B} + A \cdot B) \quad (2.8)$$

де A, B - параметри випускного отвору бункера, м.

Для циліндричного бункера, що складається із зрізаного конуса та циліндра визначається за формулою:

$$V_{\text{б}} = (1/3 \pi h_1 (R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2)) + \pi R_1^2 h_2 \quad (2.9)$$

де R_2 – радіус отвору, м;

R_1 – радіус циліндричної частини бункера, м.

Виходячи з робочих функцій та місця розташування на виробництві, конструктивно приймають геометричні розміри бункера.

За умови відсутності гальмування вантажу, перевіряємо кути нахилу ребрабрічних стінок, бункера:

$$\text{tg} \geq f,$$

$$\text{tg} \geq f,$$

$$\operatorname{tg} = \frac{h_1}{0,5(a-A)}, \quad (2.10)$$

$$\operatorname{tg} = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha_c \pm \operatorname{ctg}^2 \alpha_{c1}}}.$$

де f – коефіцієнт тертя даного вантажу відносно стінок бункера; під час переміщення на металевій поверхні $f = 0,75 \dots 0,80$ – для щебеню, вугілля, гравію, землі, глини і $f = 0,60 \dots 0,75$ – для цементу, крейди, зерна, а під час переміщення відносно бетонної поверхнею бункерів ці значення необхідно збільшити на 16–20 % .

Розміри отвору бункера A та B повинні бути достатніми аби забезпечити запроєктовану продуктивність. Водночас вони повинні не уможливлення утворення склепінь матеріалу в середині бункера. Для уникнення різких викидів вантажу через отвір, вони не повинні мати надто великими.

Для шматкових вантажів найменший розмір отвору витікання матеріалу з бункера прямокутної форми дорівнює:

$$A > (4,0 - 5,5)\alpha_g. \quad (2.11)$$

Для дрібношматкових і порошкоподібних матеріалів розміри отворів залежно від запроєктованої продуктивності бункера повинна бути не менше 300...400 мм.

2.3 Швидкість витікання

Рух сипкого матеріалу при умові зрідження і псевдозрідження з деяким наближенням подібний до руху рідини (до них відносяться водні розчини і ті, що піддані вібруванню) за умови знаходження стінок бункера під заданим кутом нахилу.

Теоретична швидкість витікання вантажу для виділеного елемента маси матеріалу висотою Δh з площею отвору F визначається з рівняння під дією рушійних сил:

$$P\Delta h = \frac{mV_0^2}{2} \quad (2.12)$$

де P – сила тяжіння маси стовпа;

Δh – переміщення;

Підставивши $m = \frac{\gamma \Delta h F}{g}$ і замінивши відношення $\frac{P}{F} = \sigma$ – на тиск у перерізі стовпа матеріалу, отримаємо

$$v_0 = \sqrt{2g \frac{\sigma}{\gamma}}. \quad (2.13)$$

За умов врахування внутрішнього і зовнішнього тертя, дійсна швидкість витікання дорівнюватиме

$$v = \lambda \sqrt{2g \frac{\sigma}{\gamma}}. \quad (2.14)$$

На практиці розглядаються два види витікання:

Практичні розрахунки за формулою (2.17) можна провести для двох видів витікання:

– при нормальному витіканні, коли тиск над отвором менше гідростатичного. Він знаходиться за формулою:

$$\sigma = x \gamma R_2 \quad (2.15)$$

де $x = \frac{1}{f} + 2f - \sqrt{1 + f^2}$ – коефіцієнт, який враховує внутрішнє тертя f , як правило його приймають рівним 1,6.

Підставивши це значення одержимо, м/с:

$$v = \lambda \sqrt{3,2gR_2} = 5,65\lambda \sqrt{R_2}, \quad (2.16)$$

Коефіцієнт витікання λ вибирається з таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Вид вантажу	Добре сипкий порошкоподібний і зернистий	Шматковий	Пилоподібний, вологий порошкоподібний, зернистий із вмістом пилу
λ	0,55—0,65	0,3—0,5	0,2—0,25

Величина гідравлічного радіусу $R_z = F \div P$ — відношення периметру його до площі — для квадратного та круглого отворів $R_z = 0,25d$; для прямокутного — $R_z = \frac{AB}{2(A+B)}$, де A і B — відповідно сторони прямокутника;

— при гідравлічному витіканні матеріал переміщається подібно до рідині. Для середнього значення гідростатичного тиску одержимо

$$v = \lambda_0 \sqrt{2gH} = 4,46\lambda_0 \sqrt{H}, \quad (2.17)$$

тут H — висота шару матеріалу, м.

Якщо враховувати вплив відношення площ перерізу бункер та його отвору $F:F_0$, виходячи із закону гідравліки будемо мати:

$$v = \lambda_0 \sqrt{\frac{2gH}{1 - \left(\frac{F}{F_0}\right)^2}} \quad (2.18)$$

де $\lambda_0 = 0,6 - 0,7$ — коефіцієнт витікання.

У випадку невідомого типу витікання матеріалу слід знайти швидкість для нормального і гідравлічного витікання і прийняти, яке відповідає найбільшій надійності і правдоподібності розрахунків.

2.4 Продуктивність витікання з бункера

Одним з найважливіших технологічних параметрів бункерного обладнання є його пропускна здатність (або продуктивність). Її можна визначити за формулою:

$$Q = 3600k_n \gamma F v, \quad (2.19)$$

де F — площа вихідного отвору, м²;

γ — об'ємна маса, т/м³;

v — швидкість витікання;

$k_n = 0,8 - 1,0$ — коефіцієнт продуктивності; він враховує залежність площі вихідного отвору та об'ємної ваги матеріалу, який пов'язаний з перерозподілом частинок матеріалу в зоні витікання.

Площа отвору витікання матеріалу з врахуванням зменшення для круглого отвору становить $F = 0,785(d - a_o)^2$, а для квадратного – $F = (A - a_o)^2$.

Розміри цього отвору можна також вибирати такими:

$$\text{круглих: } d = k(80 - a_o) \operatorname{tg} \varphi,$$

$$\text{щілинних: } B = 0,5(80 + a_o) \operatorname{tg} \varphi \geq (3 \div 6)a_o$$

$$\text{прямокутних: } B = \frac{1+n}{2n} k(80 + a_o) \operatorname{tg} \varphi,$$

де B — менший розмір отвору;

$k = 1,8 - 2,6$ — коефіцієнт, що залежить від насипного вантажу;

$n = B/A$ — відношення сторін отвору;

a_o — найбільший розмір частинки або шматка вантажу;

$\operatorname{tg} \varphi$ — коефіцієнт внутрішнього тертя і

Розташування отворів теж впливає на продуктивність. Якщо він знаходиться в кутку або в стінці днища збільшується на 12—25%. Цю особливість слід врахувати під час проектування обладнання для вантажів з поганими характеристиками до витікання.

Безперервне витікання матеріалу відбувається за умови правильного вибору площі і форми отвору витікання та його фізико-механичних властивостей.

2.5 Динамічне навантаження на елементи бункера

В процесі роботи на бункер діють наступні сили: власної вага, маса вантажу, внутрішні сили, сили від вітрового навантаження і нерівномірного завантаження. Результат дії цих сил на обладнання залежить від виду, стану і фізико-механичних властивостей вантажу, умов роботи, геометричних параметрів бункера та співвідношення між висотою і розмірами поперечного перерізу тощо. Тому під час проектування необхідно визначити: міцність рами бункера і його стінок, каркаса і опорних вузлів та стійкість конструкції.

На різних стадіях роботи бункера від дії вантажу виникають наступні навантаження: початкові — під час завантаженні із закритим отвором;

перехідні — під час закриття і відкриття затвору і робочі — під час робочого процесу витікання.

У статиці під дією таких навантажень конструкція бункера сприймають тиск, даН/см^2 , який визначається за формулою:

$$p = \sigma = \frac{\gamma R_c}{f_s} \left[1 - e^{-\lambda \frac{H}{D}} \right] \quad (2.20)$$

де $f_s = \text{tg} \varphi$ — коефіцієнт внутрішнього тертя;

H і D — діаметр бункера і висота насипного вантажу, відповідно;

φ — кут тертя в матеріалі;

λ — показник експоненти, який визначається за формулою:

$$\lambda = (2 \div 4) k_c \text{tg} \varphi \quad (2.21)$$

У даному випадку λ приймається рівним 4 — для круглих і квадратних та 2 — для прямокутних і щілиноподібних отворів. Величина коефіцієнта сипучості k_c визначається відношенням вертикального p_h і горизонтального p тиску і знаходиться з виразу

$$k_c = \frac{1 - \sin \varphi_1}{1 + \sin \varphi_1} \quad (2.22)$$

де φ_1 — кут природного відкосу сипкого матеріалу.

Для невисоких бункерів тиск на стінки можна знайти із залежності:

$$p = \sigma = k_c H \gamma \quad (2.23)$$

На рисунку 2.3 показана епюра статичного тиску на стінки бункера.

У момент початкового і під час встановленого витікання тиск на елементи бункера розподіляється по різному. Активний тиск на кінчну частину і днище бункера зменшується, а у місці переходу кінчної в циліндричну зростає до p_{max} .

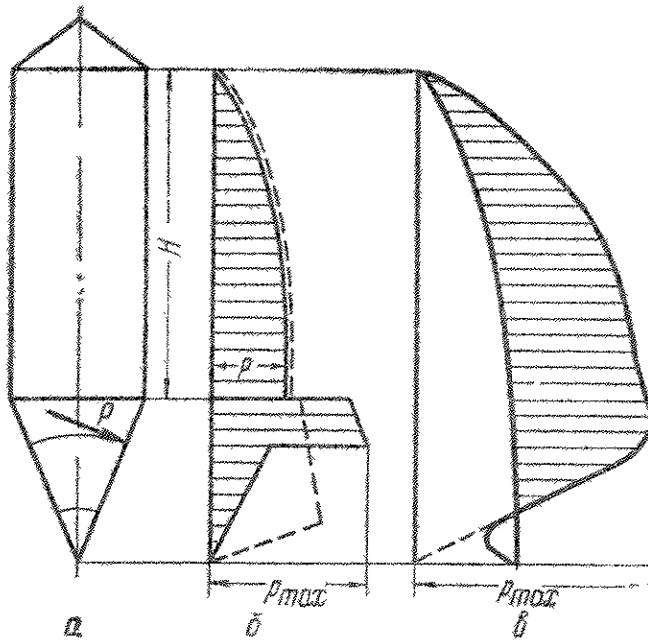


Рис. 2.3. Епюри навантаження на стінки бункера:

a — схема бункера; *б* — теоретичний тиск; *в* — тиск під час витікання

Під додатковим розуміється динамічне навантаження коли виникає загроза з'явлення склепіння і подальше його руйнування, під час якого відбувається коливання стінок бункера. Максимальна величина тиску за таких умов може становити 30 – 40% від середнього тиску при встановленому режимі витікання. Час завантаження та витікання вантажу з бункера не значно впливає на тиск в його стінках.

