

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Кафедра „Прикладна механіка та матеріалознавство”

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

_____ Ракша С.В. _____

(підпис)

(ПІБ)

20 ____ р. _____ «____»

ДИПЛОМНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань ____ 13 ____ «Механічна інженерія» _____

(шифр)

(назва)

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування» _____

Тема: «Дослідження та розробка вібраційної системи ґрунтоутіщільнювального котка» _____

Theme «Research and development of vibration system of soil compaction roller» _____

ДІП. 630000. 305. МРПЗ

Керівник дипломного проекту ____ доцент ____ Главацький К.Ц. ____

(посада)

(підпис)

(ПІБ)

Керівник розділу з БЖД ____ професор ____ Саблін О.І. ____

(посада)

(підпис)

(ПІБ)

Нормоконтролер ____ ст.викл. ____ Посмітюха О. П. ____

(посада)

(підпис)

(ПІБ)

Виконавець, студент групи ____ ПМ1921 ____ Ковальов М.М. ____

(посада)

(підпис)

(ПІБ)

Student ____ Kovalev Maxim ____

(Family, name)

Дніпро

2020

Факультет транспортна інженерія кафедра: «Прикладна механіка та матеріалознавство»

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

(підпис)

” ____ ” _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до магістерської дипломної роботи на здобуття ОКР «магістр»

студента групи ПМ1921 Ковальова Максима Максимовича
(номер групи) (прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема магістерської роботи «Дослідження та розробка вібраційної системи ґрунлушільнювального котка»

Затверджена наказом по університету № 820 ст від ” 10 ” жовтня 2019 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи 10.12.2020 р.

3. Вихідні дані до магістерської роботи: Вид коливань – кругові, спрямовані, еліптичні, циркуляційні. Категорія ґрунту - I – IV. Вид навантаження – статичне. Тип силового контуру - замкнений на масив ґрунту; тип приводу - механічний, гідравлічний.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань до розробки) Вступ. 1 Технічне обґрунтування проекту 1.1 Огляд і аналіз дебалансів, блоків, контурів, модулів вібраційних систем 1.2 Огляд конструкцій вібраційних збуджувачів коливань 1.3 Аналіз аналітичних залежностей для визначення основних параметрів планетарних віброзбуджувачів 2 Синтез ВСМТ. Напрямки удосконалення всмт і технологій їх застосування 2.1 Приклади влаштування ВСМТ 2.2 технічні пропозиції налаштування ВС на заданий вектор збуджуючої сили 3 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях 3.1 Вимоги безпеки при роботі з віброустановками

5. Перелік креслень (демонстраційного матеріалу) Огляд конструкцій вібробуджувачів. Схеми планетарних вібробуджувачів. Загальна класифікація планетарних вібробуджувачів. Види розбалансування бігунка. Розрахункові схеми. Загальні висновки.

6. Розділи та консультанти

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	професор Саблін О.І.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва розділів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання розділів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ		
2	Технічне обґрунтування проекту	12-18.10.20120	виконано
3	Синтез всмт. Напрямки удосконалення всмт і технологій їх застосування		
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	09-15.11.2020	виконано
5	Загальні висновки та рекомендації.		
6	Бібліографічний список.	30.11-06.12.2020	виконано

7. Дата видачі завдання 01 листопада 2019 року

Керівник завдання _____

(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

РЕФЕРАТ

Кількість томів: 1

В пояснювальній записці всього 80 сторінок

Найменування роботи: «Дослідження та розробка вібраційної системи ґрунтоущільнювального котка»

Ілюстрації: схем 7, рисунків 6

графіків 1, фотографій 0

таблиць 1.

Ключові слова: ущільнення, ґрунт, вібрація, частота, амплітуда, вид коливань, збурююча сила, ядро ущільнення, схема, робочий орган, машина, параметри, контакт, взаємодія, дослідження, методика, моделювання, технологія.

Текст реферату: Мета роботи полягає в розробці дебалансних систем вібраційного обладнання.

