Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

Кваліфікаційної роботи магістра

Магістр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

Аналіз впливу вібрацій на процеси транспортування сипких матеріалів

Виконав: студент VI курсу, групи 601-ММв
напряму підготовки (спеціальності)
133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)
Скорик Сергій Анатолійович
(прізвище та ініціали)
Керівник к.т.н доцент Нестеренко М.М.
(прізвище та ініціали)
Рецензент Молчанов П.О.
(прізвище та ініціали)

Полтава – 2024 рік

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Аналіз впливу вібрацій на процеси транспортування сипких матеріалів

Кваліфікаційна робота магістра

Лист затвердження

ГМтаМ 601ММв.019-00.00.000 МР

Технологічний контроль к.т.н., доц.
_____ О.С. Васильєв
„20” 08 2024р.

Розробив студент групи 601-ММв
_____ С.А. Скорик
„23” 08 2024р.

Нормативний контроль к.т.н., доц.
_____ О.С. Васильєв
„26” 08 2024р.

Керівник к.т.н., доц.
_____ М.М. Нестеренко
„26” 08 2024р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
галузевого машинобудування та мехатроніки
к.т.н., доц. О.В. Орисенко

Гарант ОП М.М. Нестеренко

Полтава – 2024 рік

№ рядок.	Форм.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
1					
2			*Документація загальна*		
3					
4			*Вперше розроблена*		
5					
6	*А4*	*ГМтаМ 601ММв.019-00.00.000ТЗ*	*Технічне завдання*	*1*	
7	*А4*	*ГМтаМ 601ММв.019-00.00.000А*	*Анотація*	*3*	
8	*А4*	*ГМтаМ 601ММв.019-00.00.000ПЗ*	*Пояснювальна записка*	*72*	
9					
10			*Документація наукова*		
11					
12			*Вперше розроблена*		
13					
14	*А4*	*ГМтаМ 601ММв.019-00.00.000ПМ*	*Аналіз впливу вібрацій*		
15			*на процеси*		
16			*транспортування сипких*		
17			*матеріалів*		
18			*Презентаційні матеріали*	*14*	
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ГМтаМ 601ММв.019-00.00.000ВМ		
Розроб.		Скорик		25.08	*Аналіз впливу вібрацій на процеси транспортування сипких матеріалів* <u>Відомість кваліфікаційної роботи магістра</u>	Літ.	Лист 1 / Листів 1
Перев.		Нестеренко		25.08			
Н.контр.		Васильєв		26.08		Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»	
Затв.		Орисенко		26.08			

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384

Форма № Н-9.01

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра, циклова комісія___ Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки__

Освітньо-кваліфікаційний рівень Магістр

Напрям підготовки
(шифр і назва)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач
кафедри галузевого
машинобудування та
мехатроніки
О.В. Орисенко
"20" 03 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
до кваліфікаційної роботи магістра

Скорика Сергія Анатолійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи

«Аналіз впливу вібрацій на процеси транспортування сипких матеріалів»

керівник__к.т.н., доц Нестеренко М.М.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 18.03.2024 №309-к

1. Строк подання студентом роботи 20.08.2024

2. Вихідні дані до роботи Результати практики, Інформація з науково-практичних періодичних видань України, нормативні документи тощо. Конструктивні схеми.

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1Аналіз способів та конструкцій транспортуючих машин , насипних вантажів 2 Класифікація вібраційних конвеєрів та основи наукових розрахунків 3 Визначення та порівняння різних режимів роботи

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

«Аналіз впливу вібрацій на процеси транспортування сипких матеріалів» графічні матеріали (10 листів А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 18.03.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Аналіз літературних джерел, розрахунки*	15.08.2024	
2	*Аналітичні та експериментальні дослідження*		
	робочого процесу обладнання	15.08.2024	
3	*Компонування пояснювальної записки*	15.08.2024	
4	*Здача готової роботи*	15.08.2024	

Студент _____ Сергій СКОРИ
(підпис) (П.І.Б

Керівник роботи _____ Микола НЕСТЕРЕНК
(підпис) (П.І.Б.

Гарант _____ Микола НЕСТЕРЕНК
(підпис) (П.І.Б.

Анотація

Кваліфікаційна робота магістра на тему: «Аналіз впливу вібрацій на процеси транспортування сипких матеріалів»

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття освітньо–кваліфікаційного рівня магістра за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування – Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2024

Робота складається з тьох розділів.

У магістерській роботі проведено всебічний огляд обладнання, яке використовується для транспортування та дозування насипних вантажів. У роботі описано різновиди вібраційного транспортуючого обладнання, що відрізняються конструктивними схемами та типами прикладання вимушуючої сили.

В теоретичній частині розглянуто методику підбору оптимальних режимів роботи вібраційного обладнання. Зокрема, розраховані параметри для різних режимів роботи з урахуванням зміни частоти коливання та амплітуди переміщення робочої поверхні.

Експериментальне дослідження, проведене на вібраційному конвеєрі для транспортування піску з вологістю 10%, показало, що оптимізація амплітуди і частоти вібрацій має критичне значення для підвищення ефективності транспортування сипких матеріалів. Правильний підбір параметрів вібрацій забезпечує максимальну швидкість транспортування, зменшення енергетичних витрат і підвищення загальної продуктивності системи. Результати підтверджують важливість точного налаштування вібраційного обладнання для досягнення високої ефективності в промислових умовах і можуть бути використані для вдосконалення технологій транспортування сипких матеріалів.

Ключові слова: вібраційне обладнання, транспортування насипних вантажів, оптимізація режимів роботи, частота коливання, амплітуда вібрацій

					ГМтаМ 601ММв.019-00.00.000 А		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.		Скорик		23.08	Анотація	Літ.	Лист	Листів
Перев.		Нестеренко		23.08		Н		
Керівн.						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Н. контр.		Васильєв		26.08				
Затв.		Орисенко		26.08				

Annotation

Master's Qualification Thesis

Title: "Analysis of the impact of vibrations on the bulk material transportation processes"

Qualification: Master's Degree in Industrial Engineering, National University "Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk," Poltava, 2024

The thesis is structured into three sections.

This master's thesis provides a comprehensive review of equipment used for transporting and dosing bulk materials. It describes different types of vibratory conveying equipment, which vary in construction schemes and types of applied forcing forces.

The theoretical part explores the methodology for selecting optimal operating modes of vibratory equipment. Specifically, it calculates parameters for various operating modes considering changes in vibration frequency and amplitude of the working surface movement.

An experimental study conducted on a vibratory conveyor for transporting sand with 10% moisture showed that optimizing the amplitude and frequency of vibrations is critical for improving the efficiency of bulk material transportation. Proper parameter selection for vibrations ensures maximum transportation speed, reduced energy consumption, and increased overall system productivity. The results underscore the importance of precise adjustment of vibratory equipment to achieve high efficiency in industrial conditions and can be used to improve bulk material transportation technologies.

Keywords: vibratory equipment, bulk material transportation, optimization of operating modes, vibration frequency, vibration amplitude

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Аналіз впливу вібрацій на процеси транспортування сипких матеріалів

Пояснювальна записка

Кваліфікаційної роботи магістра

ГМтаМ 601ММв.019-00.00.000 ПЗ

Полтава – 2024рік

Зміст

Вступ 3

Розділ 1: Аналіз способів та конструкцій транспортуючих машин , насипних вантажів 5

1.1 Огляд обладнання для транспортування сипучих мас 5

1.2 Структурні схеми та класифікація вібраційних транспортуючих машин 10

Розділ 2: Класифікація вібраційних конвеєрів та основи наукових розрахунків 25

2.1 Класифікація вібраційних конвеєрів 25

2.2 Основи наукових розрахунків 31

Риозділ 3 Визначення та порівняння різних режимів роботи 49

ВИСНОВКИ 55

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 56

Додатки Презентаційні матеріали за темою «Аналіз впливу вібрацій на процеси транспортування сипких матеріалів»

»

					ГМіМ.601ММв.019-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.		Скорик		29.08	Зміст	Літ.	Лист 2 / Листів
Перев.		Нестеренко		27.08			
Керівник						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»	
Н. контр.		Васильєв		2907			
Затв.		Орисенко		2908			

Вступ

На будь-яких сучасних виробництвах завжди існує необхідність транспортування виробничих об'єктів як на території підприємства, так і всередині цехів. У прагненні збільшити обсяг та якість продукції, яку випускають, у різних галузях харчової промисловості постійно зростають темпи виробництва. Будь-який розвиток вимагає, перш за все, енергетичних витрат, і з кожним роком потреби в електроенергії зростають. За існуючих умов національної економіки України та в контексті інтеграції з Європейським Союзом, можна очікувати виникнення серйозної енергетичної проблеми. Важливим аспектом розвитку промисловості є впровадження концепції Індустрії 4.0, яка спрямована на автоматизацію та цифровізацію виробничих процесів. Вібраційні транспортуючі машини мають значні переваги перед багатьма іншими видами транспортуючих пристроїв [1-20]. Ці переваги включають простоту конструктивного виконання та мінімальну кількість пар тертя. Крім того, вони забезпечують зручність обслуговування та можливість герметизації робочого органу. Вібраційні транспортири дозволяють поєднувати транспортування з різними технологічними процесами. Вони також здатні переміщати продукти, які складно транспортувати іншими методами. Іншою перевагою є можливість безперервного транспортування з максимальною оптимальною довжиною на один привід. Також існує можливість проміжного завантаження та розвантаження конвеєра. Вібраційні транспортири мають малі габарити по висоті та невелику питому витрату енергії на переміщення вантажу. Крім цього, можливо створення збалансованих конструкцій, які не передають коливання на фундамент. Тривалий термін експлуатації також є значущою перевагою цих машин. Вибір обладнання на виробництвах України здійснюється з урахуванням

собівартості, продуктивності, габаритних розмірів, енергоспоживання тощо. З огляду на вищесказане та вимоги Індустрії 4.0, виникає необхідність створення нових конструкцій вібраційних транспортерів із раціональними режимами та параметрами роботи. Розробка конструкцій машин зі ступінчастою поверхнею робочого органу, що здійснює гармонічні коливання у горизонтальній площині та працює з меншим енергоспоживанням, сприятиме підвищенню продуктивності та зниженню собівартості. Це також допоможе Україні відповідати стандартам Європейського Союзу та забезпечити конкурентоспроможність на міжнародному ринку. Впровадження таких технологій відповідає вимогам сталого розвитку та енергозбереження, що є пріоритетом як для України, так і для Європейського Союзу.

Розділ 1: Аналіз способів та конструкцій транспортуючих машин , насипних вантажів

1.1 Огляд обладнання для транспортування сипучих мас

Транспортування сипучих мас здійснюється двома основними методами: конвеєрним і пневмотранспортом. Для конвеєрного транспортування сипучих продуктів використовуються стрічкові, скребкові, ковшові, гвинтові, інерційні, вібраційні та гравітаційні транспортери, тоді як пневмотранспортування здійснюється за допомогою спеціальних установок [3, 4, 6, 8].

Стрічкові конвеєри здобули велику популярність завдяки своїй універсальності. Вони використовуються для транспортування вантажів по горизонтальних та комбінованих трасах і представляють собою безперервно рухому стрічку. В залежності від типу роликоопор стрічка може мати плоску або жолобчасту форму. Необхідне натягнення стрічки забезпечується натяжною станцією. Для забезпечення нормальної роботи стрічкові конвеєри оснащуються допоміжним обладнанням, таким як завантажувальні, центрирувальні та очищувальні пристрої, засоби контролю пробуксовки, цілісності та обриву стрічки, системи пилопридушення та автоматичного управління.

Популярність стрічкових конвеєрів обумовлена їх високою продуктивністю, простотою конструкції, низькими енерговитратами та надійністю. Однак, основними недоліками є високе опір руху стрічки на опорних роликах, що призводить до підвищення енергоємності транспортування та зниження терміну служби.

Крім того, використання стрічкових конвеєрів ускладнюється при транспортуванні пилоподібних, гарячих і важких штучних вантажів, а також на трасах з кутом нахилу більше 18-20°.

Скребкові конвеєри переміщують вантажі за допомогою скребків, що рухаються по жолобу або трубі. Вони можуть завантажуватися і розвантажуватися в будь-якій точці по довжині жолоба, але їх використання обмежене через подрібнення вантажів, швидкий знос жолоба і високу витрату енергії. Швидкість робочого органу скребкових конвеєрів становить 0,16-0,5 м/с, а продуктивність — 50-350 т/годину.

Скребкові конвеєри зазвичай застосовуються для переміщення вантажів на відстані до 100 метрів. Вони ефективні на коротких дистанціях, але їх використання обмежене через подрібнення вантажів і швидкий знос жолобів. Гвинтові конвеєри, навпаки, призначені для транспортування вантажів на відстані до 40 метрів [2, 8]. Основна перевага гвинтових конвеєрів полягає в простоті конструкції та обслуговування, а також у герметичності траси, що забезпечує захист від пилоутворюючих і агресивних матеріалів.

Існують різні види гвинтових конвеєрів, серед яких напільні та підвісні конструкції. Напільні можуть бути стаціонарними, пересувними або переносними. Гнучкий гвинтовий конвеєр (безвальний) є альтернативою традиційному шнековому конвеєру з внутрішнім валом. У цьому випадку матеріал транспортується за допомогою спіралі без внутрішнього вала, що ковзає по поверхні лотка з високою зносостійкістю.

Такий конвеєр здатен забезпечити пропускну здатність до 25 м³/год при максимальному куті нахилу траси до 90° і довжині прямої траси до 25 метрів. Він ідеально підходить для транспортування матеріалів, що мають тенденцію до утворення закупорок або містять сторонні включення. Конструкція без внутрішніх опор дозволяє уникнути заторів, а повністю закритий корпус запобігає витоку матеріалу і проникненню зовнішніх речовин.

Гвинтові конвеєри часто застосовуються як дозатори матеріалів у технологічних процесах, забезпечуючи точне дозування та контроль над транспортованими матеріалами. Мінімальні вимоги до технічного обслуговування та широкий вибір покриттів дозволяють використовувати ці конвеєри в умовах різноманітних виробництв. Завдяки своїй надійності та ефективності, гвинтові конвеєри є незамінними в сучасних виробничих процесах, особливо в умовах впровадження концепцій Індустрії 4.0, що спрямовані на автоматизацію та оптимізацію виробничих систем.

Основним недоліком гвинтових транспортерів є додаткове обертання матеріалу навколо осі шнека, що підвищує енергоспоживання, знижує ефективність транспортування та, у деяких випадках, може негативно вплинути на властивості транспортованого вантажу [1, 2, 5].

Ковшові елеватори, що працюють на основі безперервного циклу, призначені для вертикального переміщення сипких матеріалів різної грануляції [3, 4, 6]. Рекомендується використовувати стрічкові елеватори для транспортування дрібних фракцій (0-5 мм), а для більш грубих матеріалів (5-30 мм) застосовуються ланцюгові механізми. Основні компоненти ковшового елеватора включають металеву раму з горизонтальними та вертикальними напрямними, зірочки для приводу та натягування, а також ковші, які можуть бути завантажені в будь-якому місці нижнього горизонтального сегменту конструкції [7].

Переваги ковшових елеваторів включають простоту конструкції та можливість транспортування матеріалів різної грануляції на значну висоту [8]. Однак, їх недоліками є невідповідність фактичної та номінальної продуктивності через втрати на приймальних та перевантажувальних пунктах, що призводить до підвищення енерговитрат. Також важливо враховувати підвищену запиленість та можливі втрати матеріалу під час транспортування [9].

Інерційні конвеєри використовуються для транспортування сипучих матеріалів на короткі відстані, як у горизонтальному, так і у нахиленому до 20° напрямку [10, 11, 12]. Принцип дії цих конвеєрів базується на використанні сили інерції, завдяки якій матеріал ковзає або здійснює короткі польоти над вантажонесучою поверхнею. Інерційні конвеєри поділяються на два основні типи: хитні, що характеризуються великими амплітудами коливань при низькій частоті, та вібраційні, які мають меншу амплітуду, але працюють на вищій частоті [13].

У базовій моделі хитного конвеєра жолоб закріплений на пружних стійках, які забезпечують змінний кут нахилу під час роботи, а рух забезпечується за допомогою кривошипного механізму, що приводиться в дію електродвигуном [14, 15]. Цей механізм дозволяє вантажу поступово просуватися вперед під дією змінного тиску під час руху жолоба.

На вібраційному конвеєрі вантажу надаються асиметричні коливання. Унаслідок плавного підйому труби конвеєра та різкого опускання, відбувається відрив часток матеріалу від поверхні труби та їх переміщення вздовж неї. Продуктивність вібраційних конвеєрів варіюється від кількох центнерів до кількох сотень тонн на годину, з максимальною довжиною траси до 100 метрів [1, 2, 3]. Спеціалізовані типи вібраційних конвеєрів також використовуються для підйому вантажів.

Основні переваги вібраційних конвеєрів, які забезпечують їх ефективне використання в промисловості, включають: відсутність дроблення матеріалу під час транспортування; мінімальний знос вантажонесучих елементів; простоту конструкції; майже повну відсутність деталей, що труться і швидко зношуються; легкість в обслуговуванні та експлуатації; низьку енергоємність; безпеку роботи; можливість завантаження та розвантаження в будь-якій точці конвеєра, а також підвищену ефективність при транспортуванні на похилих ділянках [4, 5]. Вибір вібраційного конвеєра визначається низкою факторів,

зокрема типом матеріалу, умовами експлуатації та вимогами до продуктивності.

На підприємствах, де відбувається транспортування матеріалів, що пиляться, вібраційні конвеєри в герметичному виконанні часто є найбільш раціональним рішенням, яке забезпечує безпечні та комфортні умови праці для обслуговуючого персоналу [6].

Вібраційний транспорт виявляється доцільним для переміщення високоабразивних, гарячих, корозійних та інших агресивних матеріалів. Принцип його роботи та конструктивні рішення, з одного боку, забезпечують низький рівень зносу робочих органів, а з іншого — дозволяють приймати спеціальні заходи, такі як встановлення охолоджувальних кожухів та використання зносостійких покриттів [1, 2]. Матеріали, що транспортуються вібраційними конвеєрами, можуть мати різноманітний гранулометричний склад: від дрібнодисперсних (з розміром зерна в межах десятків мікрон) до великих шматків (діаметром понад 1 м), а також штучні вироби.

Однією з переваг є простота автоматизації процесу, тобто регулювання режиму транспортування (швидкість руху, інтенсивність підкидання матеріалу тощо) відповідно до процесів сушіння або охолодження. На кондитерських фабриках, оптових складах харчової промисловості вібраційні конвеєри використовують у програмованих системах для дозованої подачі компонентів [3]. Крім того, можливе суміщення технологічних процесів із одночасним переміщенням матеріалу.

Вібраційні конвеєри використовуються для транспортування на короткі відстані (не більше 200 м). Найбільш доцільно їх застосовувати для транспортування на відстані до 50 м, оскільки в цьому випадку можна використовувати простіші за конструкцією та надійніші в експлуатації одноприводні транспортні системи [4, 5].

Важливим фактором є також напрямок транспортування. Наприклад, вібраційні конвеєри зі спіральним жолобом при переміщенні вантажів

зокрема типом матеріалу, умовами експлуатації та вимогами до продуктивності.

На підприємствах, де відбувається транспортування матеріалів, що пиляться, вібраційні конвеєри в герметичному виконанні часто є найбільш раціональним рішенням, яке забезпечує безпечні та комфортні умови праці для обслуговуючого персоналу [6].

Вібраційний транспорт виявляється доцільним для переміщення високоабразивних, гарячих, корозійних та інших агресивних матеріалів. Принцип його роботи та конструктивні рішення, з одного боку, забезпечують низький рівень зносу робочих органів, а з іншого — дозволяють приймати спеціальні заходи, такі як встановлення охолоджувальних кожухів та використання зносостійких покриттів [1, 2]. Матеріали, що транспортуються вібраційними конвеєрами, можуть мати різноманітний гранулометричний склад: від дрібнодисперсних (з розміром зерна в межах десятків мікрон) до великих шматків (діаметром понад 1 м), а також штучні вироби.

Однією з переваг є простота автоматизації процесу, тобто регулювання режиму транспортування (швидкість руху, інтенсивність підкидання матеріалу тощо) відповідно до процесів сушіння або охолодження. На кондитерських фабриках, оптових складах харчової промисловості вібраційні конвеєри використовують у програмованих системах для дозованої подачі компонентів [3]. Крім того, можливе суміщення технологічних процесів із одночасним переміщенням матеріалу.

Вібраційні конвеєри використовуються для транспортування на короткі відстані (не більше 200 м). Найбільш доцільно їх застосовувати для транспортування на відстані до 50 м, оскільки в цьому випадку можна використовувати простіші за конструкцією та надійніші в експлуатації одноприводні транспортні системи [4, 5].

Важливим фактором є також напрямок транспортування. Наприклад, вібраційні конвеєри зі спіральним жолобом при переміщенні вантажів

вертикально вгору на невелику висоту (до 12 м на один привод) у деяких випадках успішно конкурують з елеваторами та іншими установками для вертикального транспортування. У випадках, коли необхідно змінити напрямок транспортування, можна використовувати лише вібраційні конвеєри, які допускають реверсування (електромагнітні та збалансовані з ексцентриковим приводом) [6].

На основі перелічених переваг для подальших досліджень було обрано вібраційний конвеєр як найбільш перспективний варіант.

1.2 Структурні схеми та класифікація вібраційних транспортуючих машин

При розгляді основних структурних схем вібраційних транспортуючих машин, як характерні ознаки розглядаються кількість ступенів свободи динамічної системи вібраційної машини, тип приводу та характеристика пружних зв'язків [1]. З огляду на те, що принципові особливості вібраційних транспортуючих машин значною мірою визначаються типом використовуваного приводу, структурні схеми аналізуються стосовно електромагнітних, пневматичних, центробіжних, ексцентрикових та гідравлічних приводів.

Електромагнітні вібраційні транспортуючі машини, відповідно до кількості приводів, поділяються на одно- та багатоприводні [2]. Одноприводні машини можуть бути одномасовими, двомасовими та тримасовими, багатоприводні – одномасовими та багатомасовими. Структурна схема одномасової електромагнітної вібраційної транспортуючої машини зображена на рис. 1.1, а. До вантажонесучого органу 1 жорстко прикріплена активна частина 2 електромагнітного вібровозбуджувача. Пружні зв'язки 3 з'єднують активну частину з реактивною частиною 4, яка нерухомо закріплена на

фундаменті. Коливання вантажонесучого органу збуджуються та підтримуються електромагнітним вібровозбуджувачем.

У вібраційної транспортуючої машини двомасової системи (рис. 1.1, б) до вантажонесучого органу 1 прикріплений електромагнітний вібровозбуджувач, що складається з активної 2 та реактивної 4 частин зі вбудованими пружними зв'язками 3. Від несучих конструкцій вібромашина ізольована за допомогою віброзахисників 5.