Під час розрахунків необхідно враховувати місце знаходження вихідного отвору відносно осі бункера. При ексцентричному його положенні (рис. 2.4) тиск в стінках зростає:

для круглого бункера

$$P_e = \varepsilon_2 P, \quad (2.24)$$

для квадратного

$$P_e = \varepsilon_1 P, \quad (2.25)$$

де $\varepsilon_1 = \frac{A_0 + 2e}{A_0 + e}$ при $e = 0,5A_0, e_1 = 1,33$

$\varepsilon_2 = \frac{\pi D + 8e}{\pi D + 4e}$ при $e = 0,5D, e_2 = 1,39.$

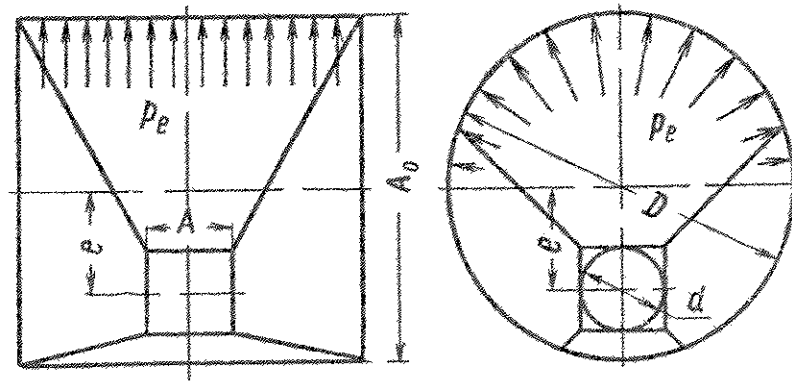


Рис. 2.4. Бункер з ексцентричним розташуванням отвору.

Звідси, ексцентричне розташування отвору приводить до виникнення однобічних внутрішніх сил, що діють на бункер. Вони виникають як наслідок нерівномірної дії завантаженого вантажу в бункері і можуть бути причиною перекидання конструкції.

2.6 Стійкість бункерного обладнання

Стійкість бункера (наприклад, силосної башти) можна завдяки розв'язку рівнянь рівноваги, зокрема рівняння моментів сил відносно, у даному випадку, т. О (рис. 2.5)

$$RD + g \frac{D}{2} - Qe - Wh_g = 0, \quad (2.26)$$

звідси момент перекидання становитиме:

$$M_{on} = RD = Wh_g + Qe - G \frac{D}{2}. \quad (2.27)$$

де Qe — момент ексцентрично розташованої маси силосу на дно або момент від зміщення отвору витікання;

W — вітрове навантаження;

G — сила ваги фундаменту.

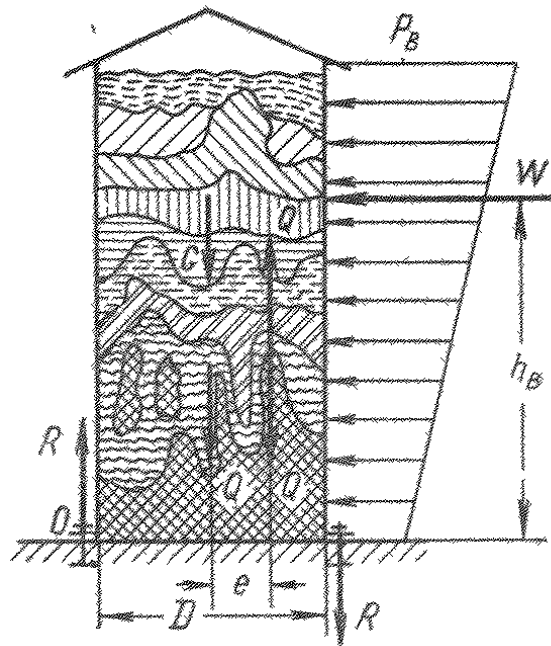


Рис. 2.5. Розрахункова схема для визначення стійкості силосної башти

За умови позитивного моменту обладнання рекомендується кріпити до фундаменту, а при неправильному завантаженні вантажу величина його буде більшою у зв'язку з нерівномірною горизонтальною щільністю матеріалу. На рисунку 2.5 представлена нерівномірність розподілу матеріалу за об'ємною масою.

2.7 Розрахунок пружинного зрушувача бункерного обладнання

Одним із варіантів вирішення поставленої задачі можна запропонувати схему механізму руйнування склепінь, представленої на рис. 2.6. Бункерне обладнання оснащено таким механізмом, робить конструкцію простою у виготовленні, обслуговуванні і монтажі. Його можна змонтувати з елементів існуючих пристроїв, що є важливим на сучасному етапі.

У конструкції механізму міститься пружна системи 1, яка своїми кінцями прикріплена до стінок бункера, приводного пристрою 2, який періодично взаємодіє з пружинною системою (у вигляді кулачкового механізму) і урухомлюється від електроприводу (на схемі не показано). По центру пружної системи (знизу на осьовій лінії) підвішений стабілізатор тиску, який взаємодіє з насипним вантажем і суттєво впливає на його ступінь рухомості під час робочого режиму витікання з бункеру.

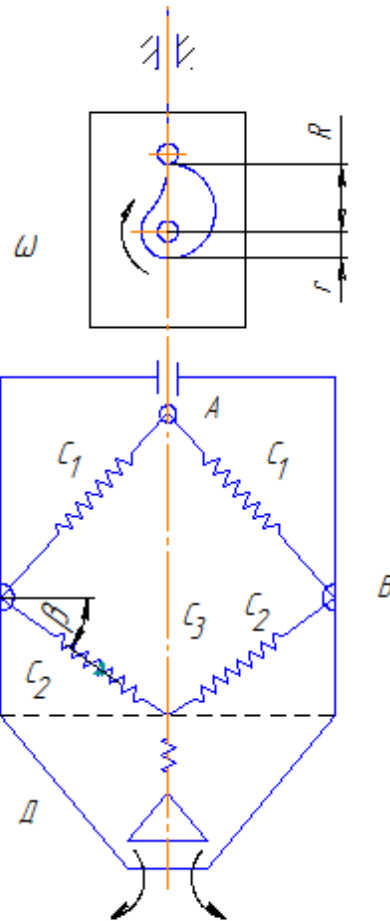


Рис. 2.6. Принципова схема механізму руйнування склепінь

Розрахунок даного механізму проводиться на підставі визначення жорсткості пружин, з якої складається ця система. Її знаходимо виходячи із зусиль, що виникають у кожній пружині. У той же спосіб знаходимо їх конструктивні розміри.

Теоретичні підстави розрахунку. При обертальному русі кулачкового механізму (переміщення точки А), пружна система змінює своє положення. Воно змінюється від положення Δ_0 до

$$\Delta_0 + R - r, \quad (2.28)$$

де r, R – відповідно мінімальний і максимальний радіуси кулачка;

Δ_0 – переміщення, яке характеризує початковий натяг пружин; тоді максимальне зусилля F_3 , яке з'являється в пружині 3

$$F_3 = C_3(\Delta_0 + R - r). \quad (2.29)$$

де c – жорсткість пружини.

Максимальне значення зусилля F_2 , що виникає відповідно у пружинах 1 і 2, можна знайти з рівняння

$$(\Delta_0 + R - r) \cos \alpha = \frac{F_2}{C_1} + \frac{F_2}{C_2}$$

звідки

$$F_2 = \frac{C_1 \times C_2 (\Delta_0 + R - r)}{C_1 + C_2}, \quad (2.30)$$

Ця сила F_2 буде діяти т. Д бункера. Окрім цього, в т. В стінки бункера діятиме сила

$$F_B = F_2 \cos \beta + F_2 \sin \alpha. \quad (2.31)$$

Тоді на вал кулачкового механізму буде діяти рівнодійна сила

$$F_K = F_3 + 2nF_2 \cos \alpha, \quad (2.32)$$

де n - кількість пар пружних симетричних елементів 1 і 2.

Під час роботи кулачкового приводу механізму руйнування склепінь, значення сил F_3, F_2, F_B змінюються від мінімального до максимального. Такий їх стан приводить до зрушування насипного вантажу, а стабілізатор коливається у вертикальному напрямку, що уможливілює краще витікання його з випускного отвору бункера, струшування матеріалу зі стінок і руйнування склепінь.

Для одержання більш ефективного режиму роботи пристрою слід забезпечити рівність власних коливань завантаженого бункера з частотою вимушених коливань приводу, тобто частотою обертання кулачкового вала

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}, \quad (2.33)$$

де c – приведена жорсткість всієї пружної системи;

m – маса стабілізуючого елемента.

Задаючись частотою обертання привідного пристрою і масу стабілізатора можна підібрати жорсткість всієї пружної системи, її конструктивні параметри, а також окремо взятого пружного елемента.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРУШУВАЧА БУНКЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1 Мета і планування експериментальних досліджень

Ефективність робочого процесу витікання насипних вантажів визначає показники роботи всього бункерного обладнання задіяного у технологічному процесі. Вона обумовлена чинниками, які можна об'єднати у дві групи: до першої відносяться ті, що залежать від фізико-механічних властивостей сипких матеріалів, а до другої – що залежать від параметрів обладнання, режиму роботи його механізмів, умов експлуатації.

Крім того, властивості матеріалів та режим роботи механізмів обладнання визначають у більшій мірі якість продукції. Так основним кінематичним параметром, що впливає на ефективність витікання є робоча швидкість, а отже частота і тривалість включення зрушувача. Як зазначалось вище, на цей процес впливає конструкція бункера, діаметр випускного отвору, відповідність похилених поверхонь елементів бункера до кута природного відкосу робочого матеріалу.