Для досягнення мети у роботі поставлені і вирішені такі завдання:

- проведені оцінка та аналіз досліджень в області створення планетарних вібробуджувачів коливань;
- розроблені конструкція та розрахункова схема планетарного вібраційного збуджувача коливань з внутрішньою обкаткою кільцевого дебалансу, що створює потужну вимушуючу силу;
- проведені теоретичні дослідження основних раціональних параметрів планетарного вібраційного збуджувача коливань за умови його контактної міцності;
- визначено сили, що діють у двочастотному вібраційному збуджувачі коливань;
- отримана математична модель планетарного вібробуджувача коливань з двигуном обмеженої потужності та досліджено його динаміку;
- проведені дослідження горизонтальних коливань системи «машина –

пакет з віброоброблюваним середовищем» для встановлення впливу кількості одночасно оброблюваних форм, їх геометричних розмірів, а також механічних властивостей середовища на форму його коливань.

Теоретичні дослідження будуються на основних класичних положеннях механіки машин, теорії коливань механічних систем, математичних методах обробки результатів досліджень.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	7
1.1 Огляд і аналіз дебалансів, блоків, контурів, модулів вібраційних систем	7
1.2 Огляд конструкцій вібраційних збуджувачів коливань	9
1.3 Аналіз аналітичних залежностей для визначення основних параметрів планетарних віброзбуджувачів	16
2 СИНТЕЗ ВСМТ. НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ВСМТ І ТЕХНОЛОГІЙ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ	25
2.1 Приклади влаштування ВСМТ	25
2.2 Технічні пропозиції налаштування ВС на заданий вектор збурюючої сили	32
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	59
3.1 Вимоги безпеки при роботі з віброустановками	59
3.2 Дії працівників під час виникнення аварійних ситуацій	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	68
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	69

ВСТУП

На даний час найбільшого застосування у вібраційних машинах для ущільнення будівельних матеріалів набули відцентрові вібровозбуджувачі коливань кругової і спрямованої дії.

У відомих дебалансних вібробуджувачів є суттєвий недолік – за необхідності створення високочастотних коливань з великою вимушуючою силою вони мають складну конструкцію через значну кількість дебалансних валів, підшипників, з'єднувальних валів та синхронізаторів, і, як правило, швидко виходять з ладу.

Для усунення зазначених вище недоліків необхідно створити такий вібробуджувач коливань, який можна використовувати у вібраційній машині як малої, так і великої вантажопідйомності.

Пропонується використати планетарний вібробуджувач, що має потужну вимушуючу силу і забезпечує багаточастотні режими вібрації. Він дозволить значно спростити конструкцію вібраційної машини, підвищити її надійність і зменшити необхідну потужність приводу.

Мета роботи полягає в розробці дебалансних систем вібраційного обладнання.

Для досягнення мети у роботі поставлені і вирішені такі завдання:

- проведені оцінка та аналіз досліджень в області створення планетарних вібробуджувачів коливань;
- розроблені конструкція та розрахункова схема планетарного вібраційного збуджувача коливань з внутрішньою обкаткою кільцевого дебалансу, що створює потужну вимушуючу силу;
- проведені теоретичні дослідження основних раціональних параметрів планетарного вібраційного збуджувача коливань за умови його контактної міцності;

– визначено сили, що діють у двочастотному вібраційному збуджувачі коливань;

– отримана математична модель планетарного віброзбуджувача коливань з двигуном обмеженої потужності та досліджено його динаміку;

– проведені дослідження горизонтальних коливань системи «машина – пакет з віброоброблюваним середовищем» для встановлення впливу кількості одночасно оброблюваних форм, їх геометричних розмірів, а також механічних властивостей середовища на форму його коливань.

Теоретичні дослідження будуються на основних класичних положеннях механіки машин, теорії коливань механічних систем, математичних методах обробки результатів досліджень.