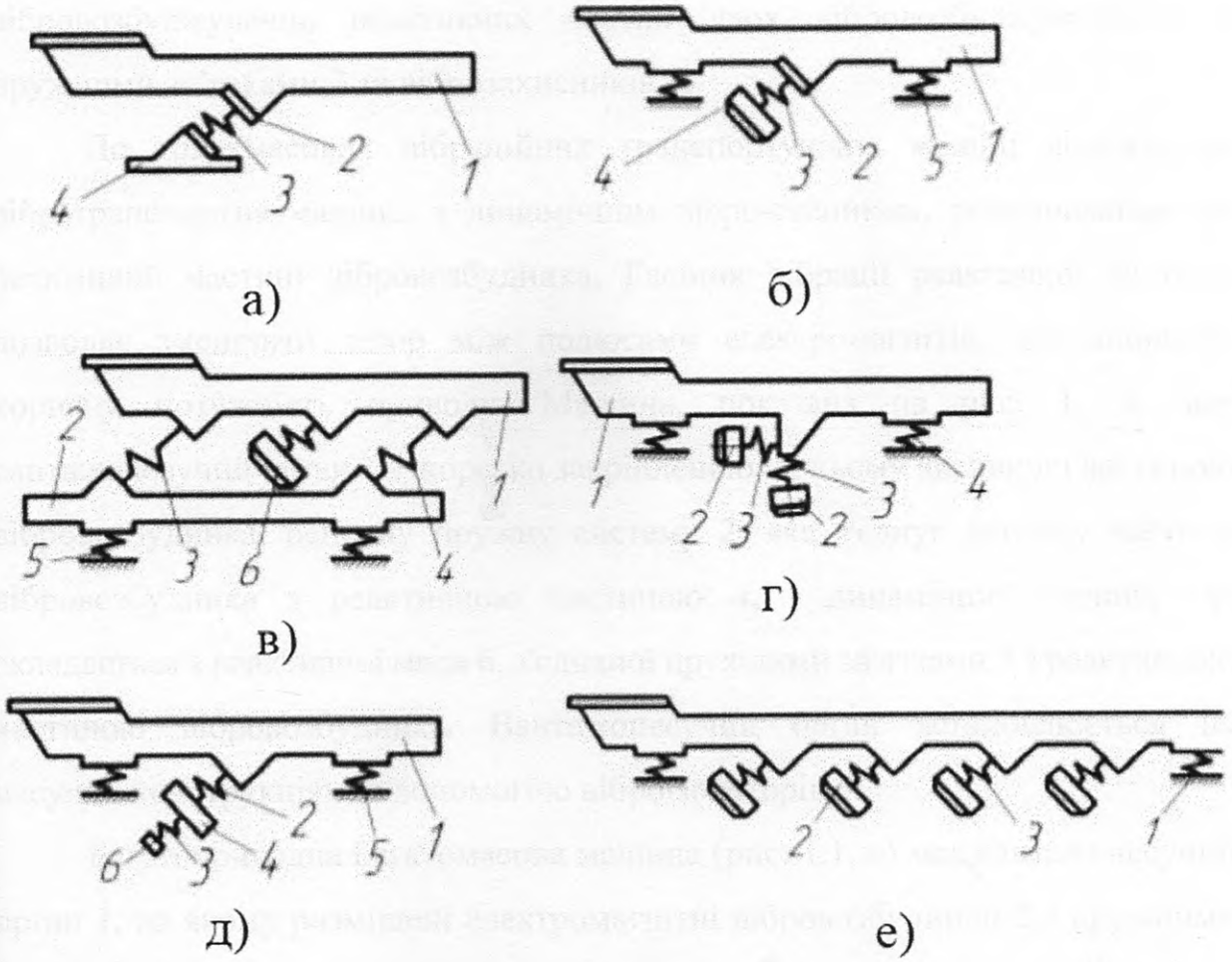


Рисунок 1.1 – Структурні схеми вібраційних транспортуючих машин з електромагнітним віброприводом

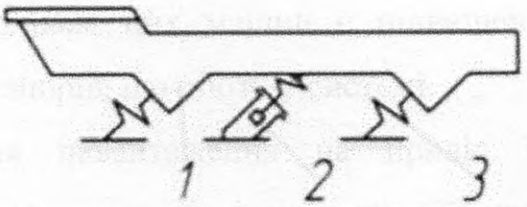
Одноприводна тримасова електромагнітна вібраційна транспортуюча машина (рис. 1.1, в) складається з вантажонесучого органу 1 з активною частиною вібровозбуджувача, реактивної частини вібровозбуджувача 6 з пружними зв'язками, реактивної маси 2, допоміжних робочих пружних зв'язків 3 та 4, а також віброзахисників 5. Для реверсування напрямку транспортування використовується спеціальний привод, що складається з двох вібровозбуджувачів, напрямки коливань яких взаємно перпендикулярні. Реверсивна вібраційна транспортуюча машина (рис. 1.1, г) складається з вантажонесучого органу 1 з жорстко закріпленими активними частинами вібровозбуджувачів, реактивних частин двох вібровозбуджувачів 2 з пружними зв'язками 3 та віброзахисників 4.

До трьохмасових вібраційних транспортуючих машин відноситься вібратранспортна машина з динамічним вібро-гасником, розташованим на реактивній частині вібровозбудника. Гасіння вібрації реактивної частини дозволяє зменшити зазор між полюсами електромагнітів, що підвищує корисну потужність приводу. Машина, показана на рис. 1, д, має вантажонесучий орган 1 з жорстко закріпленою на ньому активною частиною вібровозбудника, основну пружну систему 2, яка з'єднує активну частину вібровозбудника з реактивною частиною 4, і динамічний гасник, що складається з реактивної маси 6, з'єднаної пружними зв'язками 3 з реактивною частиною вібровозбудника. Вантажонесучий орган встановлюється на несучих конструкціях за допомогою віброізоляторів 5.

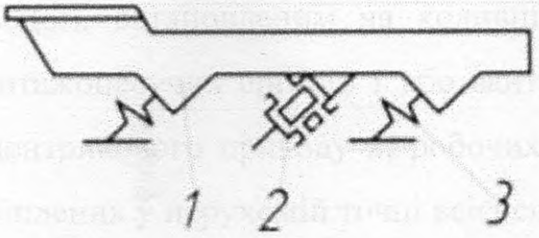
Багатоприводна багатомасова машина (рис. 1.1, е) має вантажонесучий орган 1, на якому розміщені електромагнітні вібровозбудники 2 з пружними зв'язками 3.

Пневматичні вібраційні транспортуючі машини (рис. 1.2) характеризуються обмеженим числом типів і зазвичай виконуються одноприводними, оскільки існуючі конструкції пневматичних вібровозбудників не забезпечують можливості синхронізації їх роботи [20].

Одномасова машина з вібровозбудником (рис. 1.2, а) має вантажонесучий орган 1, якому передають силові імпульси пневматичний вібровозбудник 2, встановлений на фундаменті, і пружні зв'язки 3. Для вантажонесучого органу 1 двомасової вібраційної транспортуючої машини (рис. 1.2, б) жорстко прикріплений поршневий пневматичний вібровозбудник, що складається з активної частини 3 (циліндра) і реактивної частини 2 (поршня). Поршень під тиском стиснутого повітря здійснює возвратно-поступальні рухи.



а)



б)

а) Одномасова пневматична вібраційна машина з поршневим вібровозбудником.б) Двомасова пневматична вібраційна машина з поршневим вібровозбудником.

Рисунок 1.2 – Структурні схеми вібраційних транспортуючих машин з пневматичним віброприводом

Ексцентрикові транспортуючі машини оснащені приводом, що містить пружний елемент, який забезпечує необхідну рухливість динамічної системи (рис. 1.3), а також зменшує збурюючі сили. Структурні схеми вібраційних

транспортуючих машин із гідравлічним приводом аналогічні схемам машин із ексцентриковим приводом.

Одномасова вібраційна транспортуюча машина (рис. 1.3, а) складається з вантажонесучого органу 1, встановленого на фундаменті 2 за допомогою пружних зв'язків 3. Коливання вантажонесучому органу передаються за допомогою ексцентрикового приводу 4 із пружним шатуном. Машини цього типу відзначаються конструктивною простотою, проте через відсутність балансування інерційних сил коливних частин їхній привід зазнає впливу значних динамічних навантажень.

Ще одним недоліком цих машин є підвищений витрат енергії на подолання шкідливих опорів, що діють у системі.

Для полегшення навантаження на привід і усунення передачі динамічних навантажень на опорні конструкції застосовують резонансні врівноважені вібромашини. Машина, закріплена в нерухомій точці системи з ексцентриковим приводом, встановленим на коливній масі (рис. 1.3, б), складається з двох вантажонесучих органів 1 або вантажонесучого органу і реактивної маси; ексцентрикового приводу 2; робочих пружних зв'язків 3 і опорних стійок 4, закріплених у нерухомій точці всієї системи.

Найбільш поширеними є резонансні врівноважені двомасові машини. Віброізольована двомасова машина з паралельним розташуванням коливних мас (рис. 1.3, б) складається з вантажонесучого органу 1 і реактивної маси 2, розташованих один навпроти одного; ексцентрикового приводу 4 з пружним шатуном; робочих пружних зв'язків 3 і віброізоляторів 5.

У двомасовій машині з послідовним розташуванням коливних мас (рис. 1.3, г) вантажонесучі органи 1 розташовані один за одним. Ексцентриковий вібропривод 2 передає їм силові імпульси, спрямовані в протилежні сторони, через що вантажонесучі органи, встановлені на фундаменті на пружних зв'язках 3, коливаються в протифазі, що забезпечує врівноважування горизонтальних складових сил інерції.

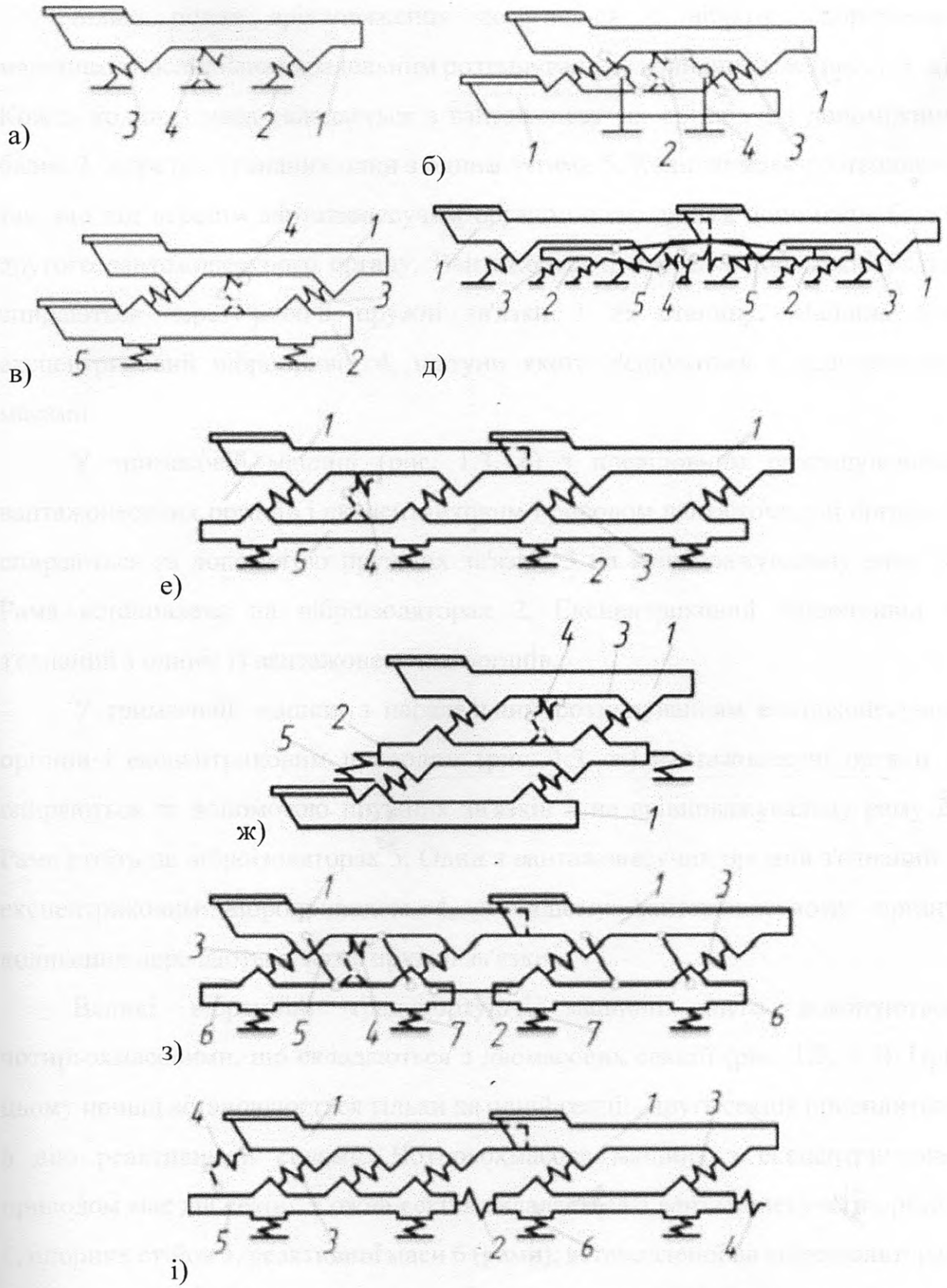


Рисунок 1.3 – Структурні схеми вібраційних транспортуючих машин з ексцентриковим віброприводом

Більш повне врівноваження досягається у вібротранспортуючих машинах з послідовно-паралельним розташуванням коливних мас (рис. 1.3, д). Кожна коливна маса складається з вантажонесучих органів 1 і допоміжних балок 2, жорстко з'єднаних один з одним тягами 5. Коливні маси розташовані так, що під першим вантажонесучим органом знаходиться допоміжна балка другого вантажонесучого органу. Вантажонесучі органи і допоміжні балки спираються через робочі пружні зв'язки 3 на станину. Машина має ексцентриковий вібропривід 4, шатуни якого з'єднуються з реактивними масами.

У тримасовій машині (рис. 1.3, е) з послідовним розташуванням вантажонесучих органів і ексцентриковим приводом вантажонесучі органи 1 спираються за допомогою пружних зв'язків 3 на врівноважувальну раму 5. Рама встановлена на віброізоляторах 2. Ексцентриковий вібропривід 4 з'єднаний з одним із вантажонесучих органів.

У тримасовій машині з паралельним розташуванням вантажонесучих органів і ексцентриковим приводом (рис. 1.3, ж) вантажонесучі органи 1 спираються за допомогою пружних зв'язків 3 на врівноважувальну раму 2. Рама стоїть на віброізоляторах 5. Один з вантажонесучих органів з'єднаний з ексцентриковим віброприводом 4, а іншому вантажонесучому органу коливання передаються через пружні зв'язки.

Великі вібраційні транспортуючі машини часто виконуються чотирьохмасовими, що складаються з двомасових секцій (рис. 1.3, з, і). При цьому привід встановлюється тільки на одній секції. Друга секція приводиться в дію реактивними силами. Чотирьохмасова машина з ексцентриковим приводом має дві секції. Кожна секція складається з вантажонесучого органу 1, опорних стійок 5, реактивної маси 6 (рами), встановленої на віброізоляторах 7, і робочих пружних зв'язків 3, рами обох секцій з'єднані між собою за допомогою жорсткої (рис. 1.3, з) або пружної (рис. 1.3, і) з'єднувальної тяги 2. Ексцентриковий вібропривід 4 встановлений на одній із секцій.

Перевагою вібраційних транспортуючих машин, виконаних за даною структурною схемою, є можливість створення установок значної довжини. Система допускає просту передачу збурюючої сили через з'єднувальну тягу.

У центробіжних вібраційних машинах (рис. 1.4) використовуються приводи з направленою прямолінійною та обертальною збурюючою силою. В одномасовій одноприводній вібраційно-транспортуючій машині (рис. 1.4, а) вантажонесучий орган 1 встановлений на фундаменті за допомогою пружних зв'язків 2. Коливання вантажонесучому органу передаються центробіжним вібровозбудником 3.

Одномасова вібраційно-транспортуюча машина з центробіжним віброприводом, яка спирається в нерухомих точках системи (рис. 1.4, б), складається з двох вантажонесучих органів 1, з'єднаних між собою пружними зв'язками 2 та корпусом центробіжного вібровозбудника 3. Опора системи в нерухомих точках на несучу раму може здійснюватися або безпосередньо, або через віброзолятори.

Двомасова центробіжна транспортуюча машина (рис. 1.4, в) має вантажонесучий орган 1, вібровозбудник 3, робочі пружні зв'язки 2 та віброзолятори 4. У ролі реактивної маси може виступати спеціальна важка рама 5 або вібровозбудник. Конструювання вібраційних транспортуючих машин за двомасовою структурною схемою відкриває великі можливості для створення резонансних установок з віброзоляцією та динамічного врівноваження коливних мас.

У тримасовій вібраційно-транспортуючій машині з центробіжним віброприводом (рис. 1.4, г) вантажонесучі органи 1 спираються за допомогою пружних зв'язків 2 на несучу раму 5. Рама встановлена на віброзоляторах 4. Привід вібромашини здійснюється вібровозбудником 3, жорстко закріпленим на несучій рамі.

Багатомасова машина (рис. 1.4, д) має несучу раму 5, на якій за допомогою пружних зв'язків 2 розміщений вантажонесучий орган 1. Рама

встановлена на віброзоляторах 4, а привід здійснюється самосинхронізуючимися вібровозбудниками 3.

Багатомасова машина (рис. 1.4, е) має вантажонесучий орган 1, якому центробіжним вібровозбудником 3 з прямолінійно спрямованою збурюючою силою передаються поздовжні коливання. Вібраційно-транспортуюча машина спирається на фундамент за допомогою віброзоляторів пружних зв'язків 2. Для додання вантажонесучому органу коливань під кутом до його поздовжньої осі, уздовж нього на ресорах 4 встановлені реактивні маси 5 з пружними зв'язками 6.

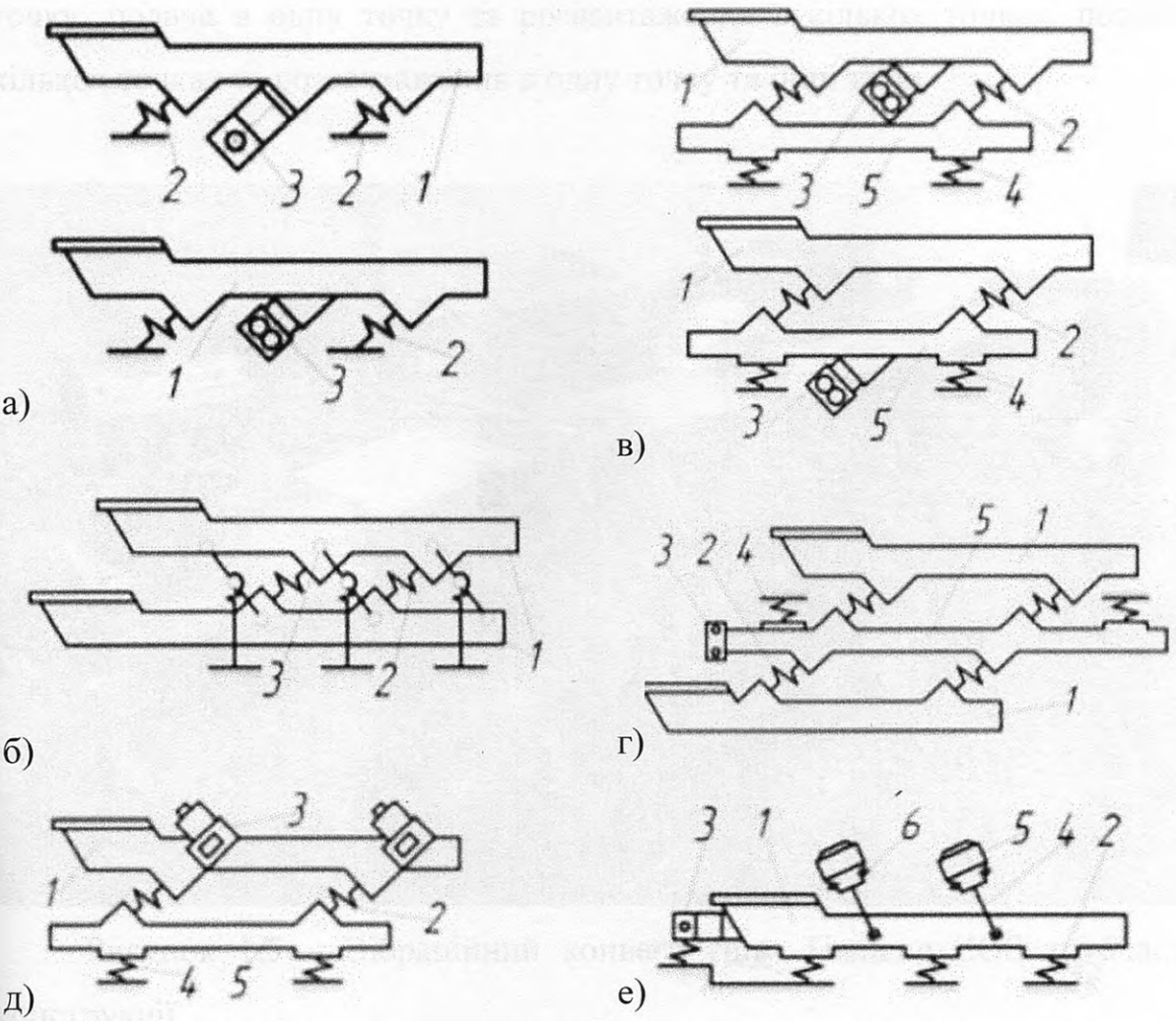


Рисунок 1.4 –Схеми вібраційних транспортуючих машин з віброзбуджувачем.

1.3 Огляд конструкцій вібраційних конвеєрів які експлуатуються на виробничих потужностях

Трубчастий вібраційний конвеєр типу Tianfeng ZGS (рисунок 1.5) оснащений відкритим та закритим вібраційним лотком. Поперечний переріз жолоба завантажувального бака може мати форму кола, прямокутника, трапеції та інших типів. Відповідно до потреб клієнтів, подача та розвантаження трубчастого вібраційного конвеєра типу ZGS можуть бути розраховані на різні типи, такі як подача в одну точку та розвантаження в одну точку, подача в одну точку та розвантаження в кількох точках, подача в кількох точках та розвантаження в одну точку та інші типи.