За об'єкт дослідження взято процес витікання сипких матеріалів з бункерного обладнання та сукупність чинників пов'язаних з його роботою. Проведені нами експерименти акцентувались на визначенні на якості і продуктивності процесу. Метою досліджень стали перевірка теоретичних аспектів, встановлення зв'язку між теоретичними викладками та конструктивно-технологічними параметрами роботи бункера.

Програмою експериментів передбачено встановити залежність:

- якості готового продукту від технологічних параметрів процесу витікання;

- відповідність параметрів під час сумісної роботи бункера і зрушувача;

- принципової схеми пружного зрушувача;

На підставі проведених досліджень слід:

- уточнити конструктивну схему бункерного обладнання з пружинним

зрушувачем;

- провести оброблення результатів досліджень та побудувати відповідні залежності;
- проаналізувати теоретичні дані та експериментальні результати.

3.2. Фактори, що впливають на робочий процес витікання матеріалів з бункера

Здійснивши аналіз конструкцій бункерів та виявлення недоліків і позитивних сторін в їх роботі вибрано за об'єкт вдосконалення зрушувач.

На підставі теорії ймовірності проводилось математичне моделювання з метою визначення основні параметри бункерів. Це уможливило значно зменшити витрати праці та капіталовкладень під час створення бункерного обладнання для сипких вантажів. Основною задачею при цьому було коректне перенесення результатів математичного моделювання на дані фізичного експерименту.

Під час конструювання обладнання основним визначальним параметром є рівномірність витікання матеріалу та його продуктивність. Тому, виходячи із проектної продуктивності або рівномірності витікання визначаються конструктивні параметри бункера.

Використовуючи інтеграл Лапласа можна визначити рівномірність витікання сипкого матеріалу

$$p(a < y < b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-0,5t^2} dt. \quad (3.1)$$

У цьому виразі нормованою випадковою величиною є y , яка пов'язана з x таким співвідношенням

$$y = \frac{x - m_x}{\sigma}, \quad (3.2)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення x ;

m_x – математичне очікування величини x .

Якщо випадкова величина x в цьому процесі рівно ймовірна, тобто описується нормальним законом розподілу, то математичне очікування m_x знаходиться з виразу

$$m_x = n \cdot p, \quad (3.3)$$

де p – ймовірність з'явлення події x ;

n – загальна кількість вимірів.

Середнє квадратичне відхилення σ обчислюється за формулою

$$\sigma = \sqrt{npq}, \quad (3.4)$$

де $q = 1 - p$ – ймовірність протилежної події x .

Формулу (3.1) запишемо у вигляді

$$p \left(a < \frac{x - np}{\sqrt{npq}} < b \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-0,5t^2} dt. \quad (3.5)$$

Об'ємі компонентів, який складається з n одиниць вимірів, що відповідають стандартній групі і задовольняють технологічним вимогам, мінімальна C_1 і максимальна C_2 рівномірність їх розподілу з об'єму витікання складає

$$(a = nc_1) < np < (b = nc_2). \quad (3.6)$$

Оскільки $a = nc_1$; $b = nc_2$, ймовірність поліпшення рівномірності випускання сипких матеріалів для випадкової величини

$$y = \frac{x - np}{\sqrt{npq}}, \quad (3.7)$$

з параметрами m_x і σ визначиться за формулою

$$p = \frac{1}{2\pi} \int_{y_1}^{y_2} e^{-0,5y^2} dy, \quad (3.8)$$

де

$$y_1 = \frac{a - np}{\sqrt{npq}} = \frac{nc_1 - np}{\sqrt{npq}} = \frac{(c_1 - p)\sqrt{n}}{\sqrt{pq}};$$

$$y_2 = \frac{b - np}{\sqrt{npq}} = \frac{(c_2 - p)\sqrt{n}}{\sqrt{pq}}.$$

Формула (3.8) записується за допомогою інтегралів Лапласа наступним чином

$$p = \Phi(y_2) - \Phi(y_1) \quad (3.9)$$

або ж

$$p = \Phi\left(\frac{(c_2 - p)\sqrt{n}}{\sqrt{pq}}\right) - \Phi\left(\frac{(c_1 - p)\sqrt{n}}{\sqrt{pq}}\right). \quad (3.10)$$

3.3. Методика проведення експериментів

Під час визначення оптимальних параметрів і режимів роботи бункера використовувалася методика оптимального планування екстремального експерименту [48].

Провівши теоретичні дослідження відомих конструкцій і розмірів бункерного обладнання та можливостей експериментального устаткування, параметром оптимізації обрана продуктивність витікання сипких матеріалів та енергозатрати при цьому.

На підставі проведеного аналізу досліджень вітчизняних науковців за змінні фактори були взяті матеріал та режим роботи приводу зрушувача.

Інші чинники процесу приймалися сталими.

Експериментальні дослідження проводились із застосуванням центрального композиційного ортогонального планування іншого порядку. Це уможливило апроксимувати дослідження відгуком полінома другого ступеня

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{i<j}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot x_i^2, \quad (3.11)$$

де b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти регресії;

y – вибіркова оцінка для критерію оптимізації;

x_1, x_2, \dots, x_k – незалежні змінні (чинники).

Чинники встановлюються на двох змінних рівнях і позначаються: нижній рівень чинника знаком -1 , а верхня $+1$.

Перед експериментом чинники кодуються:

$$x_{код} = \frac{x_n - x_o}{\varepsilon}, \quad (3.12)$$

де x_n - дійсне значення чинника;

$x_{код}$ - кодоване його значення;

x_o - дійсне значення на основному рівні;

x_n^6 - дійсне значення на верхньому рівні;

$\varepsilon = (x_n^6 - x_n^H)/2$ - дійсне значення змінного інтервалу чинника;

x_n^H - дійсне значення на нижньому рівні.

На основі проведених експериментів та аналізу інформації вибрано змінні чинники. При числі чинників $k \leq 5$ прийнято виконати повний факторний експеримент.

Досліди повторювалися три рази, а дисперсія відтворюваності визначалася з виразу

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_{iu} - \bar{y})^2}{f_2}; \quad (3.13)$$

де \bar{y} - середнє арифметичне критерію оптимізації;

y_{iu} - значення критерію оптимізації;

m - число дослідів;

$f_2 = m - 1$ - число ступенів рухомості.

За результатами експериментів визначається коефіцієнти регресії

$$\begin{aligned} b_0 &= p_1 \cdot \sum y_u - (p_1/p_3) \cdot \sum_{i=1}^k b_{ii}; \\ b_i &= p_3 \cdot \sum x_{iu} \cdot y_u; \\ b_{ii} &= p_5 \cdot \sum x_{iiu} \cdot y_u; \\ b_{ij} &= p_7 \cdot \sum x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u; \end{aligned} \quad (3.14)$$

де p_1, p_3, p_5, p_7 - коефіцієнти пропорційності ;

$i = 1, 2, \dots, N$ - номер досліду.

$i = 1, 2, \dots, k$ - порядковий номер стовпця матриці експерименту.

Отримавши рівняння регресії проводиться перевірка результатів на адекватність поліномом другого порядку.

Значення коефіцієнтів регресії визначається за t-критерієм Стюдента за формулою

$$\Delta b_i = \pm t \cdot S_{b_i}, \quad (3.15)$$

де t - табличне значення t-критерію;

S_{b_i} - квадратична похибка коефіцієнта регресії;

Таблиця 3.1.

Значення коефіцієнтів $p_i \cdot 10^5$ для ортогонального плану

Кількість факторів	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8
Три	6667	9141	23041	12500	25820	30234	48001	35355
П'ять	3704	4811	7220	6250	19245	21934	26870	25000

Дисперсії коефіцієнтів регресії визначаються за формулами:

$$S_{\{b_0\}}^2 = (p_2 \cdot S_y)^2 + (p_1/p_3)^2 \cdot k \cdot S_{\{b_u\}}^2; \quad (3.19)$$

$$S_{\{b_1\}} = p_4 \cdot S_y; \quad (3.20)$$

$$S_{\{b_u\}} = p_6 \cdot S_y; \quad (3.21)$$

$$S_{\{b_y\}} = p_8 \cdot S_y; \quad (3.22)$$

де p_2, p_4, p_6, p_8 коефіцієнти пропорційності (див. таблицю 3.1).

Виключивши з рівняння регресії не відповідних коефіцієнтів, проводиться перевірка гіпотеза адекватність моделі за формулою:

$$F_{расч} = S_{ад}^2 / S_y^2 \quad (3.23)$$

де $S_{ад}^2 = m \cdot \sum_{i=1}^N (y - y_i)^2 / f_1$ - дисперсія неадекватності математичної моделі;

N - кількість дослідів;

$f_1 = N - (k + 1)$ - число ступенів рухомості;

k - число чинників.

3.4. Методика проведення експериментів

На підставі проведених досліджень можна стверджувати, що похибка витікання матеріалів з бункера буде залежати від положення днища бункера, частоти коливання пружної системи зрушувача та продуктивності. Крім цього, на витікання властивості матеріалів, параметри бункера і вивантажувального отвору

$$v = f(n, \gamma). \quad (3.24)$$

Для забезпечення безперервного вивантаження важливо знати коефіцієнт відхилення від запроектованої продуктивності. Але, за великого числа проб максимальні відхилення можуть бути відсутні, а сам процес – дуже трудомісткий. Тому, у цьому випадку користуються відносною похибкою витікання у вигляді коефіцієнта варіації v :

$$v = \frac{100}{q_{cp}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (q_i - q_{cp})^2}{m - 1}}, \quad (3.25)$$

де m – число проб;

q_i та q_{cp} – відповідно текуча та середня величини проб, кг.

У нашому випадку, показник точності залежить від величини проби. При оцінці точності витікання слід брати проби визначеної маси або кількості взятих їх певний проміжок години. Але рекомендована величина коливається в широких межах.

Результати експериментів обробляються на підставі теорії кореляції.

Необхідний об'єм вибірки визначається за формулою

$$N = \frac{\sigma_x \cdot t^2}{f} \quad (3.26)$$

де t - критерій Стьюдента;

σ_x - середнє квадратичне відхилення даної величини;

$f = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$ – середня квадратична помилка;

n - число вимірів.

Значення σ_x й f визначають за даними попереднього експерименту:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}; \quad (3.27)$$

де D_x – дисперсія.

Для отримання 95% надійності виміру, за умови 5% його похибки, критерій Стьюдента $t = 2,0$.