1 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

1.1 Огляд і аналіз дебалансів, блоків, контурів, модулів вібраційних систем

Основними завданнями, що постають перед сучасним будівництвом, є створення й впровадження прогресивної технології, систем машин і механізмів, що забезпечують комплексну механізацію будівельно-монтажних і спеціальних робіт. Перспективним напрямком удосконалення ґрунтоущільнюючих машин є створення вібросистем в яких передбачається можливість регулювання вектора збурюючої сили за допомогою різних її складових (маса та ексцентриситет дебаланса, кутова швидкість, взаємне розташування дебалансів відносно один одного і т. ін.).

З огляду на велике різноманіття існуючих ідей поліпшення машин даного класу, відбитих у патентній і іншій науково-технічній літературі, доцільно ознайомитися не тільки з ними, але й зі способами досягнення запропонованих в них позитивних результатів з мінімальними витратами матеріальних і трудових ресурсів.

Класифікацію ВС слід почати з виділення і визначення їх основних складових частин, що є безпосереднім джерелом збурюючої сили, а саме: елементів, блоків, контурів і модулів.

Елемент вібросистеми – це ексцентрично розташована маса певної форми, розмірів і властивостей.

Дебалансом може служити ексцентрично закріплене щодо осі обертання тіло будь-якої форми, статичний момент маси якого щодо цієї осі рівний заданому. Проте з цього не виходить, що конструкція і форма перетину дебалансу не мають значення.

Основним параметром, характеризуючим дебаланс як елемент відцентрового віброзбудника, є статичний момент його маси щодо осі обертання.

Дебаланси бувають двох типів: з постійним в процесі запуску і зупинки статичним моментом маси (постійні дебаланси) або із змінним в процесі запуску і зупинки статичним моментом маси (регульовані дебаланси).

Дебаланс зазвичай має урівноважену і неуврівноважену частини. Статичний момент урівноваженої частини дебалансу рівний нулю.

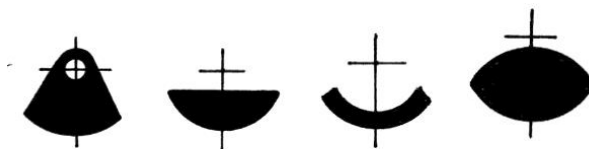


Рис 1.1. Схеми дебалансів

Серед відомих форм дебалансів найпоширенішими є секторна, кругова, сегментна, кільцево-сегментна (рис. 1.1).

Дебаланси розрізняються за матеріалом виготовлення. Вони можуть бути виготовлені з того ж матеріалу, що і вал, чи зроблені як наповнювач.

Також вони розрізняються за способом регулювання ексцентриситету та маси. Дебаланси, які зроблені як наповнювачі, при зміні об'єму залитої рідини, можуть змінювати свою масу і ексцентриситет. А підпружинені дебаланси можуть змінювати ексцентриситет зі зміною розтягу пружини.

За розміщенням дебаланси можуть бути із симетричним розміщенням, чи з асиметричним.

Блок ВС – це поєднання елементів ВС однакової чи різної форми, розмірів і властивостей з урахуванням ексцентриситету, маси, частоти обертання і їх взаємного розташування.

Контур ВС – це певне взаємне розташування блоків з урахуванням їх кількості, зв'язку між ними та фаз взаємного обертання.

Модуль ВС – це певне взаємне розташування блоків з врахуванням їх кількості, зв'язку між ними та фаз взаємного обертання, а також взаємного розташування контурів і їх кількості.

1.2 Огляд конструкцій вібраційних збуджувачів коливань

Область застосування вібраційних машин безперервно зростає і на даний час широко охоплює будівельну індустрію, зокрема, транспортну техніку, гірничу промисловість, машинобудування, сільське господарство, будівництво, транспорт, суднобудування, медицина та наукові лабораторії.

Суттєво важливим елементом вібраційних машин є віброзбуджувачі коливань, серед яких розрізняють механічні, пневматичні та гідравлічні, електромагнітні, а також ексцентрикові приводи. Для нормальної роботи вібраційної машини важливе значення також мають пружні елементи, а також опорно-підтримувальні пристрої, які впливають на строки служби, експлуатаційну надійність і енергоємність машин.