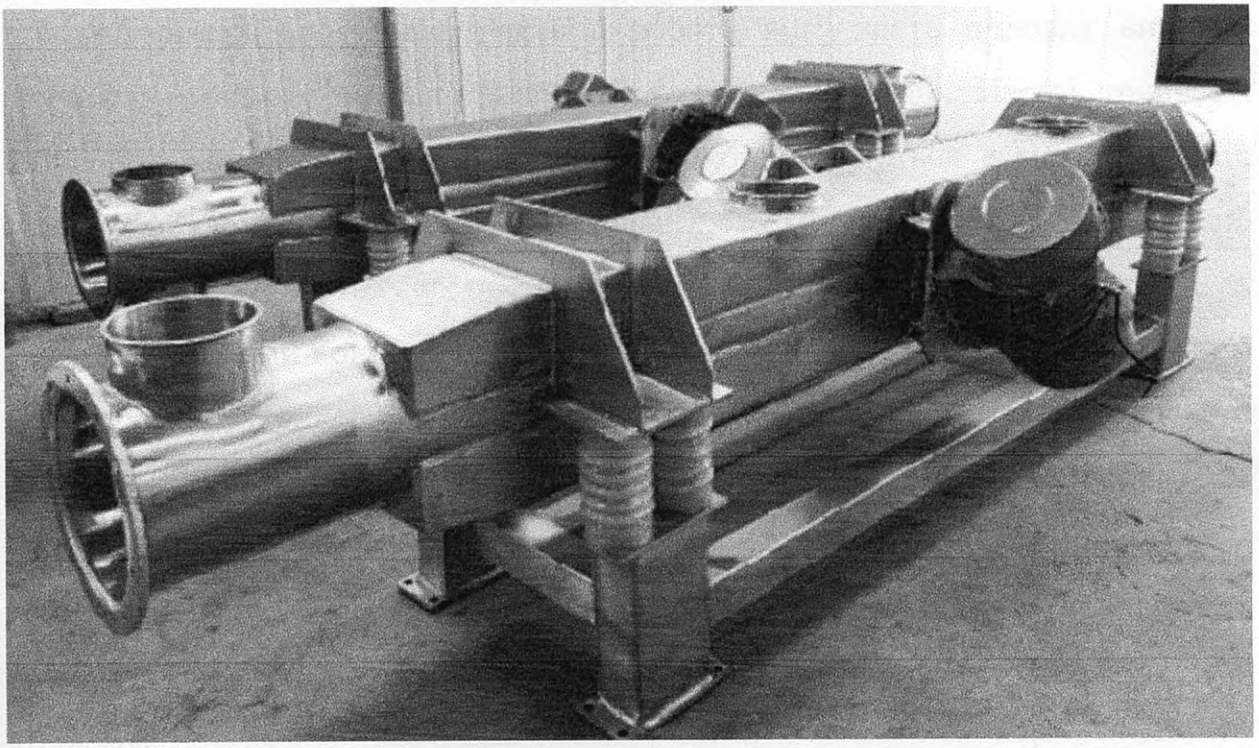


Рисунок 1.5 – Вібраційний конвеєр типу Tianfeng ZGS трубчастоъ конструкції

Трубчастий вібраційний конвеєр можна підключити до інших конвеєрів для транспортування на більші відстані. Резервуар для матеріалу опирається

на гумову пружину або сталеву пружину. Лінійна вібрація резервуара для матеріалів генерується синхронним рухом двох вібраційних двигунів, закріплених на резервуарі для матеріалів. Трубчастий вібраційний конвеєр працює в зоні резонансу, тому амплітуда сигналу стабільна, і матеріал можна транспортувати рівномірно.

Трубчастий вібраційний конвеєр серії Tianfeng ZGS використовує вібрацію резервуара для швидкого транспортування матеріалів від вхідного до вихідного отвору. Трубчастий вібраційний конвеєр може застосовуватися для транспортування блокових, гранульованих або порошкоподібних матеріалів. Він підходить для роботи з будь-якими матеріалами, незалежно від їхньої температури – як кімнатної, так і високої. Трубчастий вібраційний конвеєр серії Tianfeng ZGS має ряд переваг, серед яких простота конструкції, мала вага, низький рівень шуму, надійність в роботі, відсутність пилових викидів, зручність монтажу та технічного обслуговування тощо. Наразі трубчасті вібраційні конвеєри цієї серії широко використовуються в металургійній, гірничодобувній, вугільній, будівельній, хімічній, зерновій, скляній, керамічній та інших галузях промисловості.

Вібраційний конвеєр серії ZPS (рисунок 1.6) є ротаційним вібраційним конвеєром. Він використовує двигун як джерело вібрації для одночасного підйому та переміщення матеріалів вперед з метою їх транспортування. Конвеєр може бути виконаний у відкритому або закритому типі. Режими транспортування поділяються на конвеєрний і безперервний конвеєрний. Двигун може бути розташований у верхній, нижній або бічній частині конвеєра.

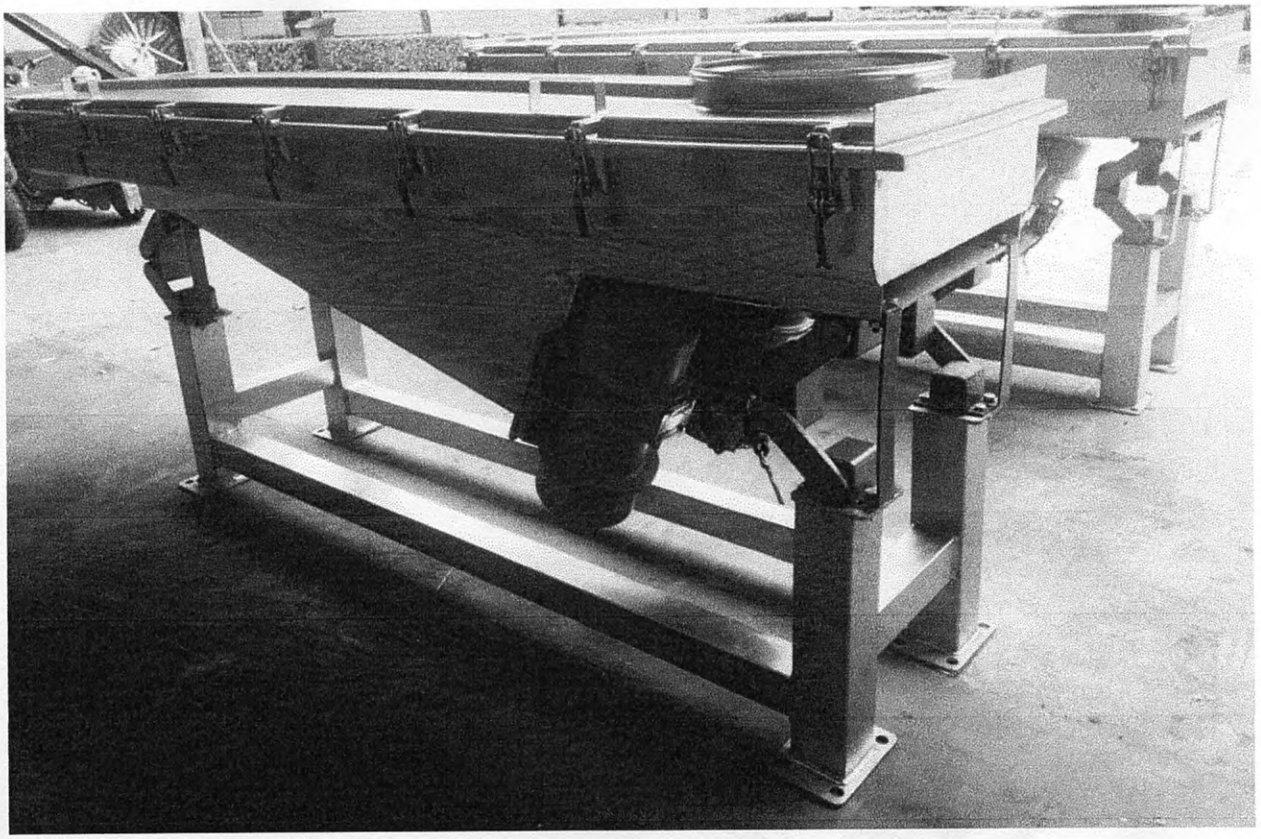


Рисунок 1.6 – Вібраційний конвеєр серії ZPS

Вібраційний конвеєр КВ-08 (рисунок 1.7) призначений для транспортування сипучих матеріалів (крім липких та тонкодисперсних пилоподібних вантажів, таких як цемент) по горизонтальних та похилих трасах при куті нахилу транспортуючого лотка в діапазоні від 0° до 50° вгору та до 100° вниз.

Конвеєр складається з наступних складових частин: корпус конвеєра в зборі з футеровкою; рама; опори; мотор-вібратори; осцилюючі опори; кріплення для з'єднання складових частин конвеєра; шафа управління.

Це обладнання використовується на підприємствах різних галузей промисловості для роботи в закритих неопалюваних приміщеннях в промисловій невибухонебезпечній атмосфері з вмістом пилу не більше 10 мг/м^3.

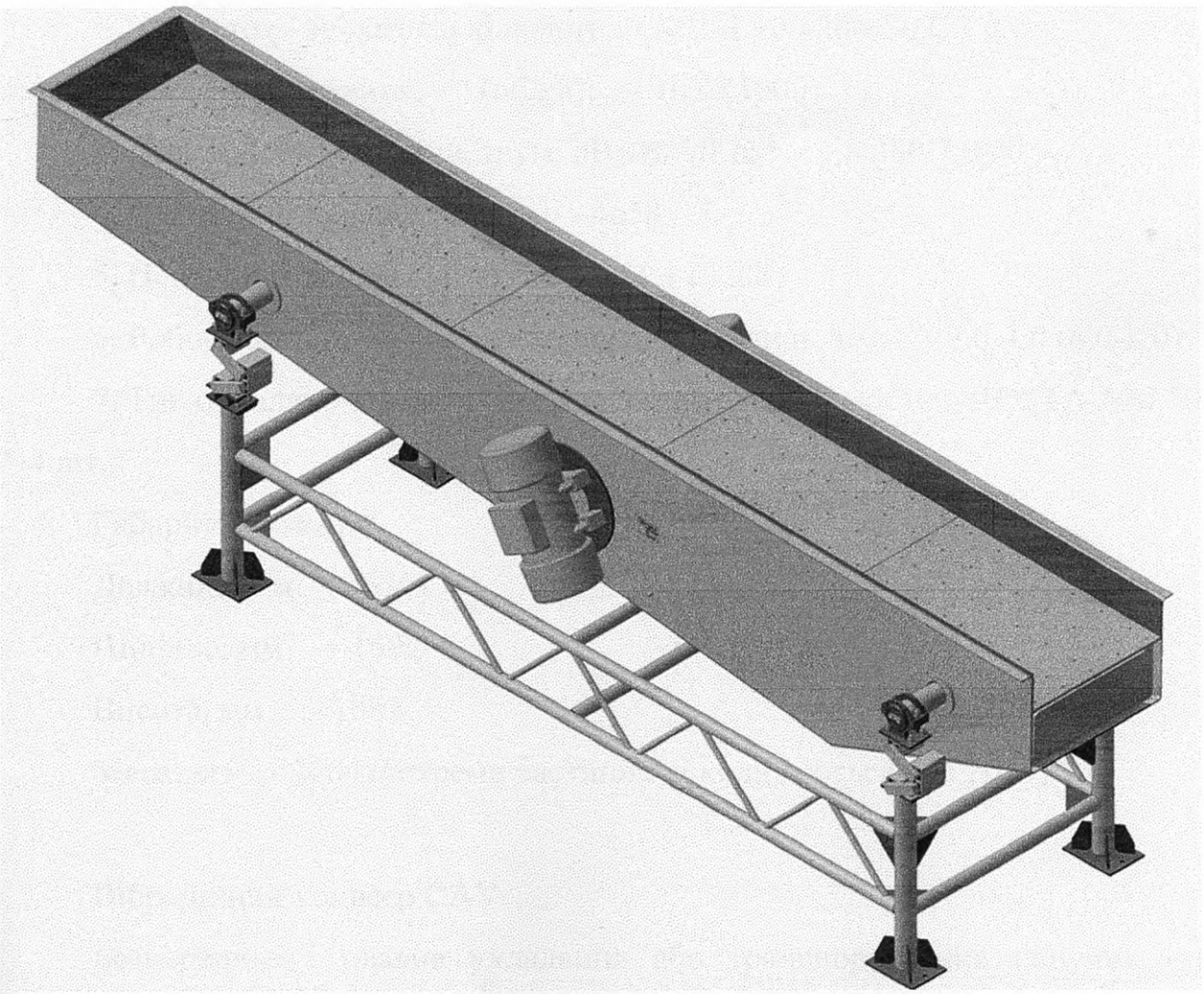


Рисунок 1.7 – Вібраційний конвеєр КВ-08

Технічні параметри вібраційного конвеєра КВ-08

1. Продуктивність по вихідному живленню (задана) при куті нахилу лотка конвеєра 0° і висоті шару матеріалу в лотку 10 мм, т/год (м³/год), не менше: - 10 (6,25)

2. Насипна густина матеріалу, т/м³, не більше: - 1,6

3. Максимальна крупність матеріалу, мм, не більше (до 5% загальної кількості): - 250

4. Розміри лотка конвеєра (ширина, висота, довжина), мм:800×200×6250

Характеристики мотор-вібратора

1. Тип мотор-вібратора, кількість: - MVSI 10/5200-S02, 2 шт.

2. Частота обертання, $с^{-1}$ (об/хв): - 16,6 (1000)

3. Потужність/Напруга/Струм, кВт/В/А/Гц: - 3,8/380/7,0/50

4. Статичний момент, кгс·мм: - 4658

5. Центробіжна сила, кН (кгс): - 51,1 (5208)

6. Робоча амплітуда коливань (півхвиль)/хвиль, мм: - 2,0-4,0 (4,0-8,0)

7. Тип осцилюючих опор (нержавіюча сталь), кількість: - ROSTA ABI 50 – 4 шт.

Габаритні розміри

Довжина, мм: - 6261

Ширина, мм: - 1592

Висота, мм: - 1887

Маса, кг: - 2464 (зокрема частини які коливаються, кг: 2075)

Вібраційний конвеєр CAV

Безперервне і плавне укладання або транспортування сипучих чи упакованих продуктів є критично важливим для забезпечення правильного функціонування та оптимізації ефективності технологічних або упаковочних машин. Це допомагає зменшити накопичення, рівномірно укласти продукт і забезпечити безперебійний потік.

Виходячи з багаторічного досвіду, компанія PRO-TECH ITALIA розробила широкий спектр вібраційних конвеєрів, що підходять для різних застосувань у харчовій промисловості. Вібраційні конвеєри серій CAV і DIVRA можуть використовуватися для різноманітних завдань: завантаження пастеризаторів, подача продуктів на ковшові конвеєри, укладання на мати, прийом продуктів під кутом 90°, поточне розподілення, укладання продуктів на рами, подача продуктів на упаковочні машини тощо.

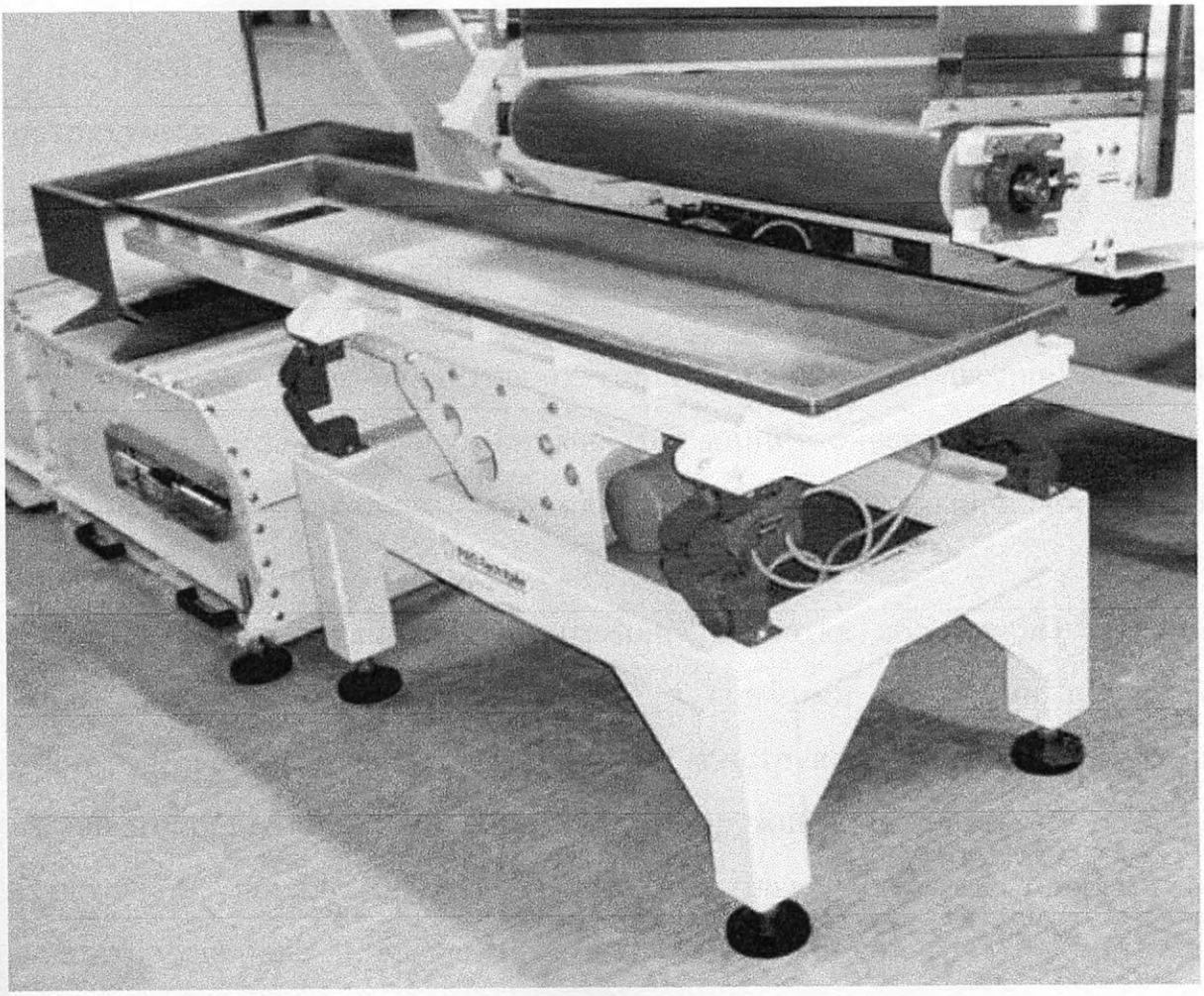


Рисунок 1.8 – Вібраційні конвеєри серій CAV

Вібраційні конвеєри серій CAV і DIVRA доступні в різних варіантах ширини та довжини, мають високу продуктивність завдяки каналу конвеєра з нержавіючої сталі AISI 304, який має ідеально гладку внутрішню поверхню. Вони високогігієнічні та дозволяють здійснювати ідеальну санітарну обробку, оскільки всередині каналу відсутні зони, де продукти можуть застоятися. Крім того, конвеєри не потребують технічного обслуговування.

Система транспортування складається з вібраційних двигунів з ексцентриковими масами відповідного розміру, закріплених на міцній рамі, оснащеній вбудованою системою регулювання нахилу та положення, що забезпечує ідеально рівномірну вібрацію по всій довжині каналу.

Розділ 2: Класифікація вібраційних конвеєрів та основи наукових розрахунків

2.1 Класифікація вібраційних конвеєрів

Існує багато конструктивних типів вібраційних конвеєрів, які можна класифікувати за різними ознаками. Вібраційні конвеєри розрізняються за напрямком переміщення вантажу, що включає горизонтальні, пологонаклонні та вертикальні типи.

По способу кріплення вантажоносія (лотка або труби) вібраційні конвеєри поділяються на конструкції з вільними пружними підвісками-амортизаторами (підвісні конструкції) та конструкції на похилих напрямних стійках (опорні конструкції з наклонними пружними елементами). В опорній конструкції похилі пружні стійки не тільки служать опорами для вантажоносія, але й визначають напрямок його коливань, забезпечуючи направлені коливання лотка.

Залежно від кількості одночасно коливаючих мас у коливальній системі конвеєри бувають одномасні, двомасні та багатомасні.

В залежності від динамічної уравноваженості вібраційні конвеєри поділяються на уравноважені і неуравноважені.

За кількістю вантажоносіїв розрізняють вібраційні конвеєри одноелементні (одножолобні або однотрубні) та двоелементні (два жолоби, дві труби). Одноелементні конвеєри можуть мати одинарний або подвоєний вантажоносій; в останньому випадку вантажоносії, наприклад, дві паралельні труби, жорстко з'єднані між собою, коливаються як єдине ціле, що застосовується, наприклад, для одночасного транспортування різних вантажів.

Залежно від виробничого призначення існують вібраційні конвеєри, які служать для транспортування вантажу; конвеєри-грохоти для одночасного транспортування і розподілу часток вантажу за їх крупністю або для відокремлення, наприклад, литників або ливарних частин від землі.

По характеристикам і налаштуванню пружних опорних елементів (коливальної системи) вібраційні конвеєри поділяються на конвеєри з резонансною, до-резонансною та за-резонансною настройкою пружної системи.

У більшості конвеєрів використовують приводи, що створюють прямолінійну збуджуючу силу, що змінюється за гармонійним законом. Найбільш простими в конструктивному відношенні і надійними в експлуатації є одноприводні одномасні конвеєри, оснащені вібровозбудниками з вбудованими електродвигунами.

Одномасні вібраційні конвеєри працюють у за-резонансному режимі. У цьому випадку, завдяки невеликій жорсткості опорних пружин, можливе значне зниження динамічних навантажень, що передаються на опорні конструкції. Довжина одноприводних конвеєрів підвісної конструкції зазвичай не перевищує 6 м. Довжина конвеєрів опорної конструкції може бути трохи більшою і в середньому складає 10-14 м; в окремих випадках забезпечується задовільна робота конвеєрів опорної конструкції при довжині до 35 м.

Широко використовують конвеєри з центробіжними віброприводами направленої дії зображено на рисунку 2.1. Такі конвеєри складаються з робочого органу, центробіжного вібровозбудника, робочої пружної системи і допоміжних або віброізолюючих пружин. У двомасних конвеєрах, завдяки резонансній налаштуванню та динамічній уравноваженості коливаючих частин, значно збільшується довжина вантажоносія на один привід. Ще більше збільшення довжини конвеєра можливе при установці на нього кількох вібровозбудників, тобто у багатоприводній машині.

Високими конструктивно-технологічними показниками відрізняються вібраційні конвеєри з реактивними масами. Конвеєри цього типу з центробіжними вібровозбудниками виконуються у двох модифікаціях. Принцип дії конвеєра першої модифікації полягає в наступному: вантажоносій, вільно підвішений або підтриманий на м'яких пружинах, з допомогою дебалансного вібровозбудника з вбудованими електродвигунами отримує продовжні коливання. При цьому з'єднаним з ним за допомогою м'яких ресор реактивним масам також надаються коливання в горизонтальній площині, але в протилежному напрямку (з фазовим зсувом 180°).