3.5. Дослідження робочого процесу витікання матеріалів з експериментального бункерного обладнання

Для проведення досліджень було виготовлено експериментальне обладнання (рис. 3.1). Воно складається з рами, на якій закріплений бункер 1, привод у вигляді кулачкового механізму 5 та мотор-редуктора, що генерують періодичний рух для пружної системи 3 з можливістю регулювання швидкості обертання вала.

В середині бункера до внутрішніх стінок закріплена пружна система зрушувача. Вона складається з двох пружин, які розташовані у вертикальних взаємоперпендикулярних площинах та центральної пружини, яка з'єднана із стабілізатором тиску.

Пружна система змонтована з циліндричних пружин розтягу, які одними кінцями приєднані до корпусу і стабілізатора, а іншими – в один вузол та проміжну ланку (штовхач) із кулачком.

В робочому стані, завдяки обертання кулачка відбувається періодичне розтягування пружин, які створюють динамічне навантаження на стабілізатор і стінки бункера. В результаті такої взаємодії стабілізатор здійснює коливальний рух і тим самим впливає на стан сипкого завантаження бункера. Режим роботи механізму (амплітуда і частота коливань) задається профілем кулачка і швидкістю обертання його вала.

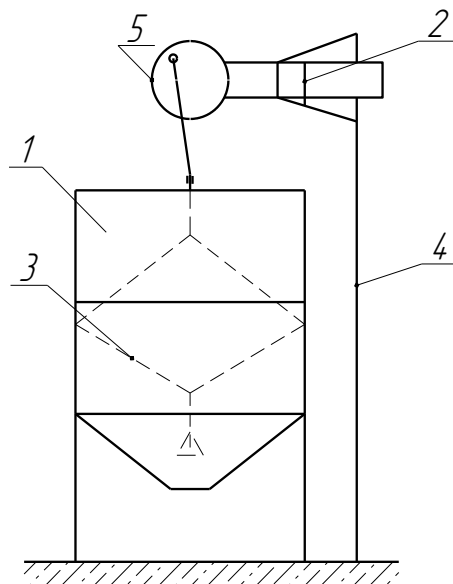


Рис. 3.1. Принципова схема експериментального обладнання

Конструктивні параметри пристрою:

вага стабілізатора – 1кГ;

число обертів кулачкового вала $n= 60-280$ об/хв

радіуси кулачкової шайби $r = 35$ мм, $R = 45$ мм.

насипний вантаж: матеріал (зерно, пісок, пшениця).

Розрахунок пружної системи зрушувача обладнання

Пружну систему об'єкту досліджень представляємо у вигляді пружин однакової пружності і з'єднаних між собою (рис. 3.2). Цю схему можна представити в вигляді одномасної коливної системи. Під дією збурювальної сили вона здійснює власні коливання з частотою, яку можна визначити з виразу

$$\omega_o = \sqrt{\frac{c_{ек}}{m}}, \quad (3.28)$$

де $c_{ек}$ – еквівалентна жорсткість системи;

ω_o – частота власних коливань системи;

m – коливна маса (стабілізатор).

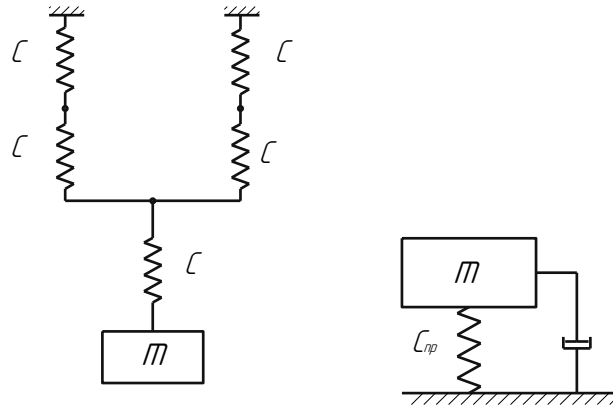


Рис 3.2 Схема приведення до одномасної коливної системи.

Приймаємо наступні вихідні дані: вага стабілізатора $P = 10H$; число обертів кулачкового вала $n = 205 \text{ об/хв.}$ тобто $\omega = \pi n / 30 = 21,5 \text{ с}^{-1}$.

За цих даних еквівалентна жорсткість $c_{ек}$ дорівнюватиме

$$c_{ек} = \omega_o^2 m, \quad (3.29)$$

якщо маса стабілізатора рівна $m = 1,06H \cdot \text{с}^2 / \text{м}$; тоді

$$c_{ек} = 21,5^2 \cdot 1,06 = 582H / \text{м}$$

Оскільки для заданої принципіальної схеми $c_{ек} = c / 2$, то $c = 1164 H / \text{м}$.

Циліндричні пружини розтягу характеризуються наступними параметрами (рис. 3.3):

τ — діаметр дроту;

D — середній діаметр;

$D_3 = D + d$ — зовнішній діаметр;

$C = D / d$ — індекс пружини;

h — крок навивки витків (для пружини розтягу $h = d$);

α — кут піднімання гвинтової лінії ($\text{tg } \alpha = h / (\pi d)$);

H_0 — висота пружини;

H_p — довжина робоча довжина пружини;

$i = H_p / h$ — число робочих витків;

L — довжина дроту пружини.

З практичного досвіду приймаємо індекс пружини $c = 4-12$.

Розрахунок пружини на міцність зводиться до визначення напруження кручення витків під дією осьової сили F . При цьому у перерізі витка будуть діяти

поперечна сила F і крутний момент $T = 0,5FD$, під дією яких може відбутися зріз витків і кручення. Тоді напруження кручення знаходиться за формулою

$$\tau = \frac{TK}{W_p} = 8FDK/(\pi d^3), \quad (3.30)$$

де K — коефіцієнт кривизни витків;

W_p — полярний момент опору перерізу .

Коефіцієнт K визначається із співвідношення

$$K = 1 + 1,4/C. \quad (3.31)$$

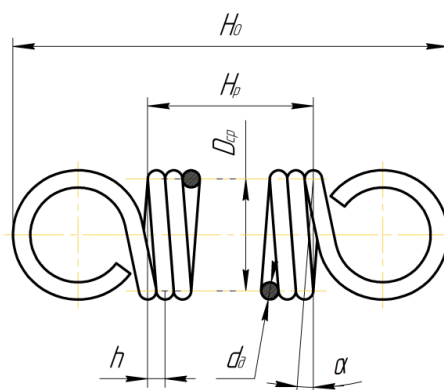


Рис. 3.3. Циліндрична пружина розтягу

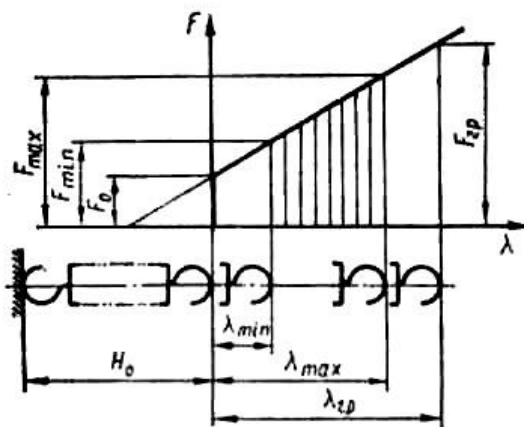


Рис. 3.4. Характеристика пружини розтягу

Умова міцності для витків пружини має вигляд

$$\tau = 8FDK/(\pi d^3) < [\tau] \quad (3.32)$$

Необхідний діаметр пружинного дроту визначають з формули

$$d \geq \sqrt[3]{8FDK/(\pi[\tau])} \quad (3.33)$$

Оскільки $C = D/d$, то формула набуває вигляду

$$d \geq \sqrt[3]{8FC^3 / (\pi[\tau])} \quad (3.34)$$

Приймаємо матеріал дроту сталь 60С2 і $[\tau] = 750$ МПа, і $C = 10$, а також $K = 1,14$ і $F = c(R - r + \Delta) = 1100 \cdot (10 + 5) \cdot 10^{-3} = 16$ Н і

$$d \geq \sqrt[3]{8 \cdot 16,5 \cdot 10 \cdot 1,14 / (\pi 750)} = 0,8 \text{ мм}$$

Приймаємо $d = 1,0$ мм

Визначаємо діаметри пружини дає змогу визначити середній та зовнішній діаметри пружини:

$$\begin{aligned} \text{середній} \quad D &= Cd = 10 \cdot 1,0 = 10 \text{ мм}; \\ \text{зовнішній} \quad D_3 &= D + d = 10 + 1,0 = 11 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Кількість робочих витків:

$$i = \frac{Gd\lambda}{8FC^3} = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 1,0 \cdot 5}{8 \cdot 16,5 \cdot 10^3} = 3,03 \text{ витка}$$

де $G = 8 \cdot 10^4$ МПа – модуль пружності.

Приймаємо $i = 4$ витки.

Подальший розрахунок пружини розтягу полягає у визначенні наступних параметрів:

довжина робочої частини нпружини

$$H_p = i d = 4 \cdot 1,0 = 4 \text{ мм};$$

Повне число витків $i_0 = i + (1 \dots 2) = 6$;

довжина вільної пружини

$$H_0 = i_0 d + 2 h_B = 6 \cdot 1,0 + 10 = 16 \text{ мм},$$

де $h_B = (0,5 \dots 1) D$ — висота одного вушка;

довжина пружини під дією максимального навантаження

$$H = H_0 + \lambda = 16 + 5 = 21 \text{ мм}$$

довжина дроту пружини

$$L = \pi D i / \cos \alpha + 2 l_g = 3,14 \cdot 10 \cdot 4 / 0,84 + 2 \cdot 31,4 = 212,3 \text{ мм}.$$

де l_g — довжина дроту вуха.

3.6. Експериментальні результати досліджень робочого процесу витікання матеріалів з бункера

Дослідження робочого процесу витікання з отвору бункера проводились з використанням наступних матеріалів: пісок будівельний ($\gamma = 1,25 \text{ кг/дм}^3$); насіннева пшениця ($\gamma = 0,95 \text{ кг/дм}^3$); подрібнене зерно ($\gamma = 0,9 \text{ кг/дм}^3$);

Отримані результати дослідів показані у наступних таблицях.

Пісок будівельний.