Найбільш поширеним типом збуджувачів коливань вібраційних котків є інерційні віброзбуджувачі з обертальним рухом інерційного елемента – відцентрові віброзбуджувачі, з яких розрізняють дебалансні та планетарні. На рис. 1.2 приведені схеми відцентрових дебалансних збуджувачів від простого до більш складного.

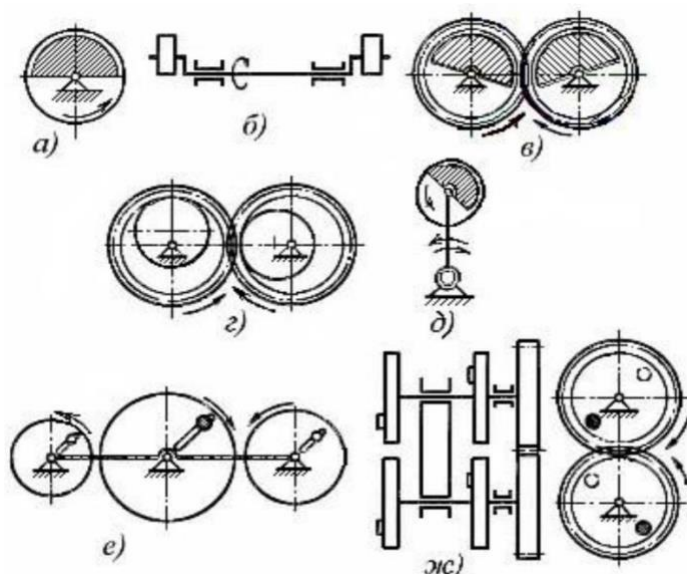


Рис. 1.2 Схеми відцентрових збуджувачів:

- а) з однією неврівноваженою масою; б) самоцентруючий; в) спрямованої дії;
г) самобалансний; д) маятниковий; е) з трьома дебалансами;
жс) чотиримасний напрямленої дії

Для регулювання амплітуди коливань робочого органу використовують розсувні дебаланси. Нерухома частина цих дебалансів міцно закріплена на дебалансному валу за допомогою шпонки, шліців або гвинтового з'єднання, а рухома, яка може повертатися відносно нерухомої на певний кут, – закріплюється в цьому положенні за допомогою гвинтового з'єднання або шпонки.

Розсувні дебаланси (рис. 1.3) бувають зі ступінчастим (а), або плавним (б) регулюванням статичного моменту, або зі ступінчастим регулюванням статичного моменту знімними вантажами (в).