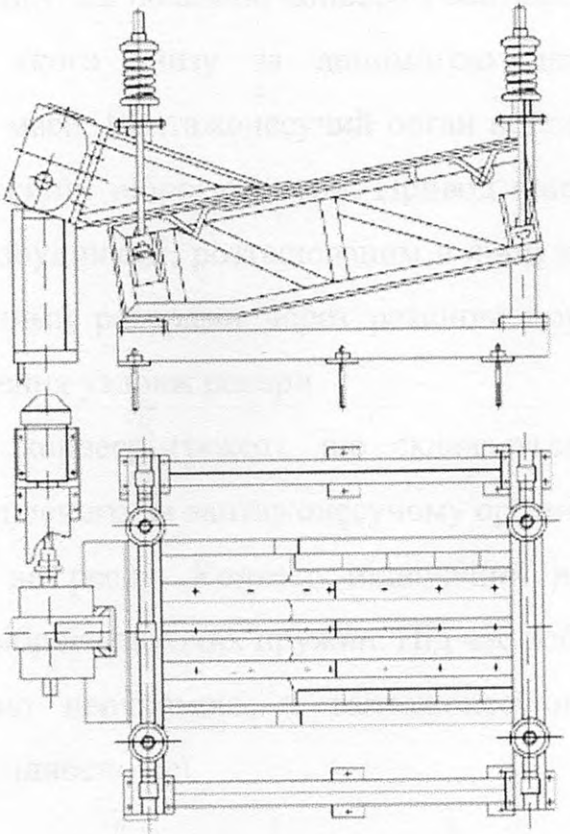


Рисунок 2.1 – Вібраційний конвеєр-грохот з центробіжним віброприводом

Конструкція вібраційного конвеєра з реактивними масами передбачає, що ресора з'єднується з реактивною масою не безпосередньо, а через

резинометалевий пружний елемент, що дозволяє її відносне переміщення уздовж ресори. Жорсткість цього елемента підбирають так, щоб власна частота системи була близька до частоти вимушених коливань.

Оскільки ресора розташована під кутом до напрямку коливань вантажонесучого органу, виникає складова, що спричиняє коливання реактивної маси вздовж ресори. Це, в свою чергу, створює поперечні коливання вантажонесучого органу. Результат - суміш поперечних і поздовжніх коливань вантажонесучого органу.

Вібраційні конвеєри з реактивними масами можуть бути лотковими або трубчастими. На малюнку 2.2 показано конвеєр з вантажонесучим органом у вигляді жолоба, до якого знизу за допомогою пластинчастих ресор прикріплені реактивні маси. Вантажонесучий орган встановлюють на несучі конструкції через пружинні віброізолятори. Привод конвеєра здійснюється центробіжним вібровозбудником, розташованим в кінці конвеєра. Реактивна маса з'єднана з опорними ресорами через резинові пружні елементи, що дозволяють її переміщення уздовж ресори.

В вібраційному конвеєрі-грохоті, що складається з центробіжного вібровозбудника, закріпленого на вантажонесучому органі, реактивні частини жорстко прикріплені до ресор. Конвеєр підвішений на опорній рамі за допомогою винтових віброізолюючих пружин. Під час роботи реактивна маса залишається практично нерухомою, а вантажонесучий орган здійснює коливання на ресорах відносно неї.

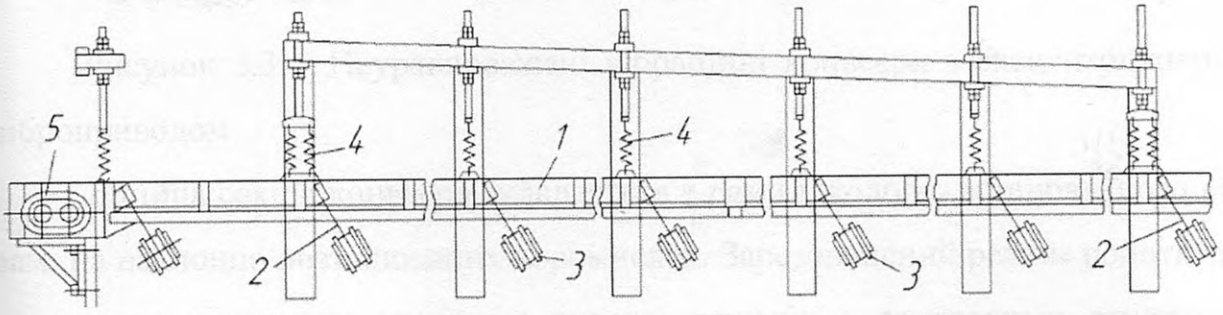


Рисунок 2.2 – Вібраційний конвеєр з реактивними масами

Ексцентрикові конвеєри переважно мають уравноважену конструкцію, рідше зустрічаються одномасові неуравноважені моделі. Неуравноважені конвеєри з ексцентриковим віброприводом є найпростішими за конструкцією (рис. 1.7, а). Конвеєр складається з приводної та лінійної секцій. Приводна секція включає в себе посилену лінійну секцію з ексцентриковим приводом. На основній рамі змонтовані електродвигун, редуктор і ексцентриковий барабан. Барабан встановлений на ексцентриковому валу, який закріплений в корпусі редуктора з одного боку та в спеціальному корпусі з іншого. На барабані закріплені два шатуни, що з'єднуються через резинові упругі втулки з жолобом, прикріпленим до рами чотирма наклонно розташованими коромислами.

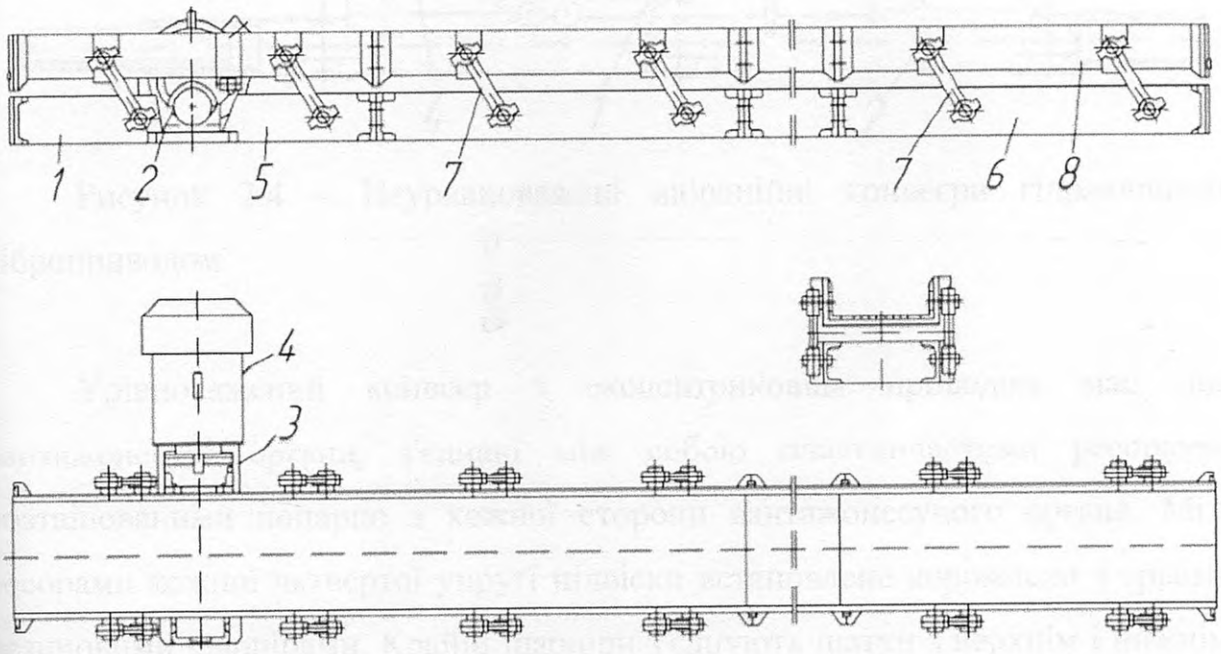


Рисунок 2.3 – Неуравноважені вібраційні конвеєри з ексцентриковим віброприводом

Лінійна секція конвеєра складається з рами і жолоба, встановленого на рамі на наклонно розташованих коромислах. Зарезонансний режим роботи та застосування упругих систем у вигляді важелів з резиновими втулками забезпечують стабільну роботу при змінних навантаженнях, зменшують

передачу динамічних сил на опорну раму і виключають раскачування конструкції при проходженні через резонанс.

Інша конструкція неуравноваженого віброконвеєра з гідравлічним приводом представлена на рис. 1.7, б. В конвеєрі використовується резинова упруга система, що працює на зсув і стиснення; вантажонесучий орган має лоткову конструкцію з підсилювальними ребрами. Конвеєр складається з гідравлічних вібровозбудників, встановлених на трубчастій рамі. Вантажонесучий орган лоткової конструкції встановлений на рамі за допомогою резинових упругих елементів, що працюють на зсув.

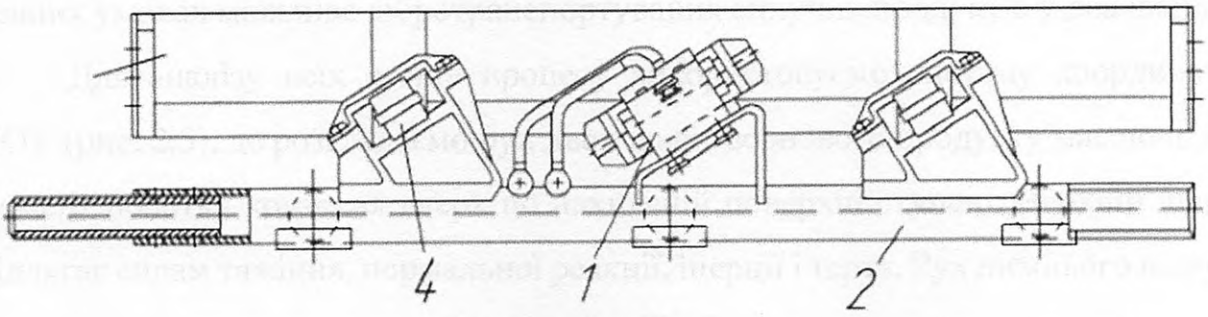


Рисунок 2.4 – Неуравноважені вібраційні конвеєри гідравлічним віброприводом

Урівноважений конвеєр з ексцентриковим приводом має два вантажонесучі органи, з'єднані між собою пластинчастими ресорами, розташованими попарно з кожної сторони вантажонесучого органа. Між ресорами кожної четвертої упругї підвіски встановлене коромисло з трьома резиновими шарнірами. Крайні шарніри з'єднують шатун з верхнім і нижнім вантажонесучими органами, середній шарнір служить для кріплення підтримуючих стійок опорної рами. Привод розташований в середній частині конвеєра: ексцентриковий вал кріпиться до нижнього вантажонесучого органу, а шатуни приєднані до верхнього. Двигун розташований над вантажонесучими органами на спеціальній площадці.

Застосовуються також ексцентрикові та гідравлічні вібраційні конвеєри з поздовжнім урівноваженням коливаючих мас.

2.2 Основи наукових розрахунків

Розроблена і представлена у джерелі [4] теорія віброперемещення ідеалізованого шару зернової маси по ступінчастій поверхні пояснює принцип такого переміщення. Однак, ця теорія розглядає переміщення сипучого матеріалу на ступінчастій поверхні лише в один шар. Практика показала, що в певних умовах можливе вібротранспортування сипучих продуктів у два шари.

Для аналізу всіх етапів процесу використовуємо систему координат XOY (рис. 2.5), де розглядаємо рух двох шарів зернового продукту масою m в момент початку ковзання вверх по нахиленій поверхні ступені. Верхній шар підлягає силам тяжіння, нормальної реакції, інерції і тертя. Рух нижнього шару ускладнений через вплив верхнього шару. Зерна нижнього шару просуваються тільки тоді, коли з'являються вільні простори між зернами верхнього шару. Це зменшує пористість верхнього шару і збільшує продуктивність транспортера.

Зерна нижнього шару рухаються по ступінчастій поверхні з коефіцієнтом зовнішнього тертя $\mu 1$, а верхній шар – по нижньому з коефіцієнтом внутрішнього тертя $\mu 2$, що було враховано у подальших дослідженнях. Враховуючи малу відстань польоту і високу густину зернової маси, опір повітря не має суттєвого впливу на процес віброперемещення частинок і його можна не враховувати.

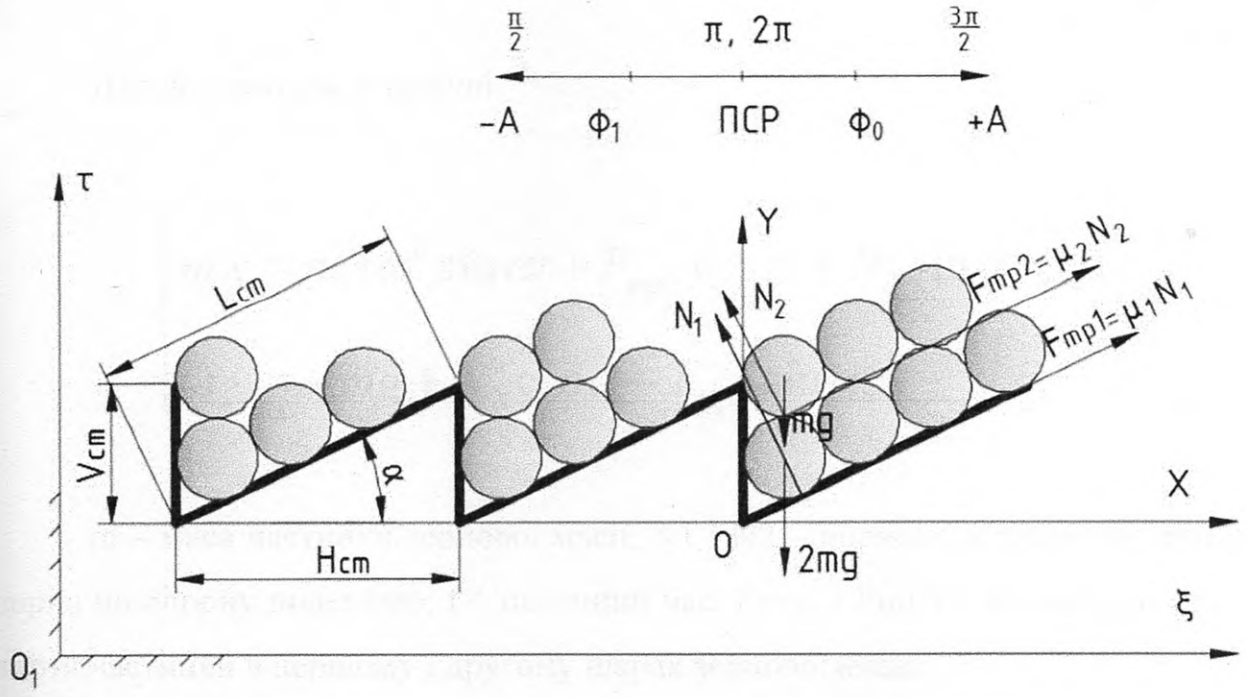


Рисунок 2.5 – Рух двох шарів зернового продукту масою m в момент початку ковзання вверх по нахиленій поверхні [4]

Рух ступенчатого робочого органу вліво від першої стадії рівноваги вважаємо початком періоду коливань. Фазові кути і час вимірюються від першої стадії рівноваги. Вліво від першої стадії рівноваги зерновий продукт рухається разом із системою раціональної обробки, а при русі вправо, після проходження першої стадії рівноваги, коли x>0¨>0, а ẋ<0, сила інерції примушує зернову масу до негативного переміщення відносно осі X, ковзаючи по нахиленій поверхні ступені. Наша задача – підібрати такі параметри, які максимально виключають такі переміщення.

Складемо рівняння сил, що діють на перший шар зернової маси по осям X і Y на етапі ковзання.

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mA\omega^2 \sin\omega t + F_{mp1}\cos\alpha + N_1 \sin\alpha, \\ m\ddot{y} = -mg + N_1\cos\alpha - F_{mp1}\sin\alpha, \end{cases} \quad (при \ \sin\omega t < 0) \tag{2.1}$$

Для другого шару суміші

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mA\omega^2 \sin\omega t + F_{mp2}\cos\alpha + N_2 \sin\alpha, \\ m\ddot{y} = -mg + N_2\cos\alpha - F_{mp2}\sin\alpha, \end{cases} \tag{2.2}$$

m – маса частинки зернової маси; N1 і N2 – нормальні тиски частинки зерна на опорну поверхню; t – поточний час; Fmp1 і Fmp2 – відповідно сили тертя частинки в першому і другому шарах зернової маси.

Сила тертя Fmp1=±μ1N1, з урахуванням цього виразимо N1 з другого рівняння системи (2.1):

$$N_1 = \frac{m\ddot{y} + mg}{\cos\alpha - \mu_1 \sin\alpha}. \tag{2.3}$$

Аналогічним чином визначаємо N2. Підставивши значення N з (2.3) в перше рівняння систем (2.1 і 2.2) і розділивши обидві його частини на mmm, отримаємо:

$$\ddot{x} = A\omega^2 \sin\omega t + \left(\ddot{y} + g\right)\frac{\mu\cos\alpha + \sin\alpha}{\cos\alpha - \mu\sin\alpha}. \tag{2.4}$$

На етапі ковзання по нахиленій поверхні співвідношення між $\ddot{x}$ і $\ddot{y}$ для першого і другого шару зернової маси визначається на основі геометричної залежності.

$$y = -x\,tg\,\alpha; \qquad \dot{y} = -\dot{x}\,tg\,\alpha; \qquad \ddot{y} = -\ddot{x}\,tg\,\alpha. \tag{2.5}$$

Тоді рівняння (2.4) з урахуванням (2.5) набуде вигляду:

$$\ddot{x} = A\omega^2 \sin\omega t + \left(-\ddot{x}\,tg\,\alpha + g\right)\frac{\mu_1 \cos\alpha + \sin\alpha}{\cos\alpha - \mu_1 \sin\alpha}. \tag{2.6}$$

Перетворюючи рівняння (2.6) отримаємо наступне рівняння (2.7)

$$\ddot{x} = \frac{A\omega^2 \sin\omega t + g\left(\dfrac{\sin\alpha + \mu_1 \cos\alpha}{\cos\alpha - \mu_1 \sin\alpha}\right)}{1 + tg\,\alpha\left(\dfrac{\sin\alpha + \mu_1 \cos\alpha}{\cos\alpha - \mu_1 \sin\alpha}\right)}. \tag{2.7}$$

Для спрощення подальших аналітичних висновків приймемо постійні:

$$\begin{cases} k_{12} = \dfrac{1}{1 + tg\,\alpha\left(\dfrac{\sin\alpha + \mu_2 \cos\alpha}{\cos\alpha - \mu_2 \sin\alpha}\right)}; \\ k_{22} = \dfrac{g k_{12}\left(\sin\alpha + \mu_2 \cos\alpha\right)}{\cos\alpha - \mu_2 \sin\alpha}. \end{cases} \tag{2.8}$$

Зурахуванням (2.8) диференціальне рівняння (2.7) набуває вигляду:

$$\ddot{x} = A\omega^2 \sin(\omega t) k_1 + k_2. \tag{2.9}$$

Інтегруючи (2.9), отримаємо закон зміни швидкості 1-го шару зернової маси на етапі ковзання.

$$\dot{x} = -A\omega k_1(\cos\omega t - \cos\omega t_0) + k_2(t - t_0) + \dot{x}_0. \tag{2.10}$$

Інтегруючи (2.10), отримаємо закон зміни координати 1-го шару зернової маси на етапі ковзання.

$$x = -Ak_1(\sin\omega t - \sin\omega t_0) + A\omega k_1 \cos\omega t_0 (t - t_0) + k_2 \frac{(t - t_0)^2}{2} + \dot{x}_0(t - t_0) + x_0. \tag{2.11}$$

Аналогічно визначимо для 2-го шару зернової маси. Початкові умови: — $t_0 = \varphi_0/\omega$, $\dot{x}_0 = 0$ у момент початку ковзання. Початкову координату x0 визначимо з рис. 2.5.

Початкові координати центру ваги 1-го шару зернової маси:

$$\begin{cases} x_{01} = -r; \\ y_{01} = r * ctg\left(\dfrac{90 - \alpha}{2}\right), \end{cases} \tag{2.12}$$

Початкові координати центру ваги 2-го шару зернової маси:

$$\begin{cases} x_{02} = -r; \\ y_{02} = 1{,}5r * ctg\left(\dfrac{90-\alpha}{2}\right), \end{cases} \quad (2.13)$$

де r — середній радіус частинки зернової маси, м.

Швидкість вібротранспортування рекомендується визначати на основі експериментальних досліджень, використовуючи наступну залежність [4, 7]:

$$V = Vэ * K \quad (2.14)$$

де Ve - швидкість вібраційного транспортування еталонного продукту (за рис. 2.5 швидкість V_e = 0,2…0,6 м/с);

K - коефіцієнт транспортабельності сипучого продукту.

Приймаємо пісок з вологістю 10 % за основу для транспортування. Формула (2.14) дозволяє найбільш точно визначити практичну швидкість, але вимагає лабораторних досліджень для визначення коефіцієнта транспортабельності.

Коэффициенти транспортабельності деяких сипучих продуктів наведені становлять:

Пісок вологий (еталон) – 1.

Гравій – 0,8-0,9.

Щебінь – 0,7-0,85.

Цемент – 0,5-0,7.

Цегла подрібнена – 0,6-0,8.

Дерев'яна стружка – 0,4-0,6.

Палети дерев'яні – 0,3-0,5.

Швидкість вібротранспортування сипучої маси залежить від багатьох факторів, таких як параметри вібрацій, кут нахилу лотка та кут нахилу вібрацій, ступінь заповнення лотка, реологічні властивості продуктів. Вирішальне значення мають частота та амплітуда вібрацій, від яких залежить виникнення режимів псевдозрідження або віброкипіння при транспортуванні. Для практичних розрахунків можна використовувати експериментальні криві залежності швидкості вібротранспортування еталонного сипучого продукту від частоти та амплітуди вібрацій [6].

На рисунку 2.6 представлені криві залежності швидкості вібротранспортування матеріалу висотою 50 мм при горизонтальній установці вібролотка та кута нахилу вібрацій 20 градусів від частоти при різних амплітудах коливань.

Залежність швидкості вібротранспортування від частоти та амплітуди коливань показує, як змінюється швидкість транспортування сипучих матеріалів залежно від частоти і амплітуди коливань. На графіку зображені 2.6 криві, що демонструють взаємозв'язок цих параметрів. Аналіз цих залежностей дозволяє зрозуміти, що при невеликих амплітудах коливань збільшення частоти не призводить до різкого підвищення швидкості транспортування, але при амплітудах, що перевищують 5,0 мм, навіть при низьких частотах, спостерігається значний приріст швидкості, що пояснюється утворенням режиму псевдозрідження.