Таблиця 3.2

№	Частота обертів кулачка, об/хв	Кількість дослідів			Продуктивність $Q, \text{ м}^3 / \text{с}$	Швидк. витікання $v = Q / 3600 k_c \gamma F$	Коеф. показнику експоненти $\lambda = v / \sqrt{2g \frac{\sigma}{\gamma}}$	Коеф. сипучості $k_c = \lambda / 4 \text{tg} \varphi_z$	Приведений кут тертя матеріалу $\varphi_z = \arcsin \frac{1 - k_c}{1 + k_c}$
		1	2	3					
1	50	24,5	25,5	25,0	$0,4 \cdot 10^{-3}$	0,028	0,63	0,380	26,70
2	100	23,2	23,8	24,3	$0,42 \cdot 10^{-3}$	0,030	0,68	0,421	24,04
3	150	22,9	22,6	22,7	$0,44 \cdot 10^{-3}$	0,031	0,70	0,433	23,31
4	200	22,1	22,2	22,4	$0,45 \cdot 10^{-3}$	0,032	0,72	0,445	22,59
5	250	23,4	23,1	23,2	$0,43 \cdot 10^{-3}$	0,030	0,68	0,421	24,04

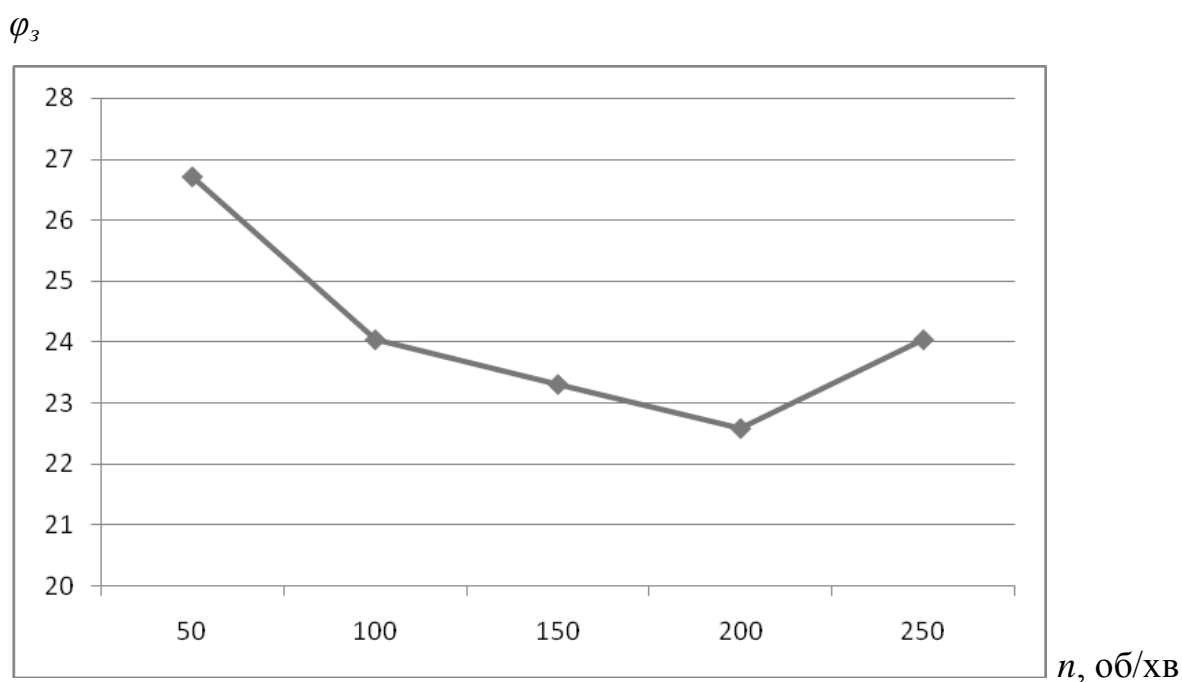


Рис. 3.5. Залежність приведенного кута тертя будівельного піску від швидкості обертання кулачкового вала зрушувача.

Таблиця 3.3

		Кількість дослідів							
		1	2	3					
№	Частота обертів кулачка, об/хв	Час витікання, с			Продуктивність Q , м ³ /с	Швидк. витікання $v = Q/3600k_c\gamma F$	Коеф. показнику експоненти $\lambda = v / \sqrt{2g \frac{\sigma}{\gamma}}$	Коеф. сипучості $k_c = \lambda / 4 \text{tg} \varphi_3$	Приведений кут тертя матеріалу $\varphi_3 = \arcsin \frac{1-k_c}{1+k_c}$
1	50	35,7	35,8	35,6	$0,28 \cdot 10^{-3}$	0,026	0,54	0,290	33,39
2	100	34,4	35,6	35,7	$0,29 \cdot 10^{-3}$	0,027	0,56	0,300	32,58
3	150	33,3	33,2	33,0	$0,30 \cdot 10^{-3}$	0,028	0,58	0,311	31,70
4	200	33,1	33,4	33,2	$0,30 \cdot 10^{-3}$	0,028	0,58	0,311	31,70
5	250	34,6	34,5	34,5	$0,29 \cdot 10^{-3}$	0,027	0,56	0,300	32,58

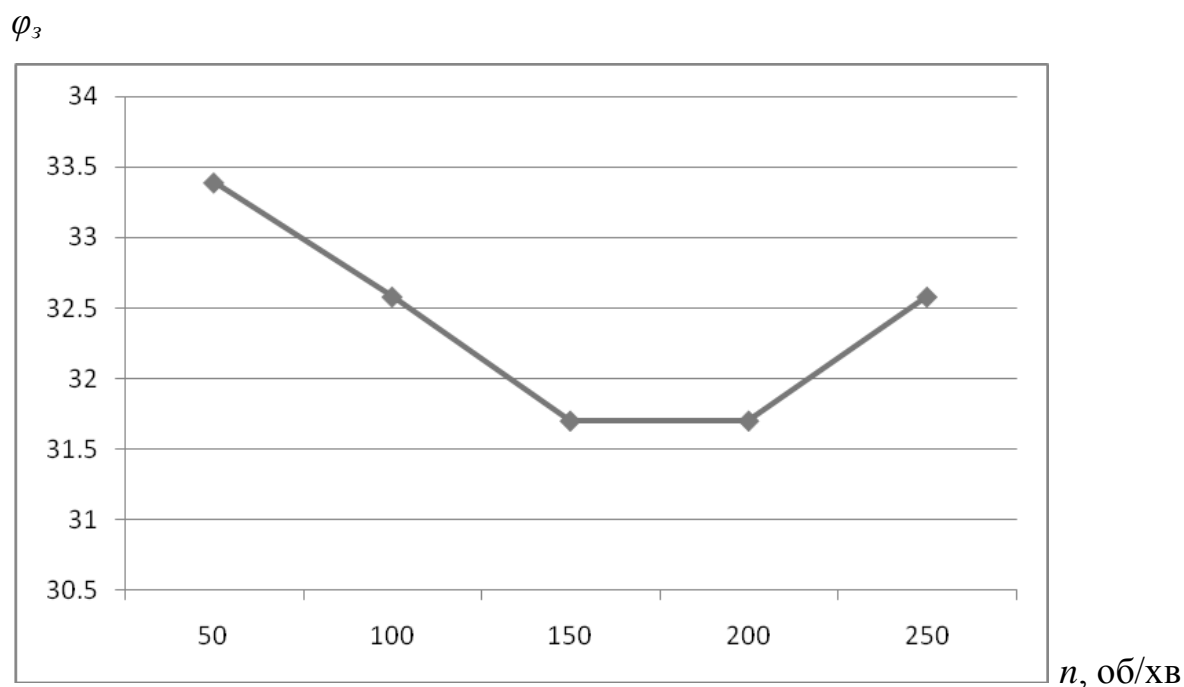


Рис. 3.6. Залежність приведенного кута тертя насінневої пшениці від швидкості обертання кулачкового вала зрушувача.

№	Частота обертів кулачка, об/хв	Кількість дослідів			Продуктивність Q , м ³ /с	Швидк. витікання $v = Q/3600k_z\gamma$	Коеф. показнику експонент $\lambda = v / \sqrt{2g \frac{\sigma}{\gamma}}$	Коеф. сипучості $k_z = \lambda / 4 \text{tg} \varphi_z$	Приведений кут тертя матеріалу $\varphi_z = \arcsin \frac{1 - k_z}{1 + k_z}$
		1	2	3					
1	50	66,5	66,6	66,8	$0,15 \cdot 10^{-3}$	0,015	0,29	0,104	54,25
2	100	55,6	55,7	55,9	$0,18 \cdot 10^{-3}$	0,018	0,34	0,121	51,63
3	150	52,6	52,3	52,9	$0,19 \cdot 10^{-3}$	0,019	0,36	0,129	50,49
4	200	55,5	55,3	60,1	$0,18 \cdot 10^{-3}$	0,018	0,34	0,121	51,63
5	250	56,2	25,8	55,4	$0,18 \cdot 10^{-3}$	0,018	0,34	0,121	51,63

φ_z

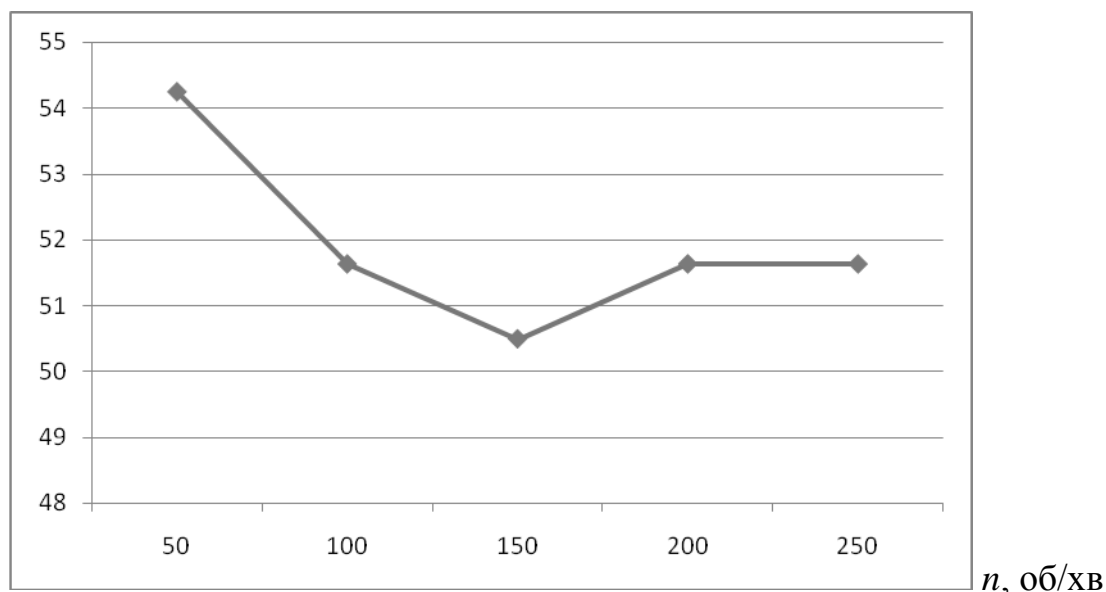


Рис. 3.7. Залежність приведенного кута тертя подрібненого зерна від швидкості обертання кулачкового вала зрушувача.