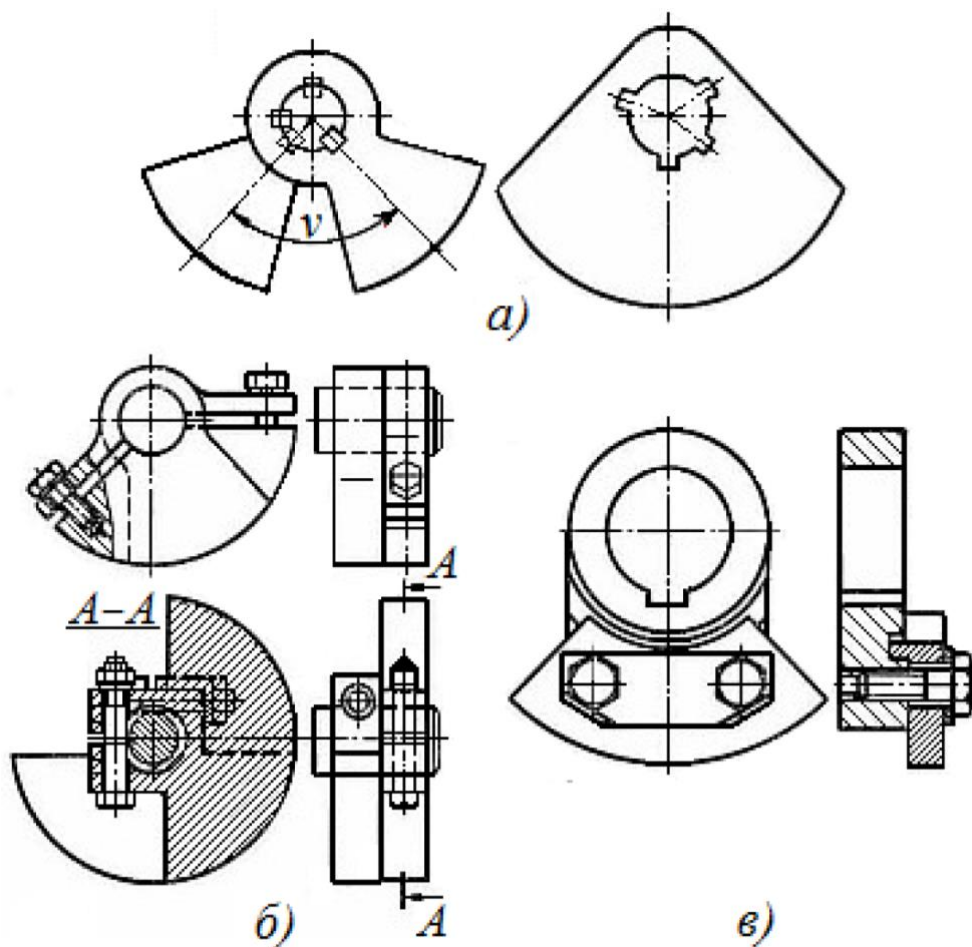


Рис. 1.3 Конструкції розсувних дебалансів

Висувні дебаланси застосовують, переважно, у вібронамашинах, які часто включають і де приводом слугує двигун внутрішнього згоряння. При цьому ці дебаланси значно зменшують пусковий момент двигуна.

На рис. 1.4,а зображений електромеханічний вібратор з круговими коливаннями і консольним розташуванням ротора, а на рис. 1.4,б у корпусі (1) вібратора запресований статор (2) асинхронного двигуна; на консолях валу ротора (3) заклинені дебаланси (4) – частота коливань у такого вібратора в 2800 хв^{-1} .

У першому варіанті виконання полегшує проведення ремонту, але ускладнюється за рахунок установки вібратора на виконавчому механізмі.

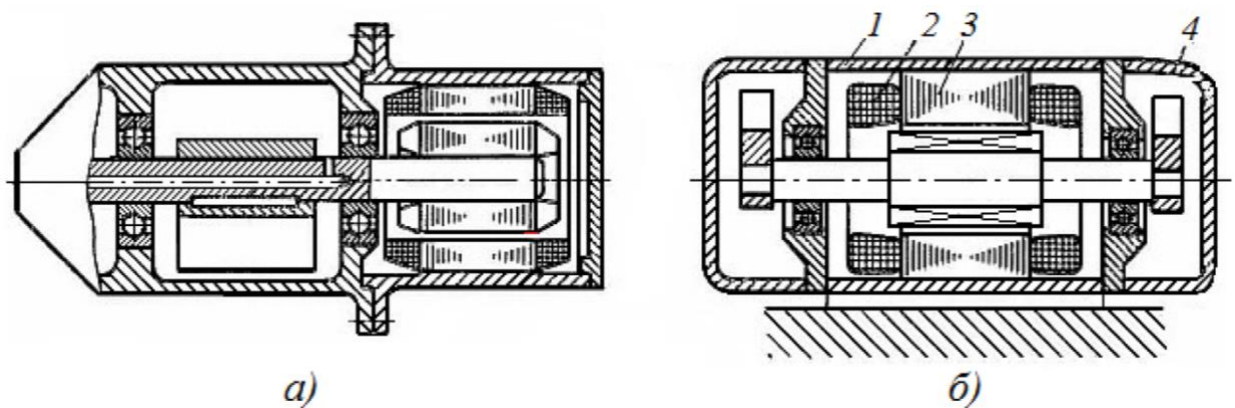


Рис. 1.4 Схеми електромеханічних вібраторів з круговими коливаннями

Механічний віброзбудувач, запропонований на рис. 1.5, має підвищений термін служби і низький рівень шуму. Ротор дебалансу (2) зі змінним зовнішнім радіусом, заклинений на валу (3), що обертається в корпусі (1), від чого в зазорі А (має форму кругового клина) створюється зона підвищеного тиску повітря, що переміщується разом з дебалансом зі зміщеним центром ваги і врівноважує його відцентрову силу.