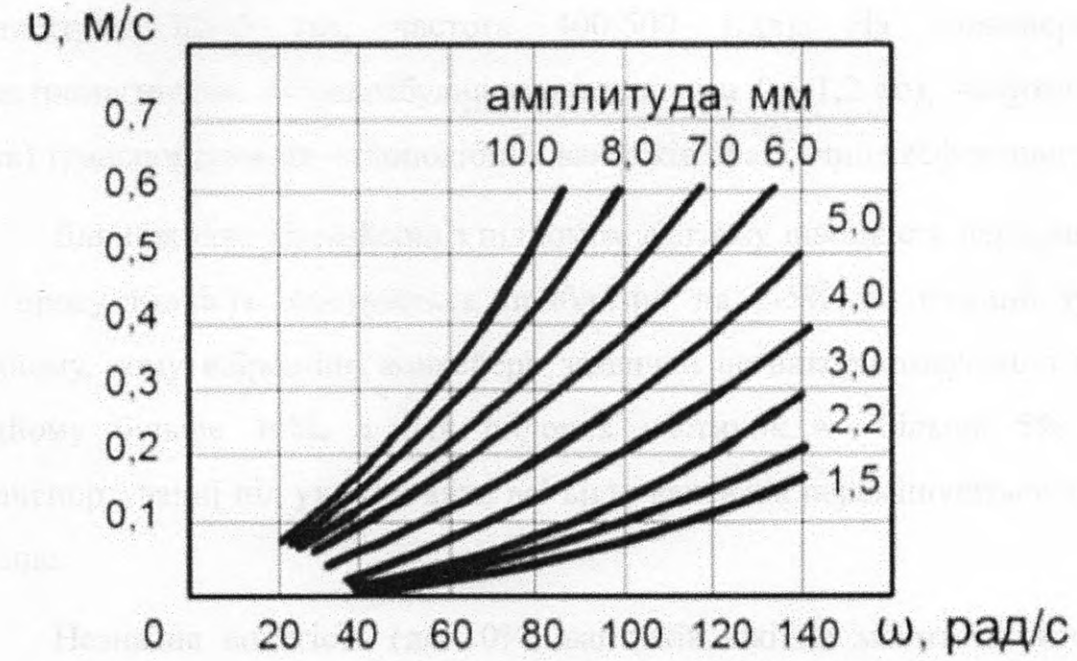


Рисунок 2.6 – Залежність швидкості вібротранспортування від частоти та амплітуди коливань

Вибрационные конвейеры показывают наибольшую эффективность при транспортировании сухих, однородних, порошкообразних, зернистих та дрібнокускових сипучих вантажів. Швидкість горизонтального транспортування може досягати 0,3 м/с, а в окремих випадках — до 0,6 м/с при оптимальних режимах вібрації. Менш ефективно використовувати вібраційні конвейери для транспортування неоднорідних сипучих вантажів з великою домішкою пилових частинок — їх швидкість переміщення зменшується в 2-3 рази. Пилоподібні вантажі з розміром частинок менше 0,05 мм транспортуються неефективно; їх горизонтальна швидкість зазвичай становить 0,1-0,15 м/с при висоті шару 50-60 мм, навіть при максимальній амплітуді коливань.

Проблема транспортування пилоподібних вантажів полягає у виборі раціонального режиму вібрації та конструкції конвейера. Зі збільшенням амплітуди коливань ефективність транспортування зростає, тому для цих вантажів використовують вібраційні конвейери з ексцентриковим приводом

(амплітуда 12-15 мм, частота 400-500 1/хв). На конвейерах з електромагнітним вібровозбудником (амплітуда 0,5-1,2 мм, частота 3000 1/хв) транспортування пилоподібних вантажів практично неефективне.

Для похилих конвейерів з підйомом вантажу швидкість переміщення та продуктивність знижуються приблизно на 3-5% на кожний градус підйому, тому вібраційні конвейери зазвичай не використовують з кутом підйому більше 10%, а для пилових частинок — більше 5%. При транспортуванні під ухилом вниз всі види вантажів переміщуються значно краще.

Незначна вологість (до 10%) вантажів, які не мають липкості та в'язкості, не перешкоджає їх переміщенню, а іноді навіть сприяє збільшенню швидкості. Липкі або вологі вантажі транспортуються дуже погано.

Крупно- та середньокускові вантажі добре переміщуються по вібраційному конвейеру, однак при цьому видають шум від ударів об дно жолоба та спричиняють його зношування. Для підвищення зносостійкості стінки жолоба футерують гумою.

Різнорідні несортовані вантажі транспортуються з пониженою швидкістю, але повного розділення частинок за фракціями не спостерігається, хоча на поверхні шару більш крупні частинки можуть переміщуватися швидше за дрібніші. Несортовані комбіновані вантажі з частинок однакової крупності транспортуються єдиною масою без розділення.

Швидкість транспортування однорідних кускових вантажів майже не залежить від висоти шару і залишається практично постійною при коефіцієнті заповнення жолоба в межах 0,2 - 0,8. Легкопереміщувані пилові та сухі зернисті вантажі при тонкому шарі переміщуються з найбільшою швидкістю. З підвищенням висоти шару швидкість транспортування

помітно зменшується, тому такі вантажі транспортують при малій висоті шару (50 - 100 мм). У режимах з безперервним підкиданням, тангенціальна складова відносної швидкості має таке значення, при якому виконується залежність (2.9). Середня швидкість транспортування може бути визначена, коли параметр перевантаження задовольняє відповідні умови.

$$V = \frac{\pi\varphi g}{\omega}\left(\frac{1-R}{1+R}ctg\beta\cos\alpha - \frac{2-\lambda}{\lambda}\sin\alpha\right), (\lambda \neq 0, \quad p = 1, \ 2, \ \ldots) \tag{2.15}$$

$$w > 2\frac{1+R^2}{(1+R)^2}; \tag{2.16}$$

Тобто, у випадку досить інтенсивного підкидання, наближений вираз для швидкості в будь-яких режимах може бути визначений за допомогою відповідної формули, що враховує параметри перевантаження та інші характеристики процесу транспортування.

$$V \approx \frac{\pi\varphi'(w,R)g}{\omega}\left(\frac{1-R}{1+R}ctg\beta\cos\alpha - \frac{2-\lambda}{\lambda}\sin\alpha\right), (\lambda \neq 0) \tag{2.17}$$

Де

$$p'(w,R) = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{w(1+R)}{1-R} + \sqrt{\frac{w^2(1+R)^4 - 4(1+R^2)^2}{(1-R^2)^2}}\right] \tag{2.18}$$

Для спрощення розрахунків на рис. 10 [12] представлена функція p'(w,R),

яка відповідає рівнянню (2.52). На рис. 11, а-в [12] наведені залежності безрозмірної величини V/(Aω) від параметра $A\omega^2/g$ та кута вібрацій β для випадку горизонтальної поверхні (α=0) при коефіцієнті відновлення R, який дорівнює 0; 0,1 і 0,2.

При інтенсивності підкидання, що відповідає значенням параметра перевантаження:

$$w > 3{,}5\frac{1+R^2}{(1+R)^2} \tag{2.19}$$

При похибці не більше 15% можна знехтувати другим доданком у підкореневому виразі (2.52) порівняно з першим і прийняти:

$$p' \approx \frac{1}{\pi}\left(\frac{1+R}{1-R}\right)w_0 .$$

Тоді вираз (2.18) прийме вигляд

$$V \approx A\omega\left(\cos\beta - \frac{1+R}{1-R}\frac{2-\lambda}{\lambda}\sin\beta tg\alpha\right) \tag{2.20}$$

При α=0\ отримуємо:

$$V \approx A\omega\cos\beta, \tag{2.21}$$

Тобто, швидкість транспортування приблизно дорівнює амплітуді поздовжньої проекції швидкості коливань вібруючої плоскої поверхні.

При роботі вібраційних конвеєрів енергія витрачається на приведення в коливальний рух вантажопідйомних елементів та на транспортування вантажу.

Потужність, необхідна для запуску, в 5 і більше разів перевищує навантаження при встановленому режимі руху вантажу. Тому для приводу вібраційних конвеєрів використовують двигуни з підвищеним пусковим моментом.

Середнє значення потужності, необхідної для підтримання встановленої періодичної вібрації в системі з сконцентрованими параметрами, можна обчислити за допомогою відповідних формул.

$$N_{cp} = \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{s}\int_{0}^{T} B_i \dot{x}_i dt, \tag{2.22}$$

де Bi — дисипативна сила (або момент);

xi — швидкість (або кутова швидкість);

t — час;

T — період вібрації;

s — загальна кількість діючих в системі дисипативних сил і моментів.

Швидкість xi — це відносна швидкість між двома елементами, в результаті відносного руху яких виникає дисипативна сила Bi. Один з елементів належить системі, а другий або належить їй, або знаходиться поза її межами.

Дисипативні сили або моменти зменшують механічну енергію системи в процесі її коливань, перетворюючи її в тепло або інші форми енергії. Це важливо для розрахунку енерговитрат і проектування систем, де потрібно враховувати втрати енергії внаслідок тертя, демпфування та інших механізмів дисипації.

Якщо система лінійна тоді вираз (2.22) можна записати як:

$$N_{cp} = \frac{2}{T}\int_0^T \Phi dt\,, \tag{2.23}$$

Замість залежності (2.55) можна користуватися еквівалентним рівнянням, яке також підходить для систем з розподіленими параметрами при дії зосереджених зусиль і моментів:

де Fi — модуль зусилля (або моменту);

xi — модуль швидкості точки прикладення зусилля (або кутової швидкості перетину інерційного елемента, в якому прикладено зусилля);

α_i — кут між напрямками зусилля і швидкості (або між векторами моменту і кутової швидкості);

k — число прикладених до системи зусиль і моментів.

Використовуючи Microsoft Excel, визначимо раціональну середню швидкість вібраційного переміщення в залежності від амплітуди A і частоти коливань nu при різних кутах нахилу.

Значення α_i обрані в діапазоні, який відповідає найбільшій середній швидкості вібраційного переміщення зернової маси.

Для розрахунку прийнято наступні вихідні данні:

Частота коливань від 15 Гц до 45Гц

Амплітуда 3мм, 4 мм, 5мм,

Кут нахилу поверхні 15^0, 20^0, 25^0,

Розрахунки теоретичної середньої швидкості переміщення зернової маси виконані за допомогою виразу:

$$\bar{\xi} = \frac{\omega}{2\pi j}\left\{\begin{array}{l} A\cos\alpha(\mu\sin\alpha-\cos\alpha)\left[(\sin\varphi_1-\sin\varphi_0)+(\varphi_2-\varphi_1)(\cos\varphi_1-\cos\varphi_0)\right]+ \\ +A\cos\alpha\cos\varphi_0(\varphi_1-\varphi_0)(\cos\alpha-\mu\sin\alpha)+A\cos\varphi_1(\varphi_2-\varphi_1)+A\sin\varphi_2+ \\ +\dfrac{g\cos\alpha}{\omega^2}\left[\begin{array}{l}\varphi_0(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)(\varphi_1-\varphi_0)-\dfrac{1}{2}\left(\varphi_1^2-\varphi_0^2\right)-(\varphi_2-\varphi_1)(\varphi_1-\varphi_0)\cdot \\ \cdot(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)\end{array}\right] \end{array}\right\} \quad (2.24)$$

Результати наведено в таблиці 2.1, 2.2 та 2.3.

Таблиця 2.1 Значення середньої швидкості вібропереміщення при нахилі поверхні 15^0

	Амплітуда коливань, мм		
V,Гц	3	4	5
15	-	-	0,01
20	0,015	0,04	0,08
25	0,04	0,12	0,15
30	0,11	0,17	0,26
35	0,15	0,22	0,33
40	0,20	0,26	0,35
45	0,26	0,33	0,41

Таблиця 2.2 Значення середньої швидкості віброперемщення при нахилі поверхні 20^0

	Амплітуда коливань, мм		
V,Гц	3	4	5
15	-	-	0,04
20	0,06	0,07	0,12
25	0,11	0,19	0,30
30	0,20	0,22	0,37
35	0,22	0,37	0,44
40	0,29	0,43	0,54
45	0,32	0,49	0,64

Таблиця 2.3 Значення середньої швидкості віброперемщення при нахилі поверхні 20^0

	Амплітуда коливань, мм		
V,Гц	3	4	5
15	-	-	0,06
20	0,07	0,08	0,14
25	0,12	0,20	0,32
30	0,18	0,23	0,40
35	0,22	0,38	0,46
40	0,33	0,44	0,56
45	0,35	0,51	0,67

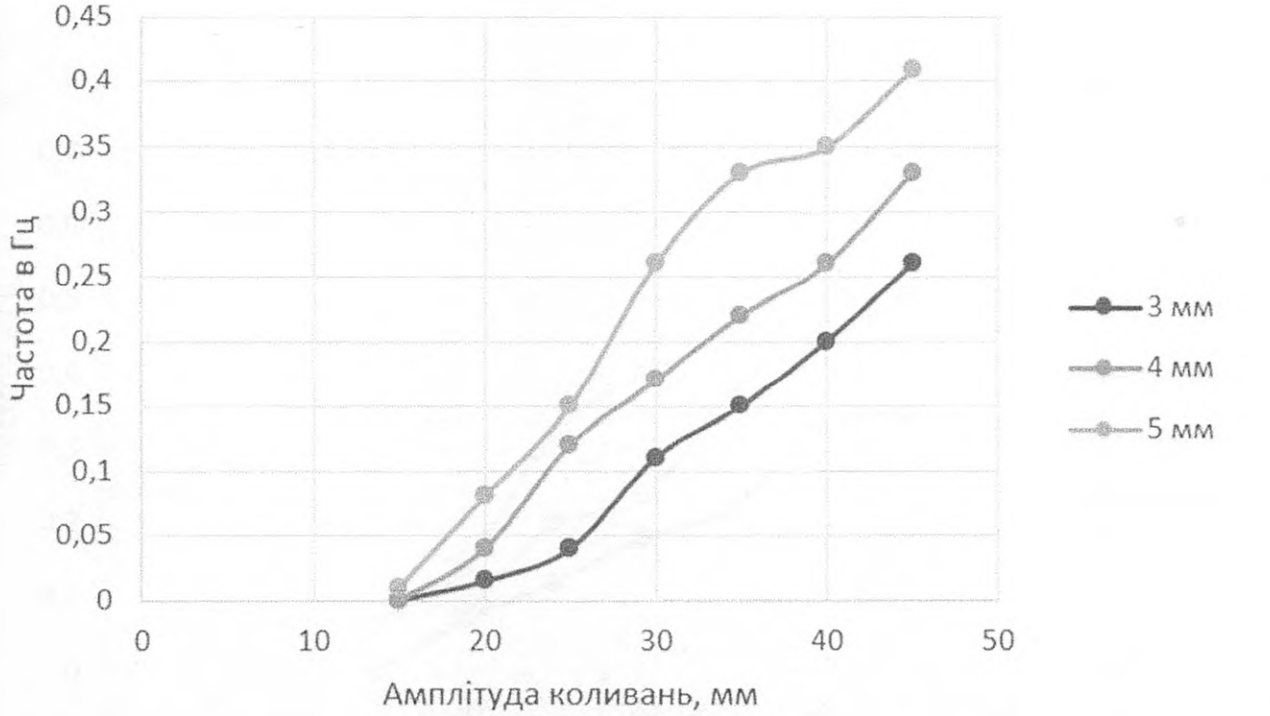


Рисунок 2.7 – Графік залежності середньої швидкості віброперемщення при нахилі поверхні 15^0

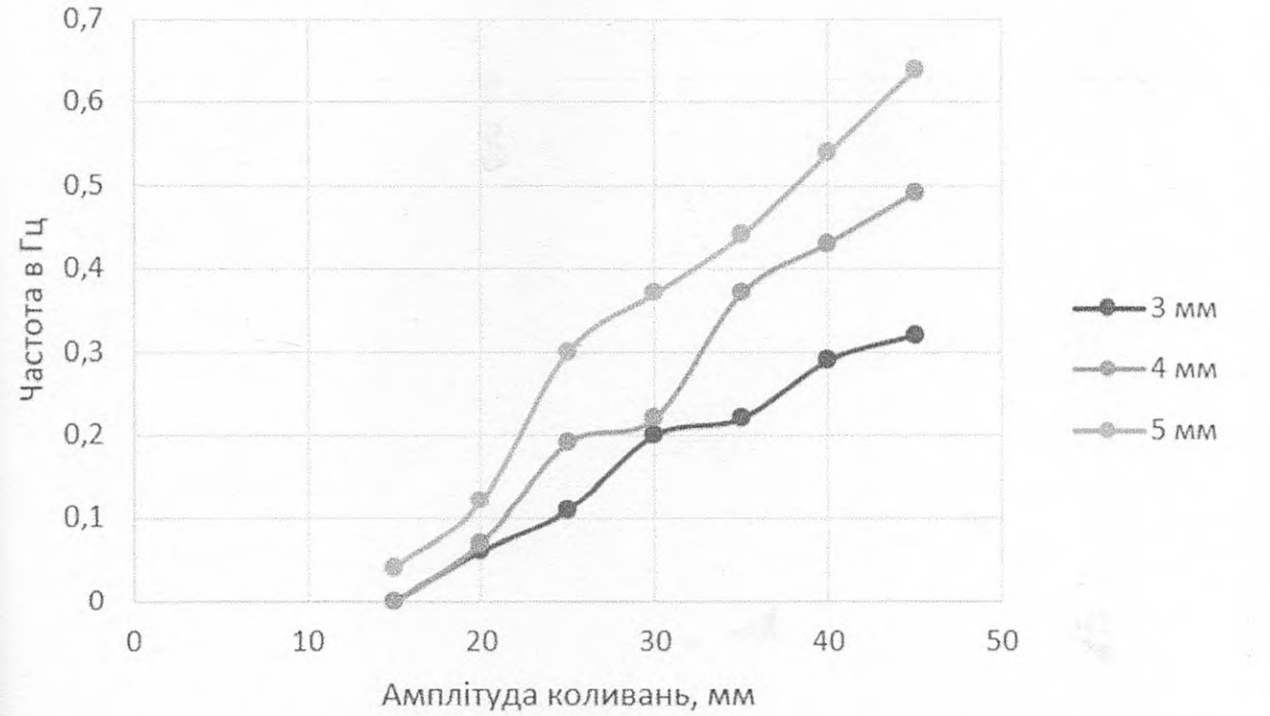


Рисунок 2.8 – Графік залежності середньої швидкості віброперемщення при нахилі поверхні 20^0

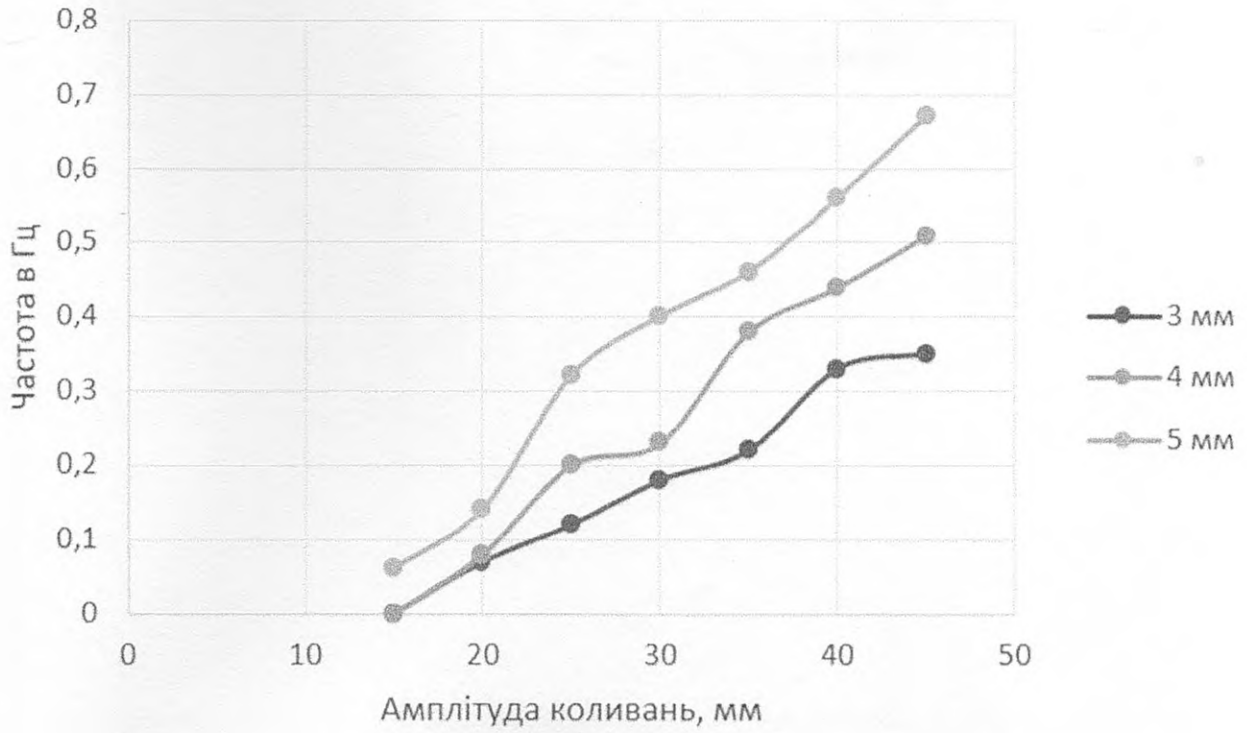


Рисунок 2.9 – Графік залежності середньої швидкості віброперемiщення при нахилі поверхні 25^0

Риозділ 3 Визначення та порівняння різних режимів роботи

Метою експерименту було дослідити вплив вібрацій на ефективність транспортування сипких матеріалів, зокрема піску з вологістю 10%. Основними завданнями були визначення впливу амплітуди та частоти вібрацій на швидкість транспортування та ефективність процесу.

Опис обладнання: Для проведення експерименту використовувався вібраційний конвеєр (рисунок 3.1) з можливістю регулювання амплітуди та частоти вібрацій. Конвеєр був обладнаний датчиками для вимірювання швидкості транспортування, амплітуди коливань та частоти вібрацій. Всі дані були записані за допомогою програмного забезпечення для подальшого аналізу.