За результатами проведених досліджень встановлено залежність кута природного відкосу насипного вантажу матеріалу від швидкості обертання кулачкового вала приводу зрушувача. Вони вказують на ефективність використання пружинних зрушувачів у бункерному обладнанні.

РОЗДІЛ 4.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Структурно функціональний аналіз процесів експлуатації бункерів-накопичувачів

В процесі виконання робіт людина за допомогою певних знарядь праці створює дію на предмет праці в умовах різних середовищ. Організм людини може переносити без наслідків такі впливи, які не перевищують певні рівневі тривалості. За межами цих рівнів може виникнути травматизм організму, який розглядається як нещасний випадок, травма тощо.

Серед різних чинників виробництва, які спричинити певні дії на здоров'я людини, визначають небезпечні і шкідливі виробничі чинники. Небезпечний виробничий чинник - це коли дія на працюючих у виробничих умовах призводить до травми чи раптового погіршення здоров'я [12].

Процес витікання сипкого матеріалу з бункера характеризується травмота аварійною небезпекою, яка має здатність вплинути на стан здоров'я людини. Охорона праці на робочому місці, а саме біля бункера, значним чином впливає на використання робочого часу та на продуктивність машини в цілому. Створення безпечних умов роботи є одним із важливих умов підвищення ефективності виконання технологічного процесу зберігання сипкого матеріалу в бункері.

Основні чинники аварійно небезпечних ситуацій характеризуються такою особливістю, яка зумовлює формування умов з підвищення ймовірності та попередження нещасних випадків на переробному виробництві. Тому доцільно розглянути види технологічних операцій, подій, які мають місце у процесі витікання сипкого матеріалу з бункера:

- технологічні етапи: 1) завантаження бункера; 2) зберігання сипкого матеріалу в бункері; 3) вивантаження бункера.
- технологічні операції: 1) активне зберігання в бункері (вентиляція матеріалу); 2) руйнування склепінь, що утворюються в процесі вивантаження зрушувачем; 3) зупинка витікання матеріалу з бункера.

Імовірними травмонебезпечними факторами є: 1) механічне пошкодження обертовими частинами машини; 2) несправність окремих агрегатів бункера і зрушувача; 3) зміна кінематичних і динамічних параметрів роботи зрушувача; 4) невідповідність вимогам техніки безпеки і правилам пожежної безпеки; 5) підвищена запиленість; 6) пожежовибухова небезпека; 7) біологічні чинники.

4.2 Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки

Процес зберігання сировини являє собою послідовність операцій завантаження, зберігання і вивантаження сировини з бункера. Кожен з цих процесів містить свої небезпечні фактори, які можуть негативно вплинути на життя та здоров'я працівників при недотриманні правил техніки безпеки.

В процесі роботи бункера виникає ряд небезпечних факторів: механічний, вибуховий і ураження електричним струмом.

До механічних факторів виникнення травмонебезпечних ситуацій відносяться механізми, які передають обертовий момент (ланцюгові, зубчасті та пасові передачі). Небезпечні для людини зони повинні бути недоступні, тобто захищені спеціальним захисним обладнанням.

Ураження електричним струмом виникає в процесі виникнення несправностей в електричних системах в процесі неправильної експлуатації електричних пристроїв, тому інколи можливо ураження допоміжного персоналу. Для усунення таких ситуацій потрібно своєчасно проводити перевірки стану електрообладнання і заземлення.

Небезпечний фактор вибуху виникає під час запиленості в приміщенні вище граничних норм (ГДК вибухонебезпечного пилу – 5 – 7 мг/м³ [12]). Для запобігання вибуху встановлюють вентиляційні установки.

Під час зберігання сипких матеріалів у бункерах можуть виникати травмонебезпечні і аварійні ситуації.

Наведемо найбільш ймовірні ситуації в табл. 4.1, що можуть призвести до процесів, які пов'язані з травмуванням персоналу.

Аналіз процесів формування травмонебезпечних ситуацій

Вид роботи, виробничий підрозділ	Виробнича безпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання
	Небезпечна умова НУ	Небезпечна дія НД	Небезпечна ситуація НС		
1	2	3	4	5	6
Ремонт агрегатів бункера	НУ – агрегати необладнані захисними і обгороджуючими пристроями НУ →	НД – відключення агрегатів в роботу без попередження НД →	НС – падіння оператора або працівника НС →	Т – Травма. Т	Розробити захисні конструкції, проводити інструктажі з техніки безпеки
Вивантаження матеріалу з бункера Бункер, зрушувач Блок-схема	НУ - привід зрушувача необладнаний захисними пристроями під час роботи НУ →	НД ₁ – перебування біля приводу зрушувача; НД ₂ – обслуговування приводу зрушувача НД ₁ → НД ₂ →	НС ₁ – захоплення частин одягу; НС ₂ – відлітання частини машини. НС ₁ → НС ₂ →	Т Т	Організувати контроль безпеки машини перед роботою; проводити інструктажі з техніки безпеки
Експлуатація бункера, відключення зрушувача, перевірка обладнання на верхньому ярусі. Блок-схема	НУ ₁ – площадка необладнана перилами; НУ ₂ – на східцях немає перил. НУ ₁ → НУ ₂ →	НД ₁ – рухається працюючий; НД ₂ – наступає на розсипану сировину. НД ₁ → НД ₂ →	НС – падіння працюючого. НС →	Т Т	Сходи і перила повинні відповідати вимогам охорони праці.

4.3 Розробка логічно-імітаційної моделі травм небезпечної ситуації з оператором бункера

В умовах формування, виникнення аварій і виробничих травм всі випадкові події, які утворюють конкретну аварійну чи небезпечну ситуацію, зв'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками [4].

Початкові події (небезпечні дії, небезпечні умови) можуть виявитись під час обстеження об'єктів виробництва, а відповідно проміжні і кінцеві входять до схеми, яка може на основі аналізу представити можливі варіанти перебігу подій.

Опишемо методику побудови логічно-імітаційної моделі. Після вибору домінуючого явища (події) розпочинаємо побудову моделі (“дерева”). Використовуючи оператора “і” та “або”, використовуємо набір ситуацій (відомих до цього), які можуть призвести до подій, вибраної як домінуюча або головна.

Визначимо імовірність базових подій. Визначаємо травмонезбезпечні ситуації та їх кількості, які можуть мати місце в процесі розвантаження сипких матеріалів, визначаємо ще й інші події, що входять до кожної такої ж ситуації, логічним аналізом із застосуванням операторів “і”, “або” та інших. Процес побудови моделі триває, доки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі. Наприклад, базова подія “стан контролю з охорони праці”. Для визначення ймовірності потрібно встановити, наскільки (у відсотках) у підприємстві здійснюється контроль за охороною праці. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 20% або 30%, то ймовірність відповідно дорівнює 0,2 і 0,3.

Після обчислення ймовірності всіх подій, розміщених у ромбах, і базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки “дерева”, позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до моделі. На цьому можна вважати, що певна модель підготовлена до математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логічно-імітаційної моделі

Побудова логіко-імітаційної моделі процесу, формування і виникнення аварії і травми під час зберігання і витікання сипкого матеріалу з бункера складемо перелік базових подій. Вони лежатимуть в основі даної моделі. Кожній події (пункту) присвоюють певне значення ймовірності його виникнення:

1. Стан охорони праці на виробництві $P_1 = 0,4$;
2. Порушення вимог ОПТО $P_2 = 0,1$;

3. Відсутність комплектуючих	$P_3 = 0,5;$
4. Невисока міцність кріплень	$P_4 = 0,3;$
5. Ушкодження із зовнішнього середовища	$P_6 = 0,35;$
6. Застарілі технічні засоби	$P_7 = 0,25;$
7. Досвід роботи	$P_{12} = 0,5;$
8. Професійний рівень оператора	$P_{13} = 0,4;$
9. Психофізіологічний стан оператора	$P_{14} = 0,4;$

Наведені події дають змогу побудувати матрицю логічних взаємозв'язків між окремими пунктами, графічна інтерпретація якої зображено на рис. 4.1.

Розглянемо травмонебезпечну ситуацію, яка виникає при умові утворення склепінь матеріалу в бункері під час вивантаження, котра може призвести до пошкоджень бункера та іншої техніки, та розрахуємо ймовірності виникнення подій, що формують логіко-імітаційну модель процесу зрушування сипкого матеріалу, який знаходиться в бункері.