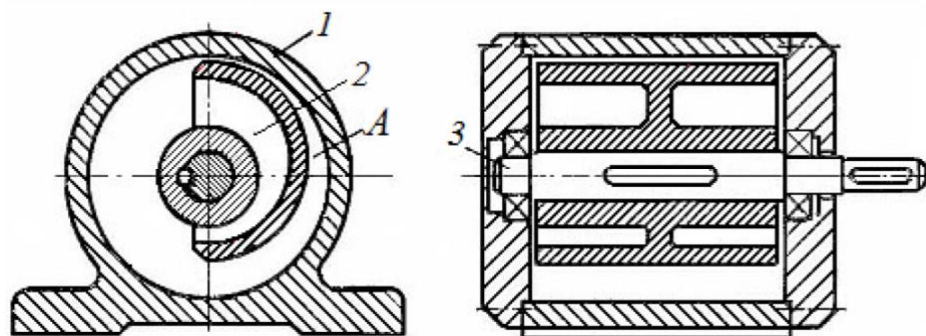


Рис. 1.5 – Механічний віброзбудувач

Дебалансний віброзбуджувач містить незбалансований ротор – дебаланс, вал якого обертається в закріплених на корпусі підшипниках. Відцентрова вимушуюча сила від обертання дебалансу сприймається корпусом через підшипники.

У кулачкового вібратора (рис. 1.6) на головному валу (1), що приводиться від двигуна, заклинений кулачок (2), який за допомогою коромисла 3 передає рух стрижню 4, що впливає на робочий орган.

Всередині статора (1) (рис. 1.7) ексцентрично до його осі обертається ротор (7) з пазами (9), в яких вільно переміщаються пертинаксові пластини (6).

По каналу (3) через вікна (2) повітря надходить до циліндру та обертає ротор проти годинникової стрілки. Відпрацьоване повітря виходить через вікна (5), порожнину (4) та отвори в корпусі (8).

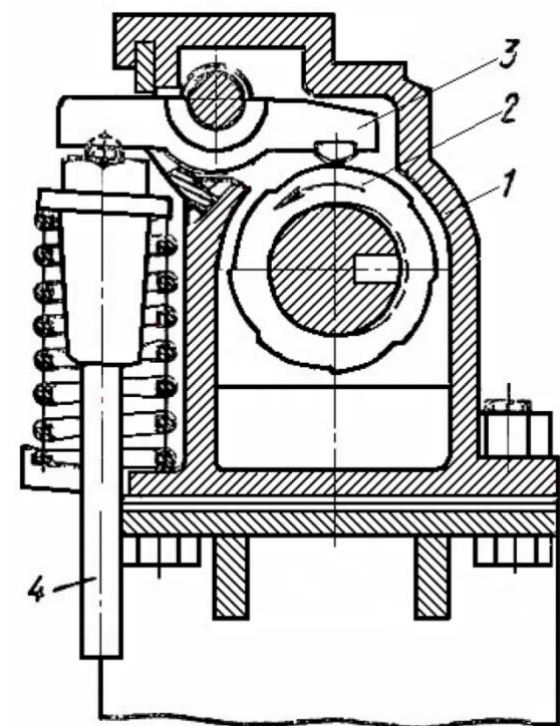


Рис. 1.6 Кулачковий вібратор

На консольних частинах валу маятникового вібратора (рис. 1.8) встановлені висувні пружні дебаланси (1), які висуваються за певної частоти обертання валу вібратора, унаслідок чого знижується шкідливий вплив резонансних явищ під час

його пуску й зупинки. Перестановкою опорних кілець (6) у пазах стаканів (7) регулюється величина вимушуючої сили.