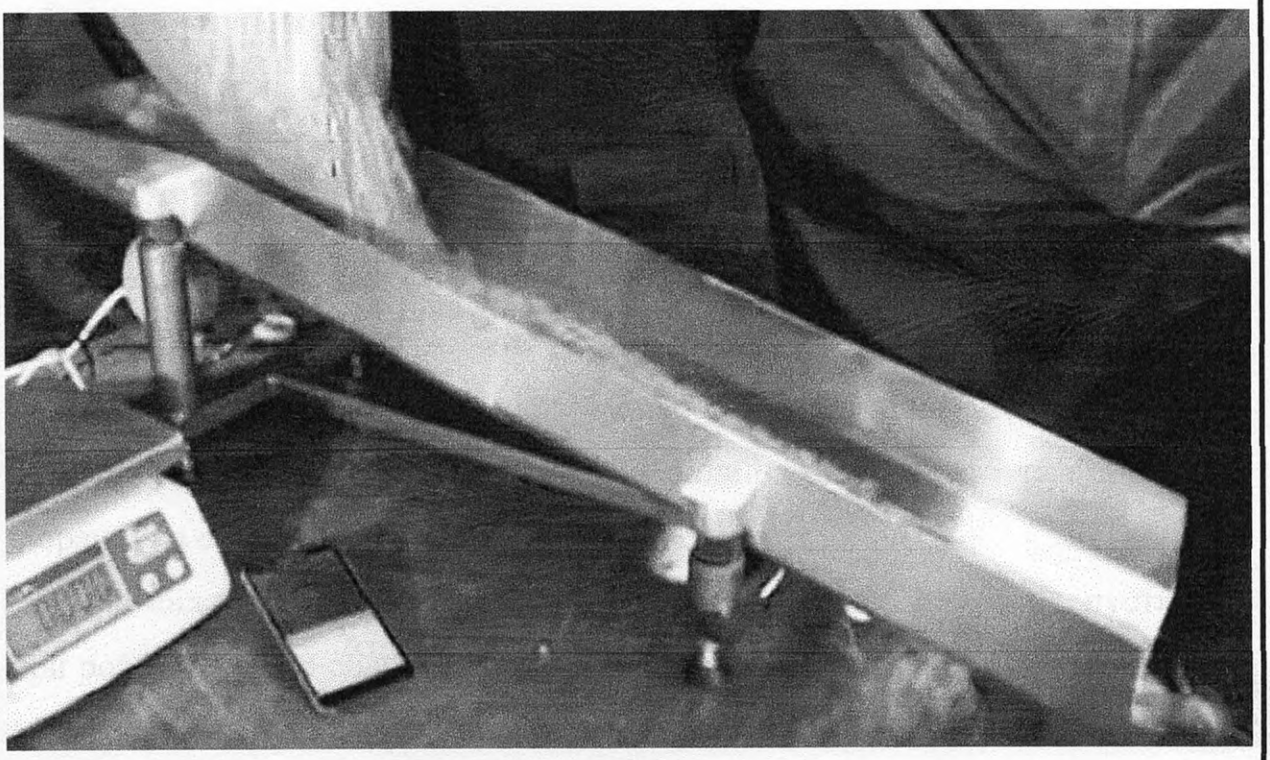


Рисунок 3.1 – Вібраційний конвеєр

Перш ніж розпочати експеримент, було підготовлено піщану суміш з вологістю 10%. Суміш була ретельно перемішана для забезпечення однорідності.

Вібраційний конвеєр було налаштовано відповідно до технічних характеристик. Регулювання амплітуди та частоти вібрацій проводилося відповідно до запланованих режимів, а саме:

частота коливань від 15 Гц 20Гц, 25Гц, 30Гц, 35Гц, 45Гц.

амплітуда 3мм, 4 мм, 5мм,

кут нахилу поверхні 15^0, 20^0, 25^0,

Пісок подавався на конвеєр, і процес транспортування почався при мінімальних значеннях амплітуди та частоти вібрацій. З часом параметри вібрацій поступово змінювалися, а саме амплітуда та частота вібрацій були збільшені на різні значення.

Протягом експерименту фіксувалися показники швидкості транспортування піску, амплітуди та частоти вібрацій. Для цього використовувалися датчики, що вимірюють ці параметри, а також збори даних за допомогою програмного забезпечення.

Отримані дані про швидкість транспортування та параметри вібрацій були проаналізовані. Зокрема, вивчався вплив змін у частоті та амплітуді вібрацій на ефективність транспортування піску.

Розбіжність із теоретичними становила небільше 20% що допустимо при роботі данного обладнання, але в подальшому потребує вдосконалення розрахунків. Також результати експерименту допомогли визначити оптимальні параметри для максимізації швидкості транспортування та зменшення енергетичних витрат.

Зміна амплітуди і частоти вібрацій має значний вплив на швидкість транспортування сипкого матеріалу.

Для піску з вологістю 10% було визначено оптимальні параметри

вібрацій, що забезпечують максимальну ефективність транспортування.

Таблиця 2.1 Значення середньої швидкості віброперемщення при нахилі поверхні 15^0

	Амплітуда коливань, мм		
V,Гц	3	4	5
15	-	-	0,03
20	0,012	0,08	0,09
25	0,036	0,15	0,12
30	0,12	0,18	0,24
35	0,14	0,22	0,31
40	0,18	0,26	0,30
45	0,22	0,30	0,40

Таблиця 2.1 Значення середньої швидкості віброперемщення при нахилі поверхні 20^0

	Амплітуда коливань, мм		
V,Гц	3	4	5
15	-	-	0,03
20	0,07	0,09	0,13
25	0,11	0,22	0,22
30	0,18	0,32	0,26
35	0,20	0,37	0,39
40	0,23	0,39	0,51
45	0,28	0,42	0,59

Таблиця 2.1 Значення середньої швидкості віброперемщення при нахилі поверхні 20^0

	Амплітуда коливань, мм		
V,Гц	3	4	5
15	-	-	0,07
20	0,08	0,09	0,18
25	0,14	0,18	0,36
30	0,19	0,22	0,42
35	0,21	0,33	0,47
40	0,30	0,42	0,56
45	0,32	0,52	0,68

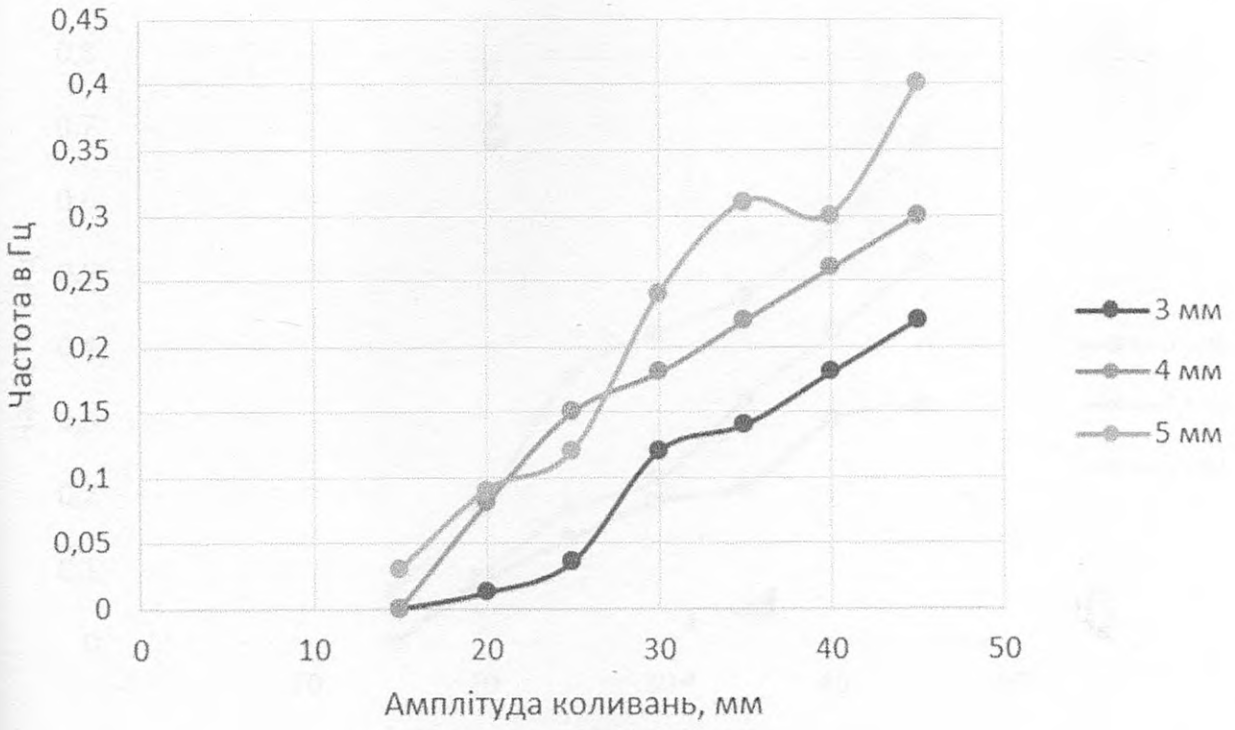


Рисунок 3.2 – Графік залежності середньої швидкості віброперемщення при нахилі поверхні 15^0

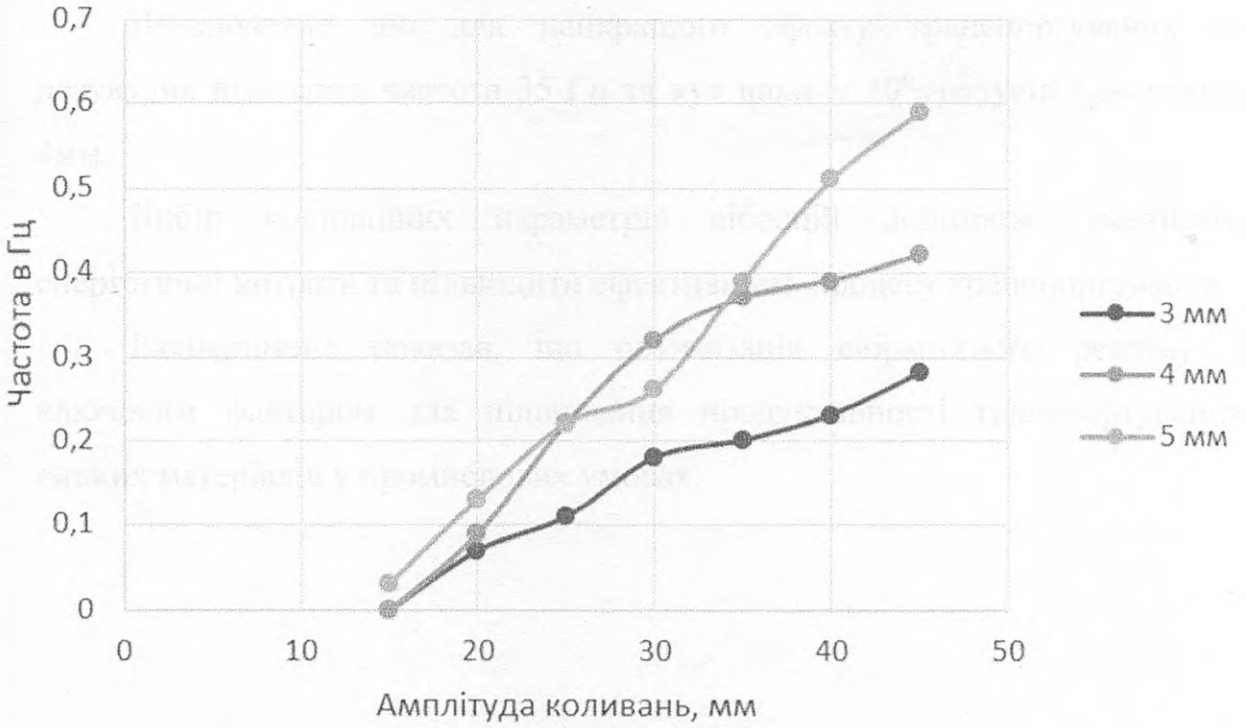


Рисунок 3.3 – Графік залежності середньої швидкості віброперeміщення при нахилі поверхні 20^0

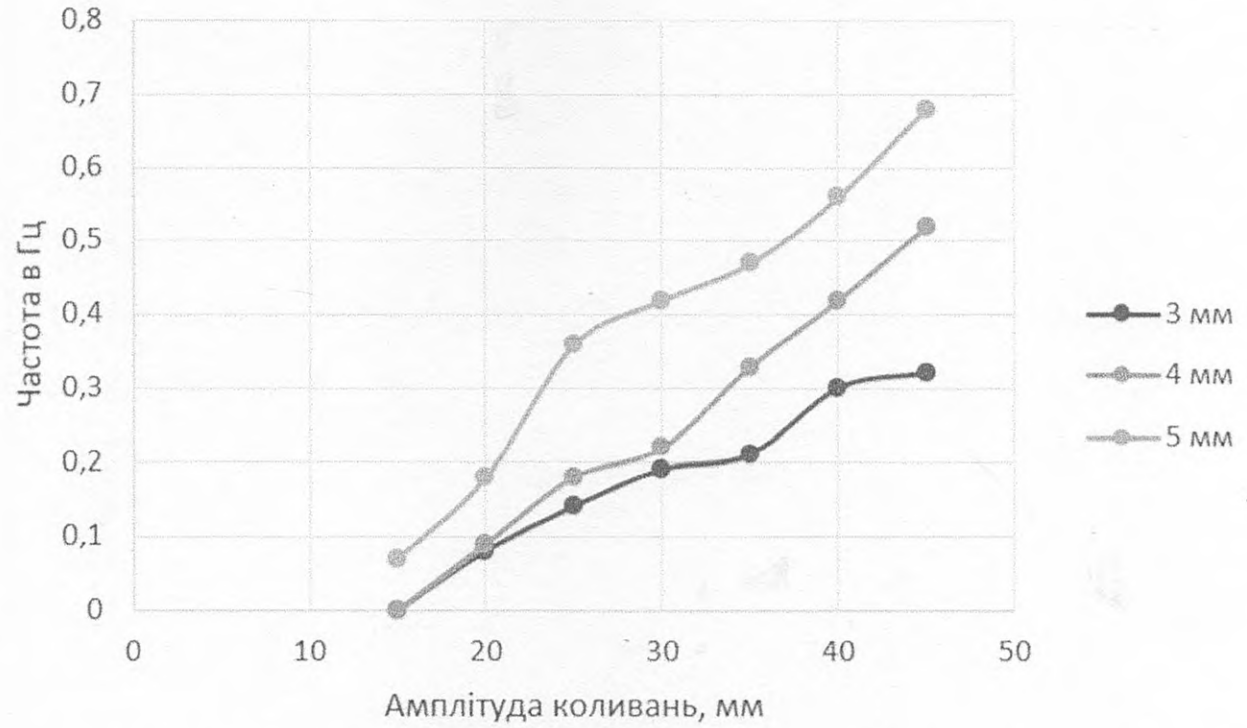


Рисунок 3.4 – Графік залежності середньої швидкості віброперeміщення при нахилі поверхні 25^0

Встановлено що для найкращого ефекту транспортування та дозування підходить частота 35 Гц та кут нахилу 20^0 градусів і амплітуді 4мм.

Вибір відповідних параметрів вібрацій допомагає зменшити енергетичні витрати та підвищити ефективність процесу транспортування.

Експеримент показав, що оптимізація вібраційного режиму є ключовим фактором для підвищення продуктивності транспортування сипких матеріалів у промислових умовах.

Висновки

В роботі проведено огляд обладнання яке використовується підчас транспортування та дозування насипних вантажів. Наведено різновиди вібраційного транспортуючого обладнання яке відрізняється за конструктивними схемами виконання так і за місцями та типом прикладання вимушуючої сили.

В теоретичній частині розглянуто методику за якою можна підібрати оптимальні режими роботи обладнання та розраховані параметри різних режимів роботи при зміні частоти коливання та амплітуди переміщення робочої поверхні.

Експеримент, проведений на вібраційному конвеєрі для транспортування піску з вологістю 10%, показав, що оптимізація амплітуди і частоти вібрацій має критичне значення для покращення ефективності транспортування сипких матеріалів. Правильний підбір параметрів вібрацій забезпечує максимальну швидкість транспортування, зменшення енергетичних витрат і підвищення загальної продуктивності системи. Результати підтверджують важливість точного налаштування вібраційного обладнання для досягнення високої ефективності в промислових умовах і можуть бути використані для вдосконалення технологій транспортування сипких матеріалів.

Список літератури

1. . Борейко В. І., Притула М.Ю. Перспективи виробництва будівельних матеріалів в Україні // Збірник наукових праць. Проблеми раціонального використання соціально-економічного та природно-ресурсного потенціалу регіону: фінансова політика та інвестиції, 2011. Випуск XVII. №4. С. 64-71.

2. Назаренко І.І. Машини для виробництва будівельних матеріалів: підручник. К.: КНУБА, 1999. 488 с.

3. Стороженко Л.І., Семко О.В., Єфіменко В.І. Сталезалізобетонні конструкції: Монографія. – К.: Четверта хвиля, 1997. – 160 с.

4. В.Й. Сівко. Механічне устаткування підприємств будівельних виробів Підручник. – К.:ІСДО, 1994. 359 с.

5. Азарян В.А. Дослідження процесів стабілізації амплітуднихколивань якості рудопотоків залізорудних кар'єрів / В.А. Азарян,С.О. Жуков // Вісник ЖДТУ : наук. журнал. – Житомир. – 2018. – Вип. 1 (81).– С. 240–245.

6. Назаренко І.І., Дєдов О.П., Дьяченко О.С., Огляд конструкцій існуючих навісних збудників коливань та дослідження ефективності їх використання для покращення ущільнення залізобетонних виробів на вібраційних установках. *Техніка будівництва*. 2018. Вип.39.С.46-55.

7. Делембовський М.М. Вплив режимів експлуатації і властивостей елементів вібромашин будівельної індустрії на процеси надійності. Грааль науки. 2021. №4. С.209-214.

8. Maslov O., Batsaikhan J., Salenko Yu. The theory of concrete mixture vibratory compacting. International journal of engineering and technology. 2018. №7(3), P.239-244.

9. Pinţoi R., Barbu A.M., Ionescu A. Vibrations influence on concrete compaction. Applied Mechanics and Materials. 2020. Vol.896, P.355-360.

10. Nesterenko Mykola Технологічність вібраційних площадок з просторовим рухом рухомої рами для формування залізобетонних виробів / Mykola Nesterenko, Mykola Nesterenko, Olexandr Orysenko, Taras Sklyarenko // ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Полтава: ПНТУ, 2019. – Т. 2 (53). – С. 13-18. – doi:https://doi.org/10.26906/znp.2019.53.1881.

11. Назаренко, І.І., Нестеренко, М.П. (2015). Методика досліджень загальної динамічної моделі «технологічна машина для будівельної індустрії – оброблюване середо- вище». Техніка будівництва. 34. 4-11.

12. Nesterenko M.P., Nesterenko M.M., Orysenko O.V. & Sklyarenko T.O. (2019). Vibrating tables with the spatial oscillations of the moving frame technological properties for forming reinforced concrete products. ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering. 2(53). 13-18. doi: https://doi.org/10.26906/znp.2019.53.1881.

13. P. Dallasega, E. Rauch & C. Linder (2018). Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. Computers in Industry. 99. pp.205-225. doi: https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039

14. Wang, S.; Wan, J.; Li, D.; Zhang, C. (2016) Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. Int. J. Distrib. Sens. Netw. 12. 3159805. doi: https://doi.org/10.1155/2016/3159805

Додатки

Презентаційні матеріали за темою:

«Аналіз впливу вібрацій на процеси транспортування сипких матеріалів»

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Кваліфікаційна робота магістра
на тему:

Аналіз впливу вібрацій на процеси транспортування сипких матеріалів

Виконав: студент VI курсу, групи 601-ММв
напряму підготовки (спеціальності)
133 Галузеве машинобудування
Скорик Сергій Анатолійович
Керівник Нестеренко М.М.

Полтава 2024

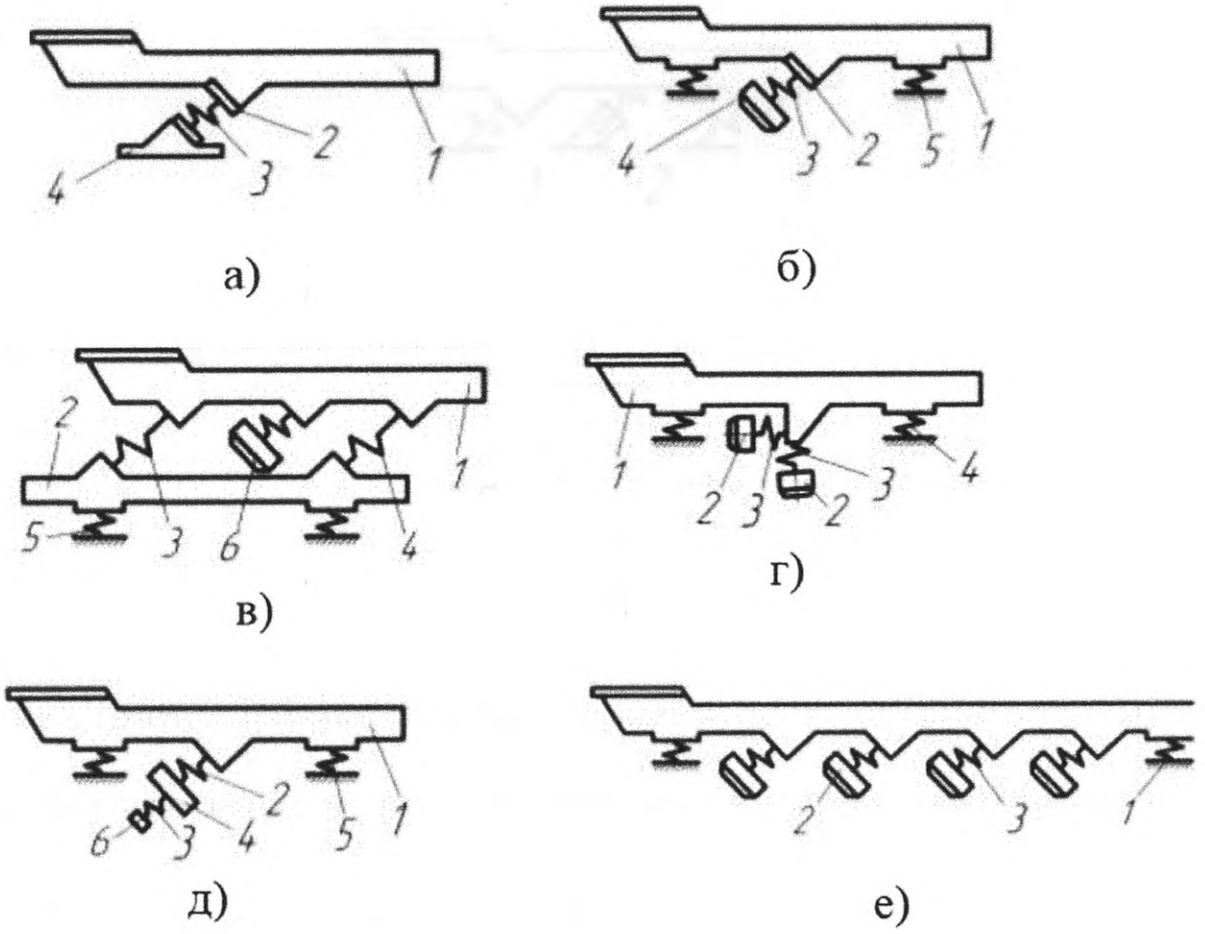
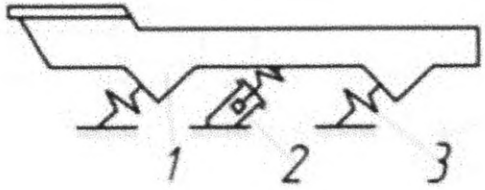
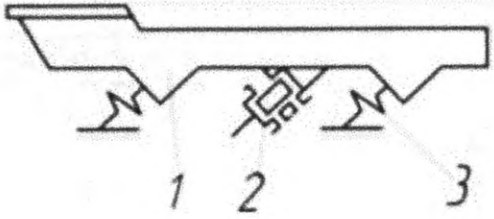


Рисунок 1.– Структурні схеми вібраційних транспортуючих машин з електромагнітним віброприводом



а)



б)

а) Одномасова пневматична вібраційна машина з поршневим вібровозбудником.б) Двомасова пневматична вібраційна машина з поршневим вібровозбудником.