Ймовірність виникнення події P_5 визначаємо наступним чином:

$$P_5 = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_1 \cdot P_4 - P_2 \cdot P_4 - P_3 \cdot P_4 - P_2 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \quad (4.1)$$

$$P_5 = 0,4 + 0,1 + 0,5 + 0,3 - 0,4 \cdot 0,1 - 0,4 \cdot 0,5 - 0,4 \cdot 0,3 - 0,1 \cdot 0,3 - 0,5 \cdot 0,3 - 0,1 \cdot 0,5 + 0,4 \cdot 0,1 \cdot 0,5 \cdot 0,3 = 0,716$$

Ймовірність виникнення події P_{10} визначаємо так:

$$P_{10} = P_8 + P_9 - P_8 \cdot P_9 \quad (4.2)$$

$$P_{10} = 0,2 + 0,4 - 0,2 \cdot 0,4 = 0,52$$

Ймовірність виникнення події P_{11} визначаємо:

$$P_{11} = P_5 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_{10} \quad (4.3)$$

$$P_{11} = 0,716 \cdot 0,35 \cdot 0,25 \cdot 0,52 = 0,0326$$

Ймовірність виникнення події P_{15} визначаємо наступним чином:

$$P_{15} = P_{12} + P_{13} + P_{14} - P_{12} \cdot P_{13} - P_{13} \cdot P_{14} - P_{12} \cdot P_{14} + P_{12} \cdot P_{13} \cdot P_{14} \quad (4.4)$$

$$P_{15} = 0,5 + 0,4 + 0,4 - 0,5 \cdot 0,4 - 0,4 \cdot 0,4 - 0,5 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 0,4 \cdot 0,4 = 0,82$$

Ймовірність події P_{18} :

$$P_{18} = P_{16} + P_{17} - P_{16} \cdot P_{17} \quad (4.5)$$

$$P_{18} = 0,3 + 0,5 - 0,3 \cdot 0,5 = 0,65$$

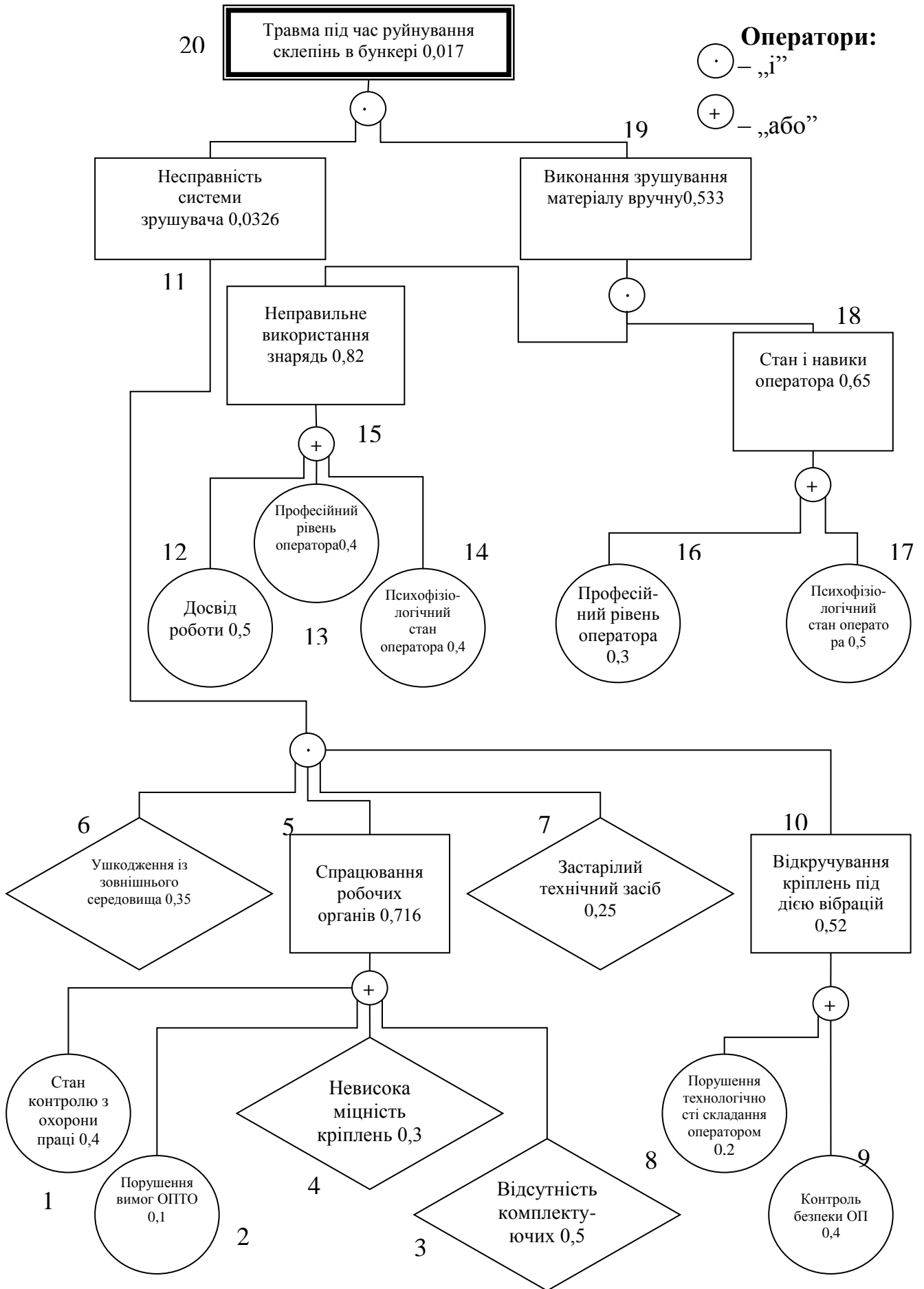


Рис. 4.1. Матриця логічних взаємозв'язків між окремими подіями травмонебезпечної ситуації

Імовірність події P_{19} :

$$P_{19} = P_{15} \cdot P_{18} \quad (4.6)$$

$$P_{19} = 0,82 \cdot 0,65 = 0,533$$

Імовірність події P_{20} :

$$P_{20} = P_{11} \cdot P_{19} \quad (4.7)$$

$$P_{20} = 0,0326 \cdot 0,533 = 0,017$$

За розрахунками імовірність виникнення травми оператора в процесі зрушування матеріалу в бункері становить $P_{20} = 0,017$.

Дослідження аварій і травм за принципом “логіко-імітаційної моделі”, і обґрунтування заходів охорони праці, дають змогу знизити імовірність виникнення аварійних і небезпечних ситуацій під час роботи і обслуговування обладнання. Якщо необхідно оцінити рівень безпеки робочого місця оператора, слід уважно вивчити та побудувати логічні моделі можливих небезпечних ситуацій, що враховують усі стани обладнання та самого робочого місця.

Графік залежності ймовірності головної події «травма» $P_c(N)$ від ймовірності різних базових подій ($P(X)$ – «стан контролю з охорони праці», $P(Y)$ – «обладнання захисними пристроями», $P(Z)$ – «професійний рівень працівників») показано на рис. 4.1.

З складених рівнянь визначаємо залежності від ймовірності різних базових подій $P_{20}(X)$, $X = P_1$; $P_{20}(Y)$, $Y = P_{12}$; $P_{20}(Z)$, $Z = P_{18}$

$$P_{20}(X) = 0,00279X + 0,0162; \quad (4.8)$$

$$P_{20}(Y) = 0,0075Y + 0,0133; \quad (4.9)$$

$$P_{20}(Z) = 0,02624Z. \quad (4.10)$$

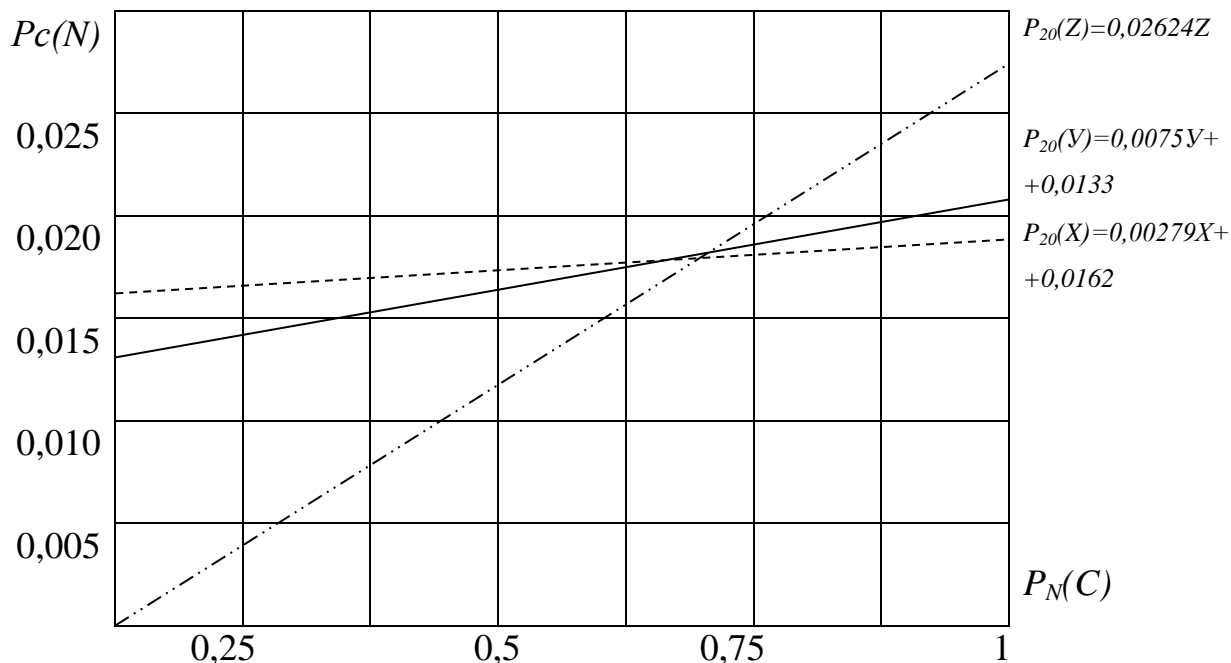


Рис. 4.1. Залежність ймовірності головної події від ймовірностей базових подій

З графіка видно, що імовірність головної події значно завищується за умов погіршення контролю ЗОП, незабезпечення захисними пристроями, низький професійний рівень.

4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

На сьогодні природно-техногенна безпеки для населення і території зумовлена зростанням втрат людей, що спричиняється небезпечними природними явищами, промисловими аваріями та катастрофами. Ризик надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру невпинно зростає, і питання захисту цивільного населення від надзвичайних ситуацій на сьогодні є дуже важливе.

Згідно із Законом “Про цивільну оборону України” за організацію цивільної оборони на підприємстві відповідає керівництво. Керівництво підприємств повинно забезпечити працівників засобами захисту (індивідуального та колективного), створювати загони для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

У системі цивільної оборони господарства необхідно забезпечити захист населення таким чином:

- інформування та організація захисту;
- можливість укриття населення у захисних спорудах;
- використання засобів індивідуального і медичного захисту;
- будівництво захисних споруд, насадження лісосмуг.

Інформування населення, яке досягається завчасним створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної, територіальних та об'єктових систем оповіщення населення.

Медичний захист проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим і їх лікування, забезпечення благополуччя в районах надзвичайних ситуацій.

Інженерний захист проводиться з метою виконання вимог із питань забудови міст, розміщення ПНО, будівлі будинків, інженерних споруд та інше.