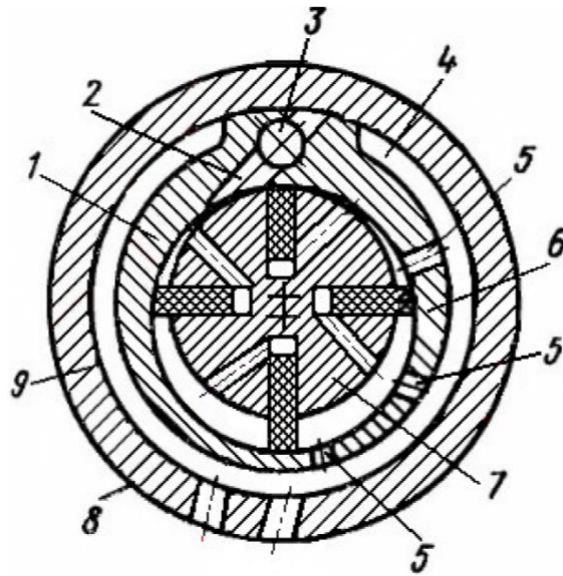


Рис. 1.7 Пневматичний ротаційний вібратор

Корпус вібратора болтами прикріплений до кронштейна (3) маятникової підставки (4), що несе маятникову вісь (2). Гумові амортизатори (5) дозволяють вібратору здійснювати кутові коливання навколо осі (2) і перешкоджають перекиданню маятника. Зміна напрямку лінії дії вимушуючої сили на $\pm 450^\circ$ досягається поворотом осі (2) відносно підставки (4).

Для розвантаження підшипників від дії відцентрових сил дебалансів використовують вібратори планетарного типу. Планетарний вібробудувач містить бігунок, який, обкочуючись по біговій доріжці, передає на неї вимушуючу відцентрову силу.

В асиметричних вібраторах (рис. 1.9) змінна кутова швидкість інерційного бігунка навколо центру кривизни бігової доріжки забезпечується ексцентриситетом осі обертання водила відносно цього центру кривизни або некруглою формою бігової доріжки