Рисунок 2 – Структурні схеми вібраційних транспортуючих машин з пневматичним віброприводом

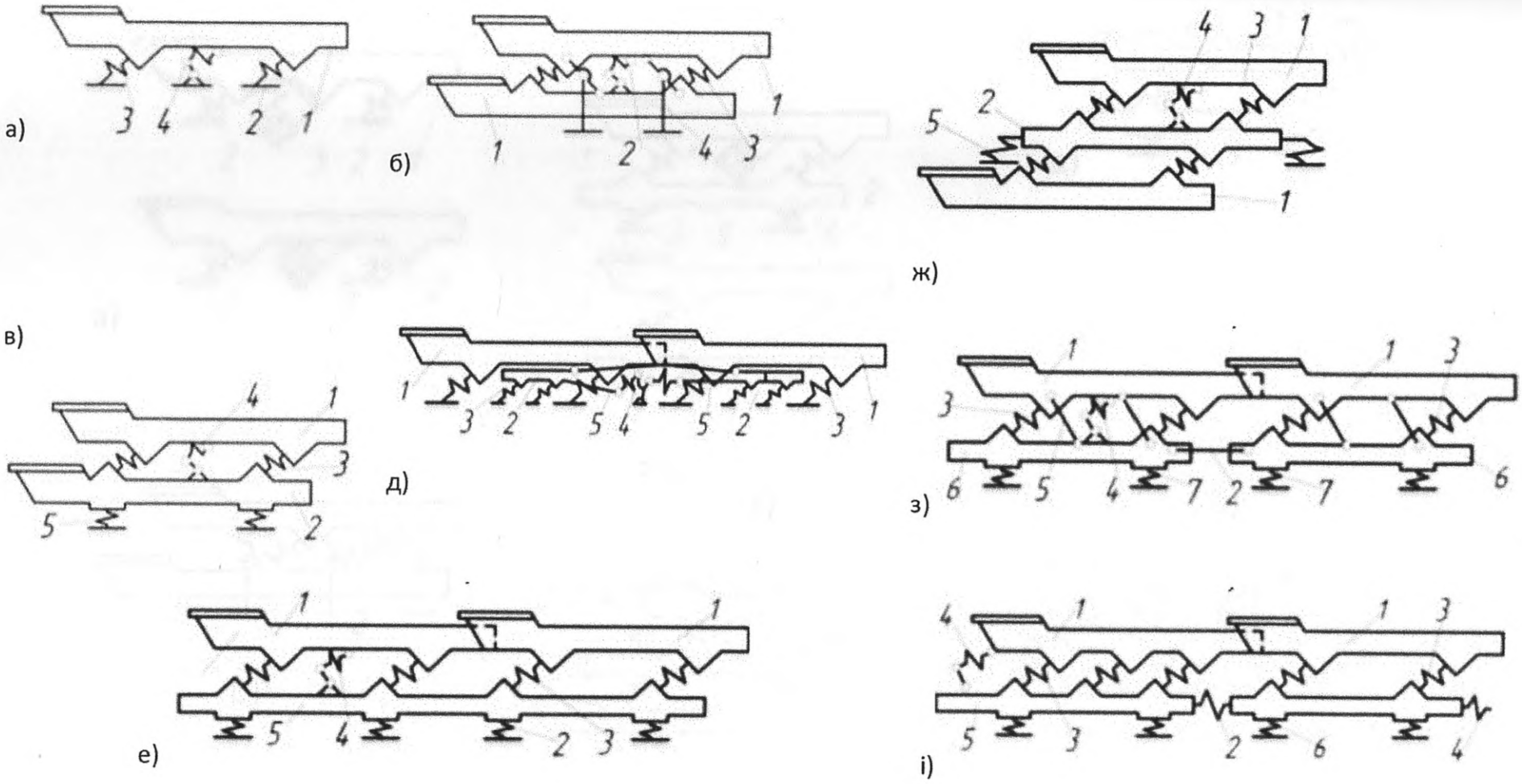


Рисунок 3 – Структурні схеми вібраційних транспортуючих машин з ексцентриковим віброприводом

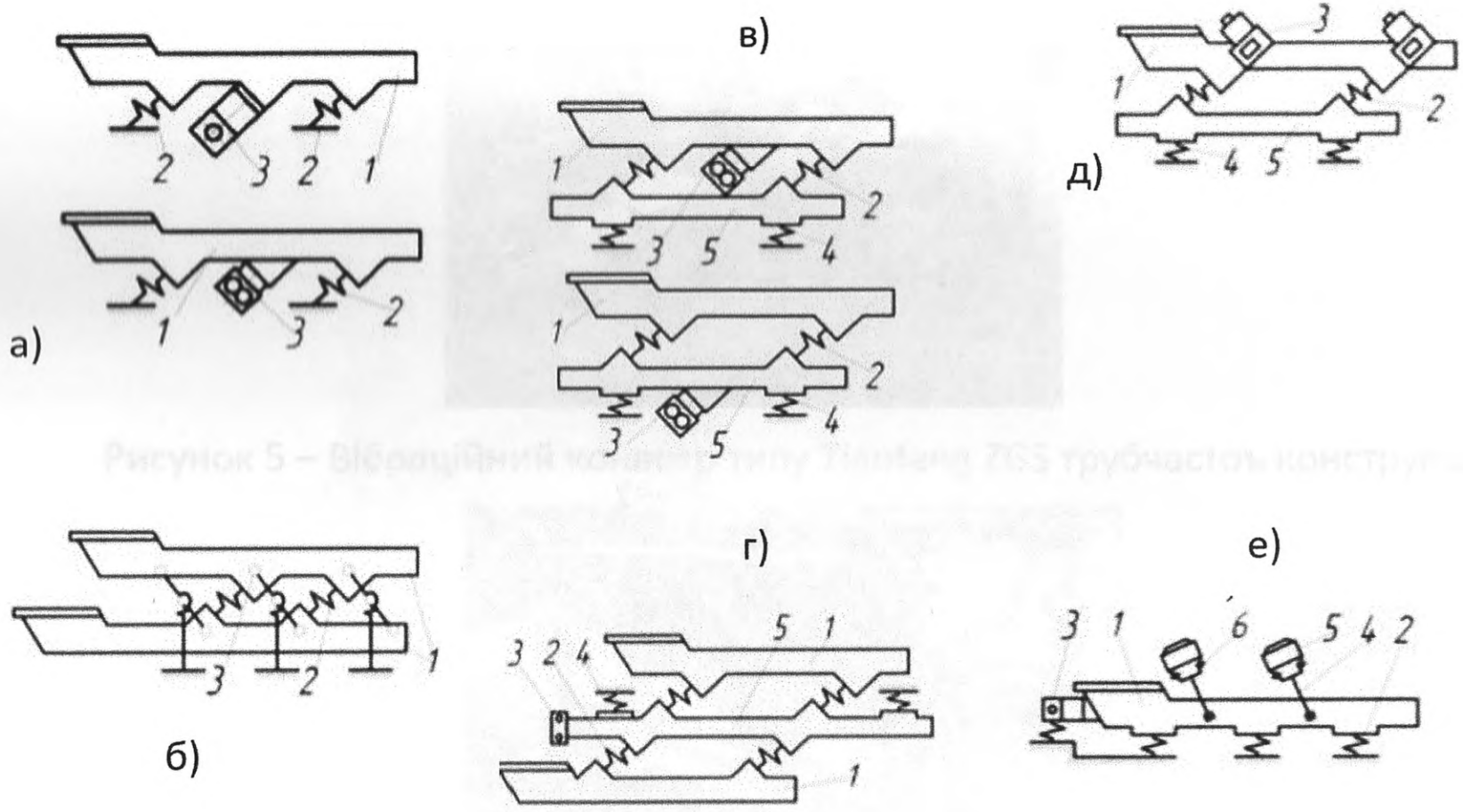


Рисунок 4 –Схеми вібраційних транспортуючих машин з віброзбуджувачем.

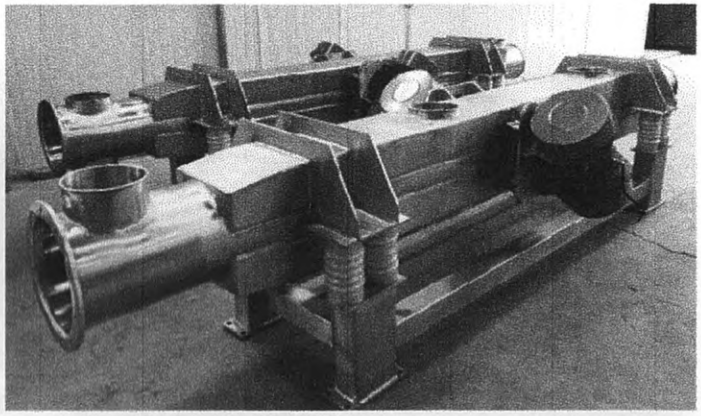


Рисунок 5 – Вібраційний конвеєр типу Tianfeng ZGS трубчастоъ конструкції

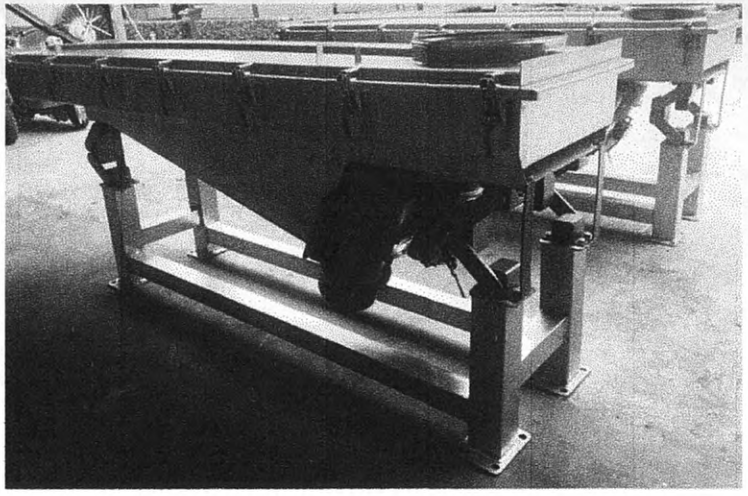


Рисунок 6 – Вібраційний конвеєр серії ZPS

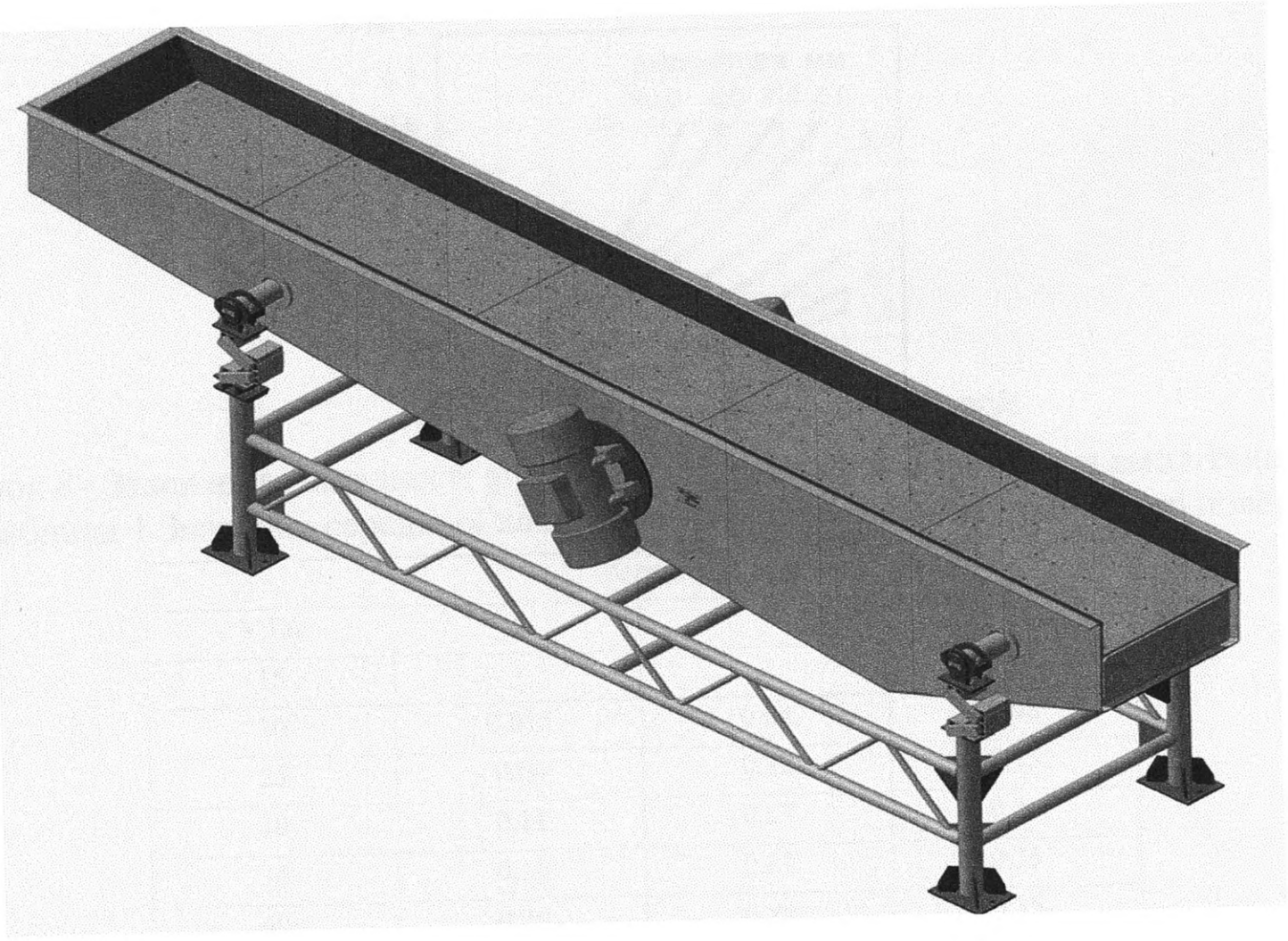


Рисунок 7 – Вібраційний конвеєр КВ-08

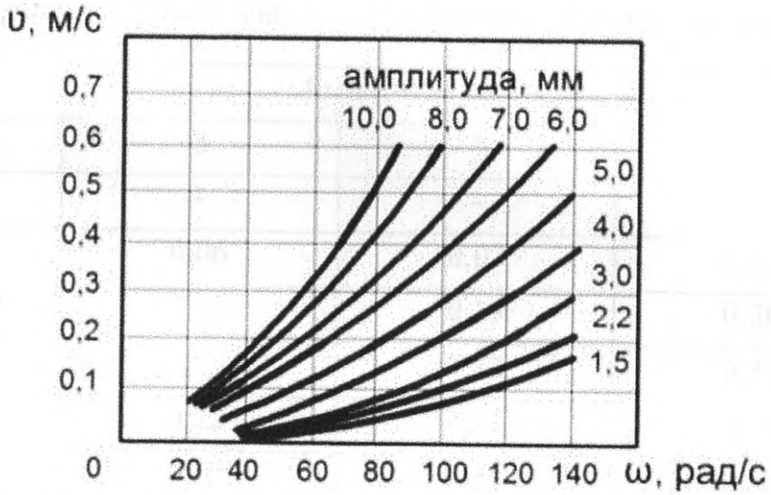


Рисунок 8– Залежність швидкості вібротранспортування від частоти та амплітуди коливань

Таблиця 1 Значення середньої швидкості вібропереміщення при нахилі поверхні 15^0

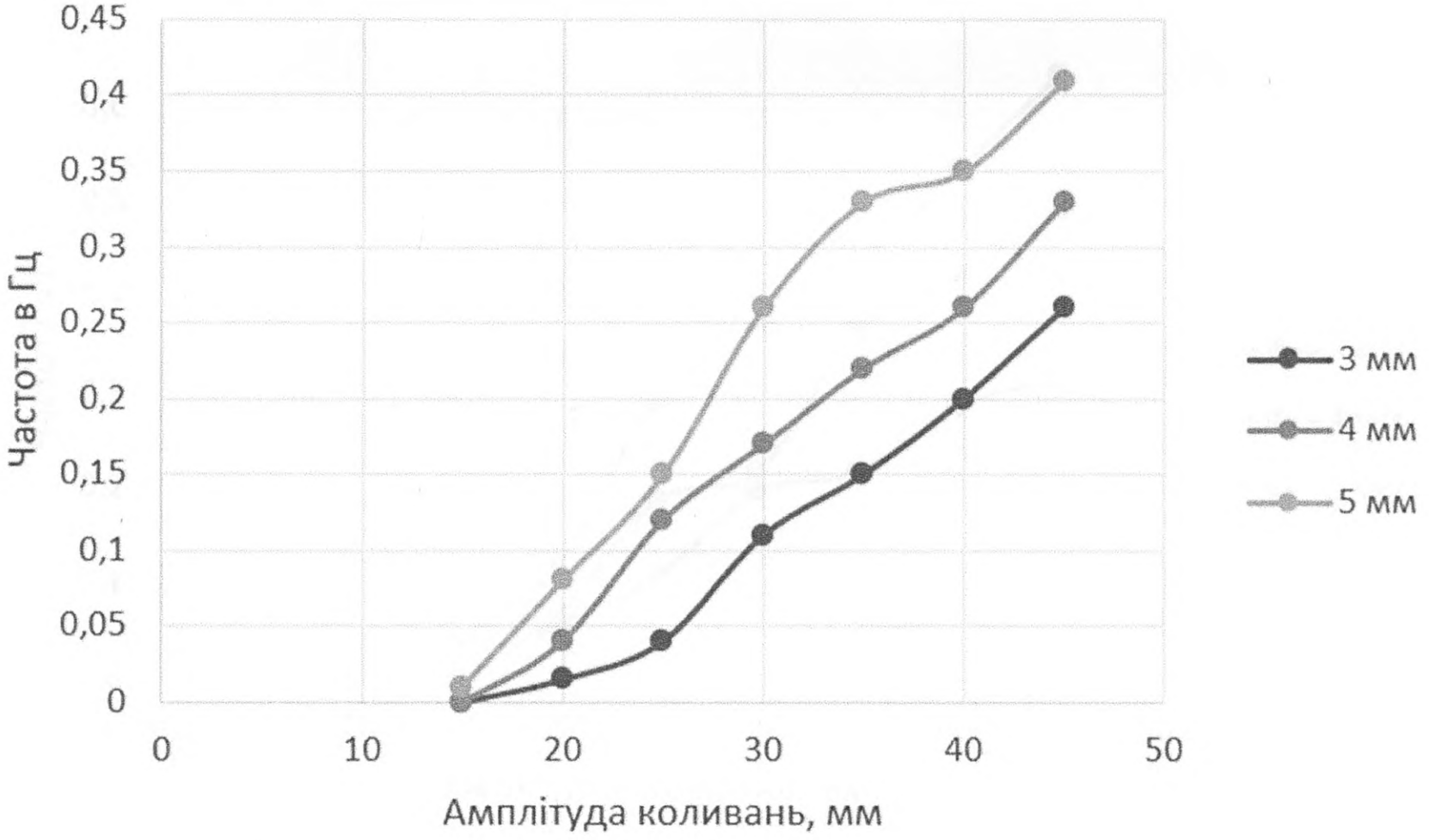
	Амплітуда коливань, мм		
V,Гц	3	4	5
15	-	-	0,01
20	0,015	0,04	0,08
25	0,04	0,12	0,15
30	0,11	0,17	0,26
35	0,15	0,22	0,33
40	0,20	0,26	0,35
45	0,26	0,33	0,41

Таблиця 2 Значення середньої швидкості віброперемішення при нахилі поверхні 20^0

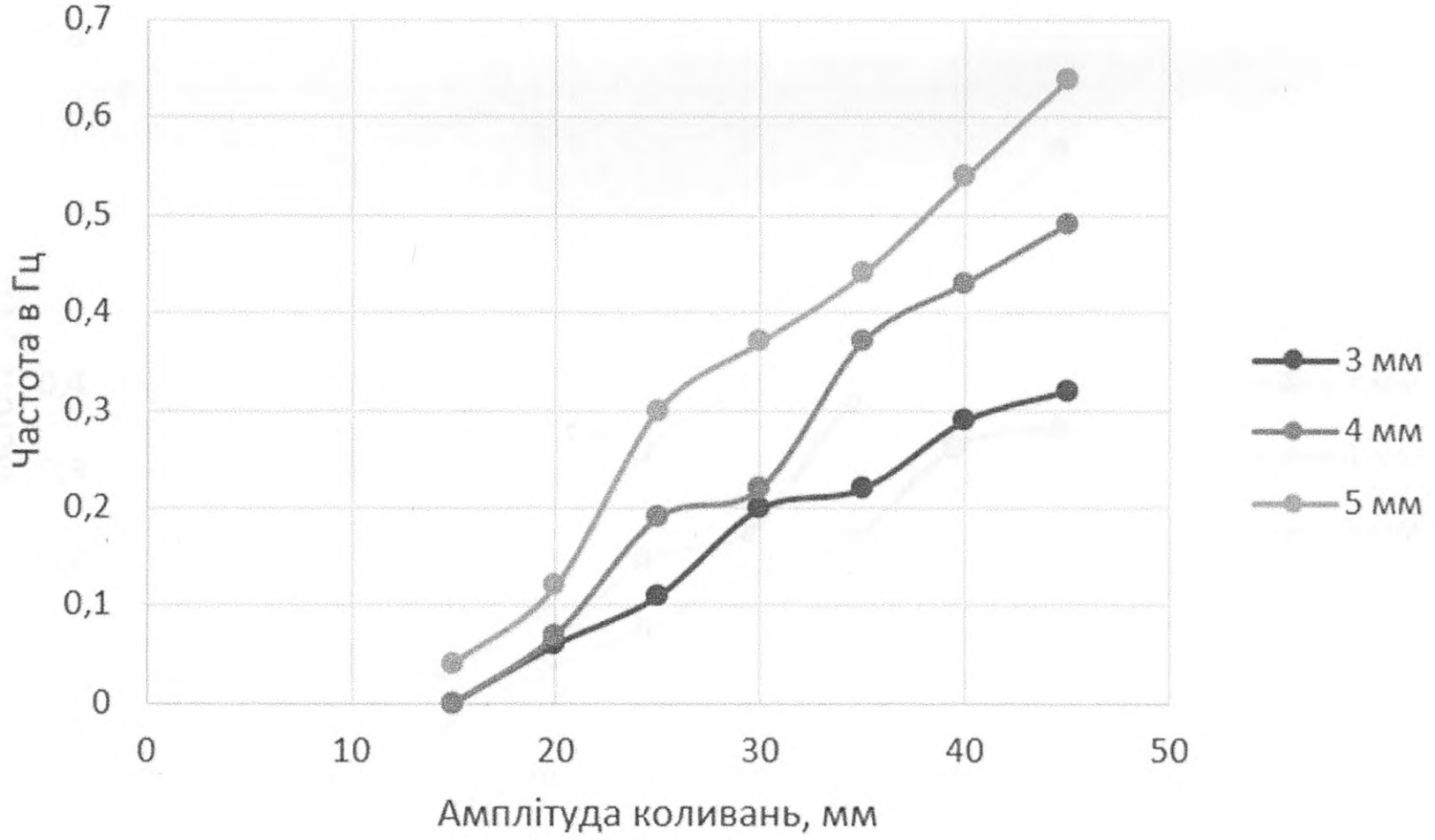
	Амплітуда коливань, мм		
V,Гц	3	4	5
15	-	-	0,04
20	0,06	0,07	0,12
25	0,11	0,19	0,30
30	0,20	0,22	0,37
35	0,22	0,37	0,44
40	0,29	0,43	0,54
45	0,32	0,49	0,64