Радіаційний та хімічний захист включає заходи по виявленню і оцінці радіаційної і хімічної обстановки, організацію та здійснення дозиметричного і хімічного контролю, розроблення типових режимів радіаційного захисту, забезпечення засобами індивідуального захисту, організацію та проведення спеціальної обробки.

Біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру та масштабів, проведення комплексу адміністративно-господарських, режимно-обмежувальних та спеціальних протиепідемічних і медичних заходів.

Висновки

1. Під час витікання сипких матеріалу з бункера виникає досить висока імовірність виникнення небезпечних ситуацій, що можуть вплинути на стан здоров'я виконавця робіт.

2. Використано методики оцінки рівня безпеки робочих місць, машин, виробничих процесів і окремих виробництв, що дали змогу оцінити рівень безпеки для конкретного об'єкта.

РОЗДІЛ 5.

ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вдосконалення машин для механізації технологічних процесів виробництв вимагає, в порівнянні з виготовленням нових машин, невеликих затрат коштів, приносить значний економічний ефект за умови збільшення ефективності роботи машини. Вдосконалення бункера для сипких матеріалів і елементів його конструкції збільшує якість процесу зберігання матеріалу та зменшує питомі енерговитрати, за таких умов показник ефективності роботи підвищується.

Економічну ефективність доцільності застосування розробленого механізму зрушувача для технологічного процесу зберігання сипких матеріалів, а також його висипання з бункера здійснимо:

- оцінювання конкурентоспроможності та технічного рівня розробленого зрушувача бункера за комплексними показниками конкурентної спроможності;
- оцінювання економічної ефективності вдосконалення існуючого технологічного обладнання для зберігання сипких матеріалів.

Розрахунки проведемо на аналізі бункера продуктивністю 40 т зерна, яке зберігається.

Економічну ефективність для модернізації обладнання, яке існує від використання запропонованого зрушувача.

Вкладення коштів визначаються за формулою:

$$K_g = K_n + K_p + K_n \quad (5.1)$$

де K_n – вкладення коштів на переоснащення бункера, грн.;

K_p – вкладення коштів на розробку і виготовлення нових елементів для нової розробки, грн.;

K_n – вкладення коштів переналадки та навчання персоналу, грн.

Вартість комплектуючих для зрушувача

№ з/п	Перелік основних матеріалів, комплект. Виробів та напів фабрикатів	Одиниці вимір.	Затрати на 1 виріб	Вартість за один виріб грн.	Витрати на осн. матеріали, комплектуючі з урахуванням витрат на транспортування*
1	Металопрокат	тони	0,025	21950	548,75
2	Електродвигун на привід зрушувача	шт	1	5952	5952
3	Пружини	шт	4	165	660
4	Кронштейни для кріплення пружин	шт	8	180	1440
5	Елементи для кріплення та стандартні елементи кріплення	шт	50	4,8	240
6	Редуктор приводу зрушувача	шт	1	1000	1000
7	Засоби для покраски поверхонь	кг	3	169	507
Всього витрат на матеріали					10347,75
Витрати на транспортно-заготівельні операції становить 3% від витрат на матеріали.					310,43
Витрати на розробку, виготовлення і придбання деталей зрушувача K_p					10658,18

Орієнтовні затрати на зрушувач складуть:

$$K_e = 10658,18 + 2360 + 2600 = 15618,18 \text{ грн.}$$

Витрати коштів на електроенергію

$$E_e = K_{zm} M_m D V_{en} \quad (5.2)$$

де K_{zm} – тривалість зміни, год;

M_m – потужність, яка затрачається, кВт;

V_{en} – ціна 1кВт електроенергії на виробництві становить 1,67 грн;

D – кількість змін роботи на рік.

За орієнтовними результатами оснащення бункера зрушувачем буде споживати 1,27 кВт,

Тоді споживання електроенергії бункером із зрушувачем

$$E_{\text{дн}} = 1,27 \cdot 2 \cdot 200 \cdot 1,67 = 848,36 \text{ грн.}$$

Споживання електроенергії для бункера без зрушувача:

$$E_{\text{см}} = 0 \text{ грн.}$$

Затрати на оплату праці обслуговуючому персоналу:

$$O_n = K_{\text{зм}} T_{\text{см}} D K_p \quad (5.3)$$

де $K_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, год;

$T_{\text{см}}$ – погодинна оплата праці становить 22,41 грн.;

K_p – необхідна кількість персоналу обслуговування бункера з зрушувачем.

Затрати на оплату праці для базової конструкції бункера:

$$O_{\text{нб}} = 22,41 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 200 = 17928 \text{ грн.}$$

Затрати на оплату праці для модернізованої конструкції бункера:

$$O_{\text{нм}} = 22,41 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 200 = 8964 \text{ грн.}$$

Економічний ефект за рік:

$$E_p = (E_{\text{см}} - E_{\text{зм}}) + (O_{\text{нб}} - O_{\text{нм}}) \quad (5.4)$$

$$E_p = (0 - 848,36) + (17928 - 8964) = 8115,64 \text{ грн}$$

Тоді термін окупності:

$$T_o = K_e / E_p \quad (5.5)$$

$$T_o = 15618,18 / 8115,64 = 1,92 \text{ роки.}$$

Енергомiсткiсть $E_{\text{уд}}$, кВт год / кг, визначимо за формулою

$$E_{\text{уд}} = \frac{\sum_{i=1}^n E}{G}, \quad (5.6)$$

де $\sum_{i=1}^n E$ – електроенергія, що споживається обладнанням, кВт/год.

Споживану енергію $\sum_{i=1}^n E$, кВт / год, можна визначити за формулою

$$\sum_{i=1}^n E = D \cdot E_{\text{см}}$$

де $E_{\text{см}}$ - електроенергія, яка споживається бункером під час виробництва продукції на добу 50 кВт/год. за умови активного вентилявання;

G – об'єм сипкого матеріалу, який зберігається, $G = 40$ т.

Тоді затрати електроенергії для аналога

$$\sum_{i=1}^n E = 50 \cdot 200 = 10000 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Затрати електроенергії для бункера з зрушувачем

$$\sum_{i=1}^n E = 51,27 \cdot 200 = 10254 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Зідси, енергомісткість для аналога

$$E_{\text{уд.ан}} = \frac{10000}{40000} = 0,25 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг},$$

та бункера з зрушувачем

$$E_{\text{уд.мод}} = \frac{10254}{40000} = 0,256 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг},$$

Значення трудомісткості зберігання сипкого матеріалу $T_{\text{уд}}$, люд·год/кг, визначиться за формулою

$$T_{\text{уд}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_n}{G} \quad (5.7)$$

де $\sum_{i=1}^n T_n$ - затрати праці під час обслуговування бункера, люд·год.

Затрати праці $\sum_{i=1}^n T_n$, люд·год, можна визначити за формулою

$$\sum_{i=1}^n T_n = T \cdot n \cdot D \quad (5.8)$$

де n – число робітників, які обслуговують бункер, люд.

Затрати праці для аналога та бункера з зрушувачем

$$\sum_{i=1}^n T_n = 2 \cdot 2 \cdot 200 = 800 \text{ люд. год.}$$

$$T_{\text{уд.ан}} = \frac{800}{40000} = 0,02 \text{ люд.} \cdot \text{год} / \text{кг}$$

$$\sum_{i=1}^n T_n = 2 \cdot 1 \cdot 200 = 400 \text{ люд. год.}$$

$$T_{\text{уд.ан}} = \frac{400}{40000} = 0,01 \text{ люд.} \cdot \text{год} / \text{кг.}$$

Визначені параметри записуємо в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2

Економічна ефективність бункера з зрушувачем

Параметр	Величина	
	Бункер з зрушувачем	аналог
Об'єм зберігання сипкого матеріалу в бункері, т	40	40
Затрати праці, люд · год./т	0,01	0,02
Енергомісткість зберігання, кВт · год./т	0,256	0,25
Затрати на оснащення бункера зрушувачем, грн./рік	15618,18	
Прибуток від застосування зрушувача в бункері, грн../рік	8115,64	
Термін окупності вкладень на оснащення бункера зрушувачем, років	1,92	

Економічне оцінювання конструкторської розробки зрушувача для бункера зберігання сипких матеріалів показала, що затрати на модернізацію складуть 15618,18 грн., а грошові надходження від застосування зрушувача в бункері складуть 8115,64 грн. за рахунок зменшення затрат праці з 0,02 до 0,01 люд.год/т. Термін окупності вкладень на оснащення бункера зрушувачем складе 1,92 року.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел, які розглядають питання транспортно-складських технологічних процесів, показав, що тривале зберігання сипких матеріалів в бункерах без втрат якості, стабільного і безперебійного вивантаження і завантаження продукції ще потребують значних вдосконалень, як технології так і обладнання. Таким чином, вдосконалення технологічного обладнання складських комплексів, які застосовуються для зберігання сипких вантажів, їх виробництва, завантаження та дозування на даний час є задачею актуальною і потребує поглибленого вивчення.

2. Аналіз методик розрахунку бункерів для сипких матеріалів дозволив обґрунтувати потребу у визначенні основних параметрів вивантаження сипкого матеріалу, тобто швидкості для гідравлічного і нормального видів вивантаження, а також яке з них забезпечить більшу точність визначення продуктивності.

3. Одержані результати дослідження з встановлення залежності характеристики кута природного відкосу сипкого матеріалу залежно від частоти обертів кулачка приводу зрушувача, дозволили підтвердити ефективність застосування у бункерах зрушувачів для зберігання матеріалів.

4. Огляд травмонебезпечних ситуацій під час зберігання і витікання матеріалу з бункера, показав, що є досить висока імовірність виникнення причин, що можуть вплинути на здоров'я і стан оператора бункера. Стан охорони праці на робочому місці експлуатації бункера, суттєво впливає на раціональне використання робочого часу, а також на продуктивність бункера.

5. Оцінка конструкторської розробки зрушувача для бункера зберігання сипких матеріалів таких, як цукор пісок, зерно пшениці, подрібнене зерно, показала, що затрати на застосування зрушувача складуть 15618,18 грн., а грошові надходження від його застосування складе 8115,64 грн. за через зменшення затрат праці з 0,02 до 0,01 люд.год / т., а термін окупності затрат на оснащення бункера зрушувачем складе 1,92 року.