Таблиця 3 Значення середньої швидкості віброперемішення при нахилі поверхні 20^0

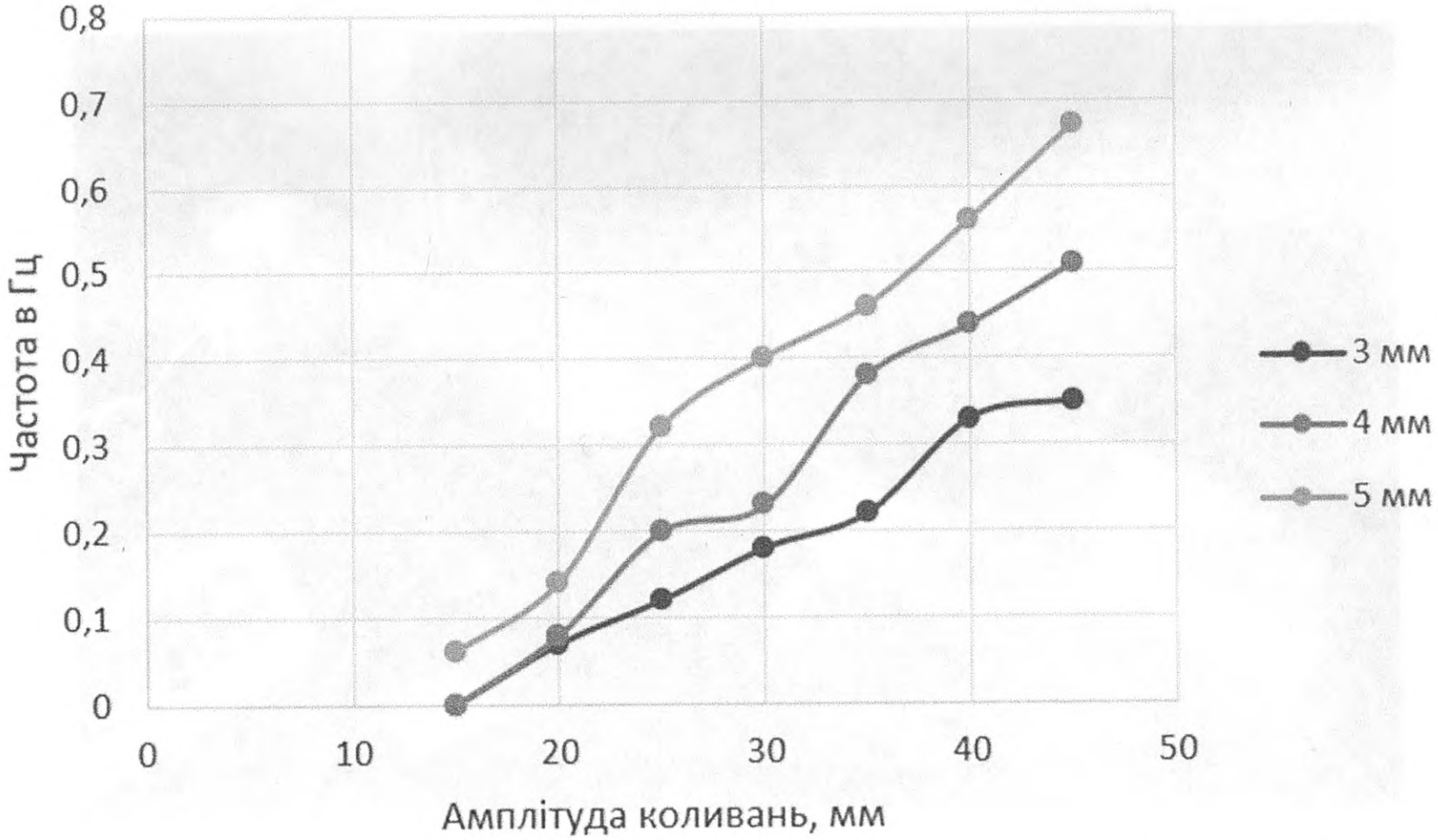
	Амплітуда коливань, мм		
V,Гц	3	4	5
15	-	-	0,06
20	0,07	0,08	0,14
25	0,12	0,20	0,32
30	0,18	0,23	0,40
35	0,22	0,38	0,46
40	0,33	0,44	0,56
45	0,35	0,51	0,67



Графік залежності середньої швидкості віброперемiщення при нахилі поверхні 15^0



Графік залежності середньої швидкості віброперемщення при нахилі поверхні 20^0



Графік залежності середньої швидкості віброперемщення при нахилі поверхні 25^0

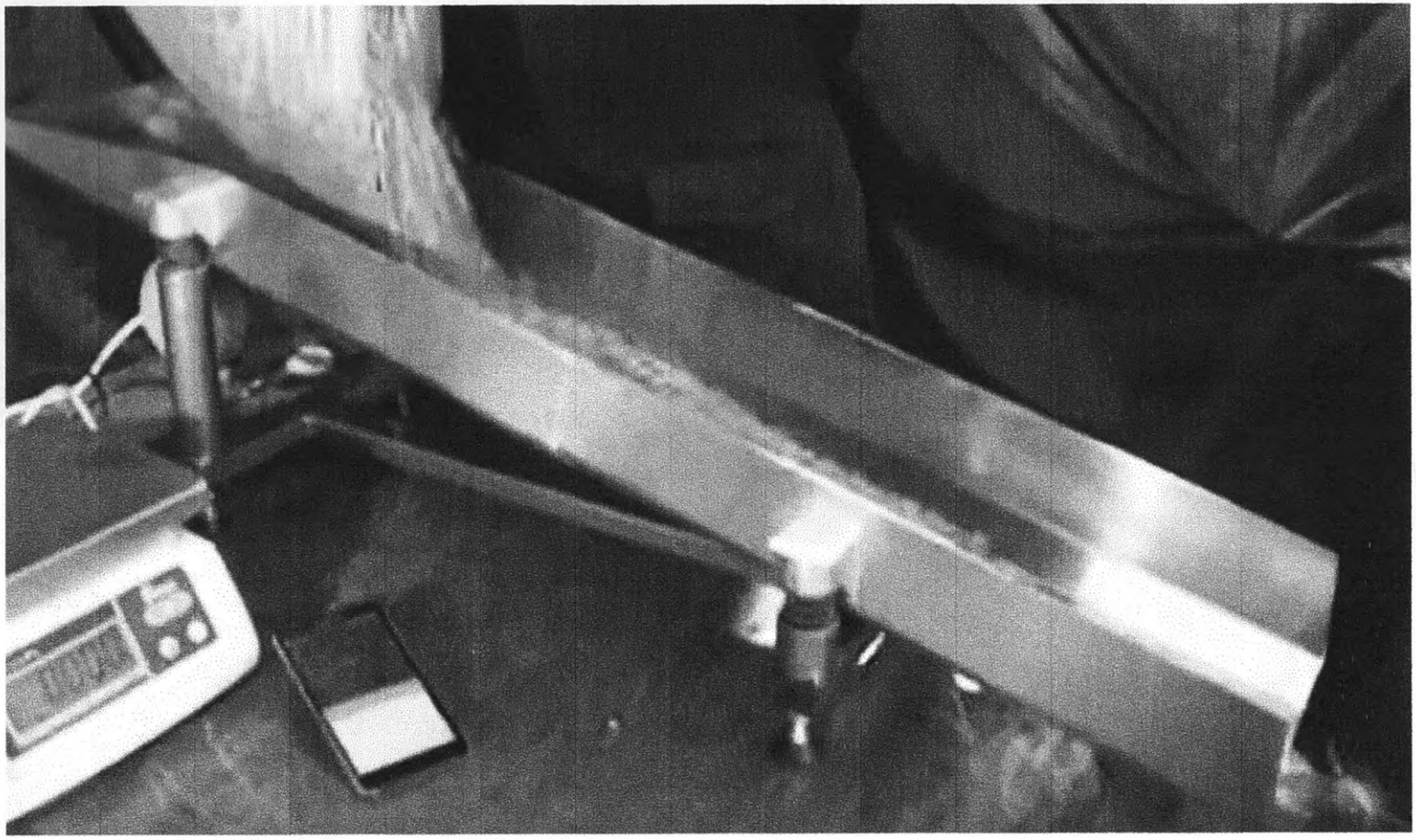
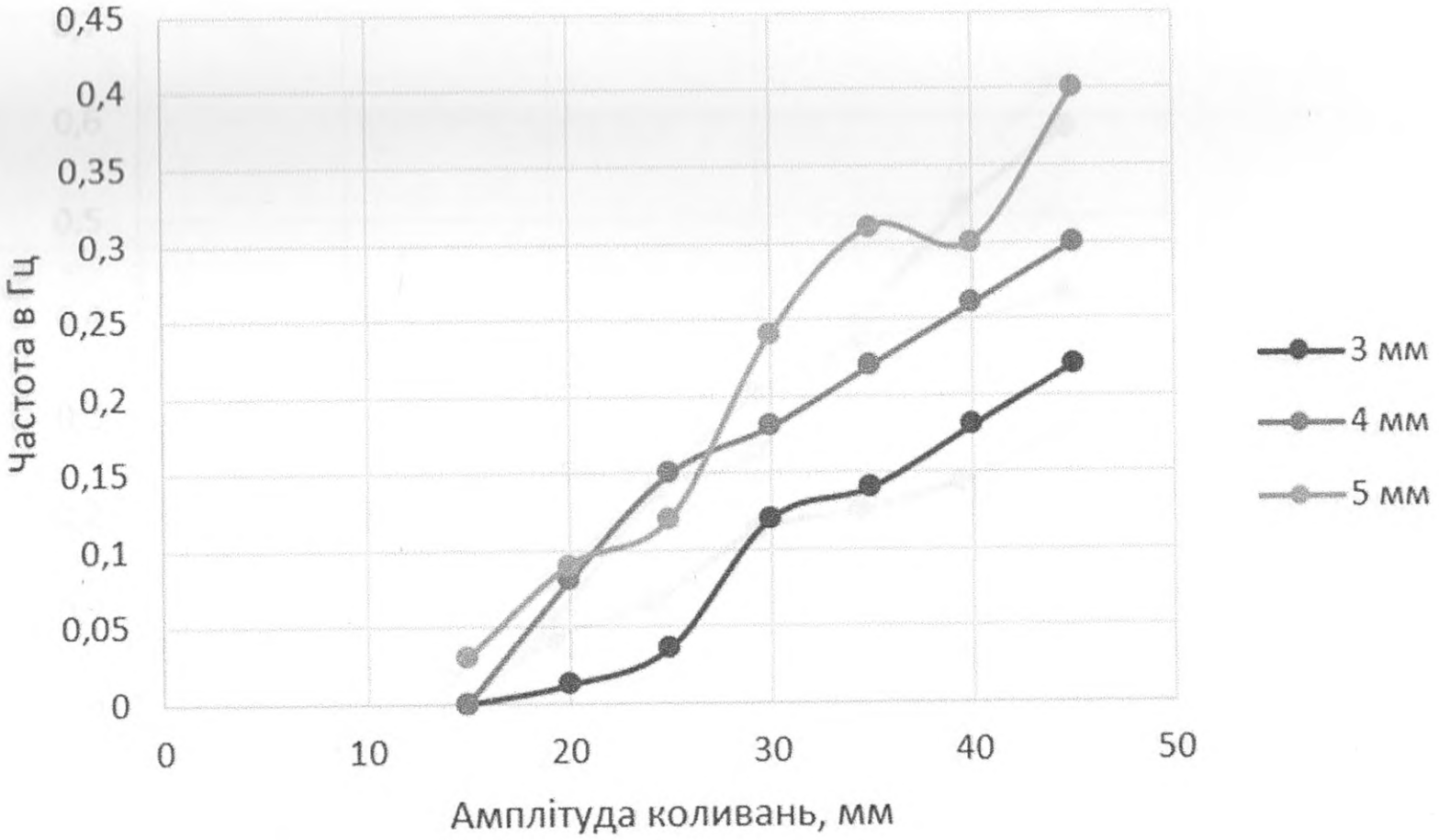
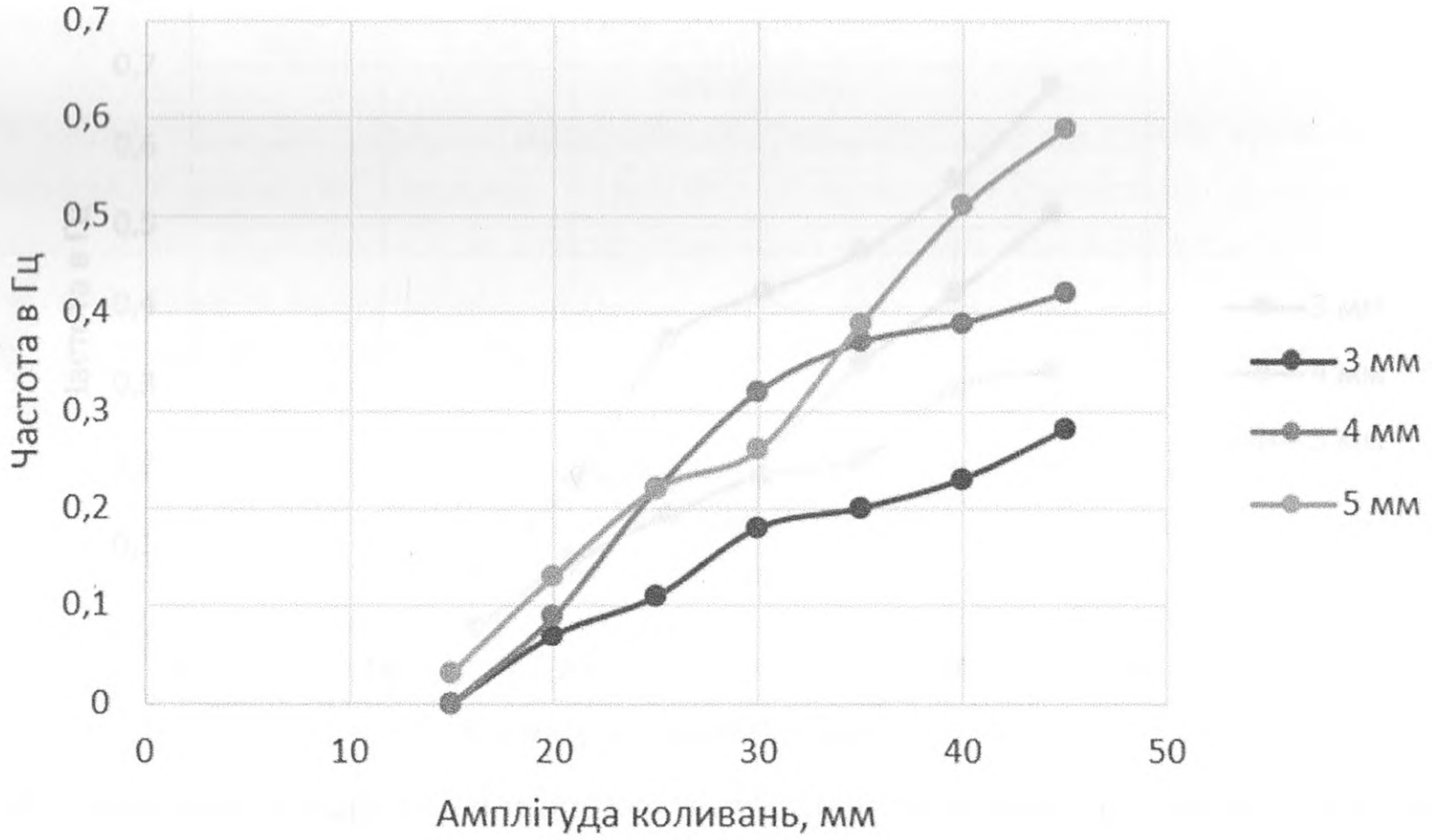


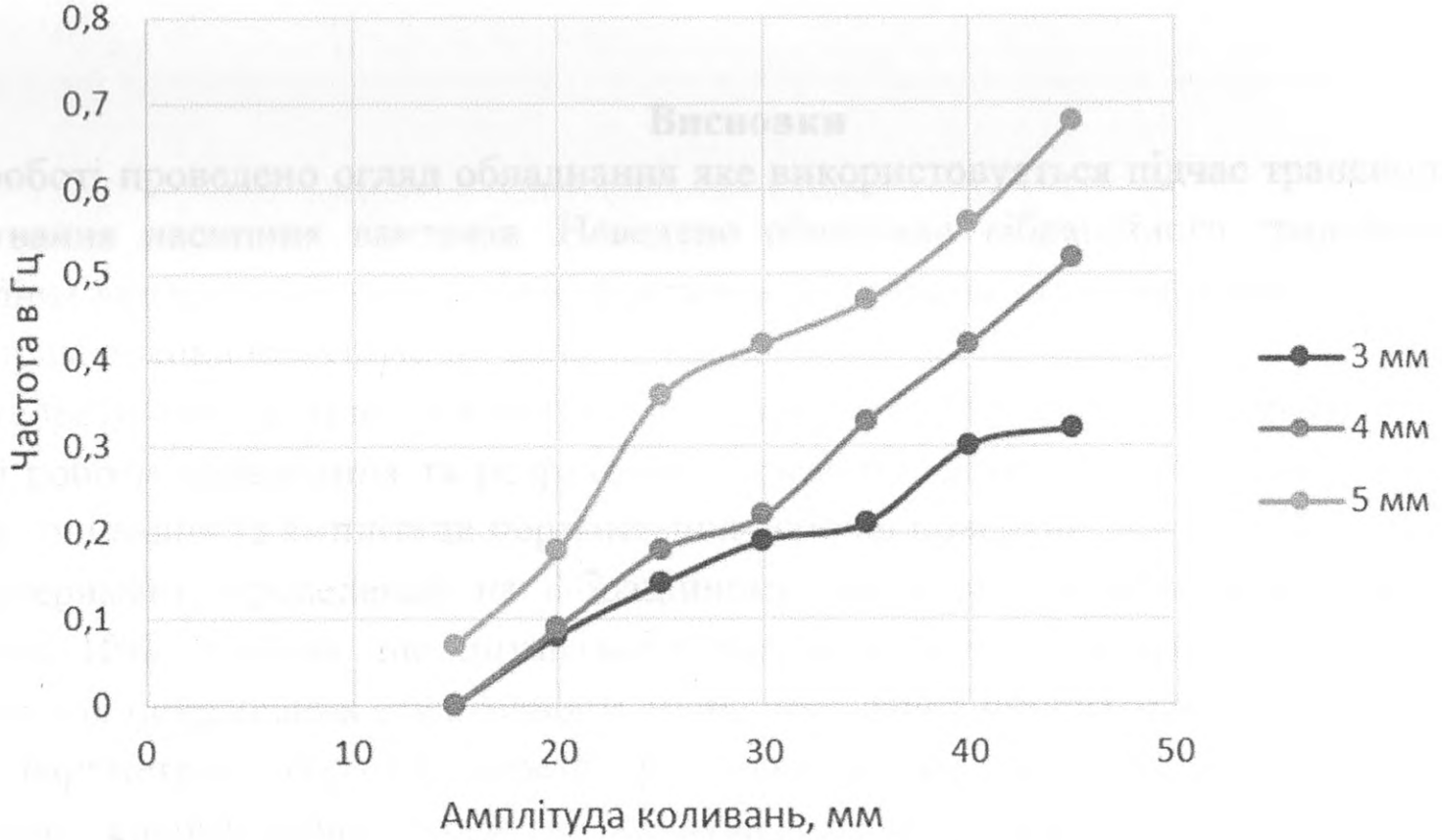
Рисунок 9– Вібраційний конвеєр



Графік залежності середньої швидкості віброперемiщення при нахилі поверхні 15^0



Графік залежності середньої швидкості віброперемщення при нахилі поверхні 20^0



Графік залежності середньої швидкості віброперемiщення при нахилі поверхні 25^0

Встановлено що для найкращого ефекту транспортування та дозування підходить частота 35 Гц та кут нахилу 20^0 градусів і амплітуді 4мм.

Висновки

В роботі проведено огляд обладнання яке використовується підчас транспортування та дозування насипних вантажів. Наведено різновиди вібраційного транспортуючого обладнання яке відрізняється за конструктивними схемами виконання так і за місцями та типом прикладання вимушуючої сили.

В теоретичній частині розглянуто методику за якою можна підібрати оптимальні режими роботи обладнання та розраховані параметри різних режимів роботи при зміні частоти коливання та амплітуди переміщення робочої поверхні.

Експеримент, проведений на вібраційному конвеєрі для транспортування піску з вологістю 10%, показав, що оптимізація амплітуди і частоти вібрацій має критичне значення для покращення ефективності транспортування сипких матеріалів. Правильний підбір параметрів вібрацій забезпечує максимальну швидкість транспортування, зменшення енергетичних витрат і підвищення загальної продуктивності системи. Результати підтверджують важливість точного налаштування вібраційного обладнання для досягнення високої ефективності в промислових умовах і можуть бути використані для вдосконалення технологій транспортування сипких матеріалів.