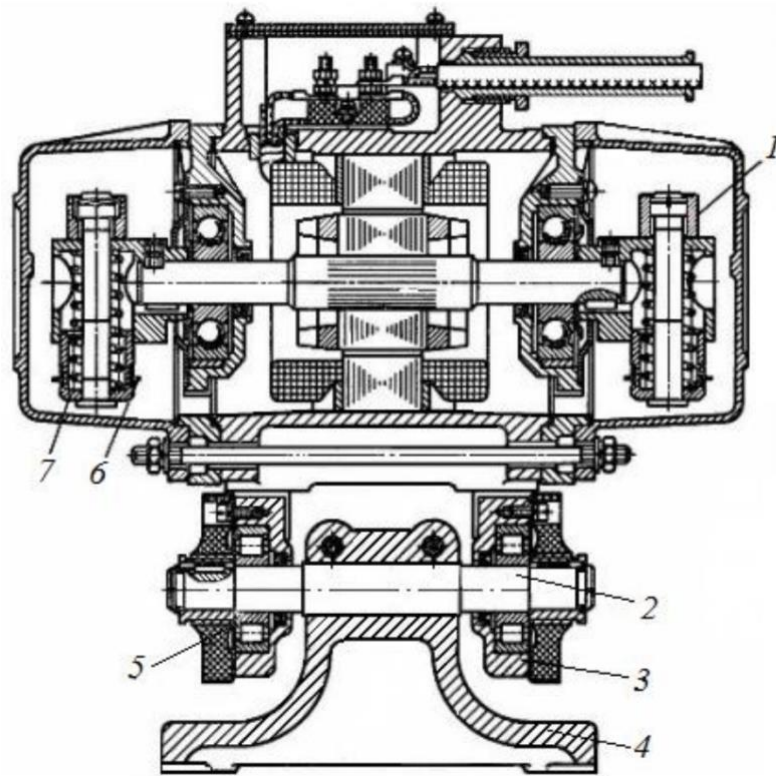


Рис. 1.8 Маятниковий вібратор

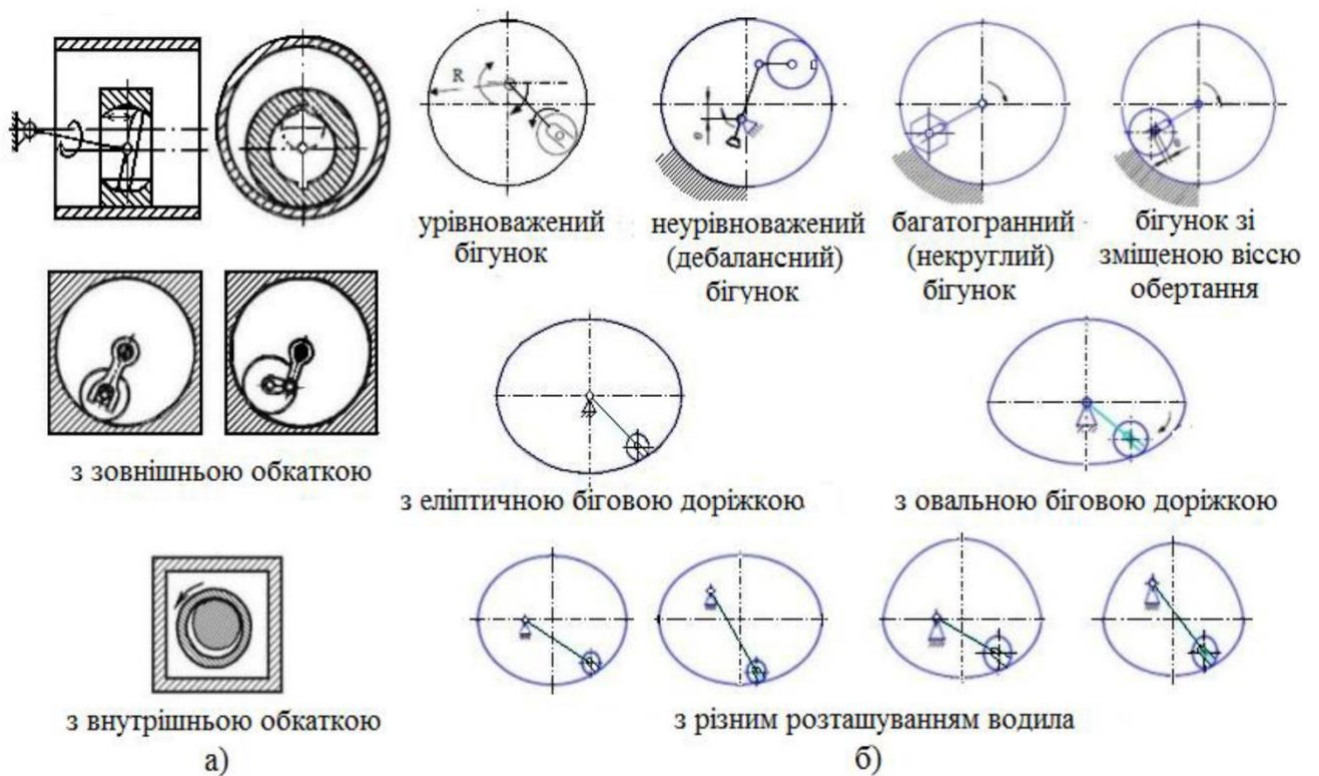


Рис. 1.9 Схеми планетарних віброзбуджувачів:

а) бігункові; б) асиметричні

Проводячи аналіз існуючих конструкцій планетарних (бігункових) вібраційних збуджувачів коливань було вирішено згрупувати їх за типами та ознаками та зробити загальну класифікацію, наведену на рис. 1.10.

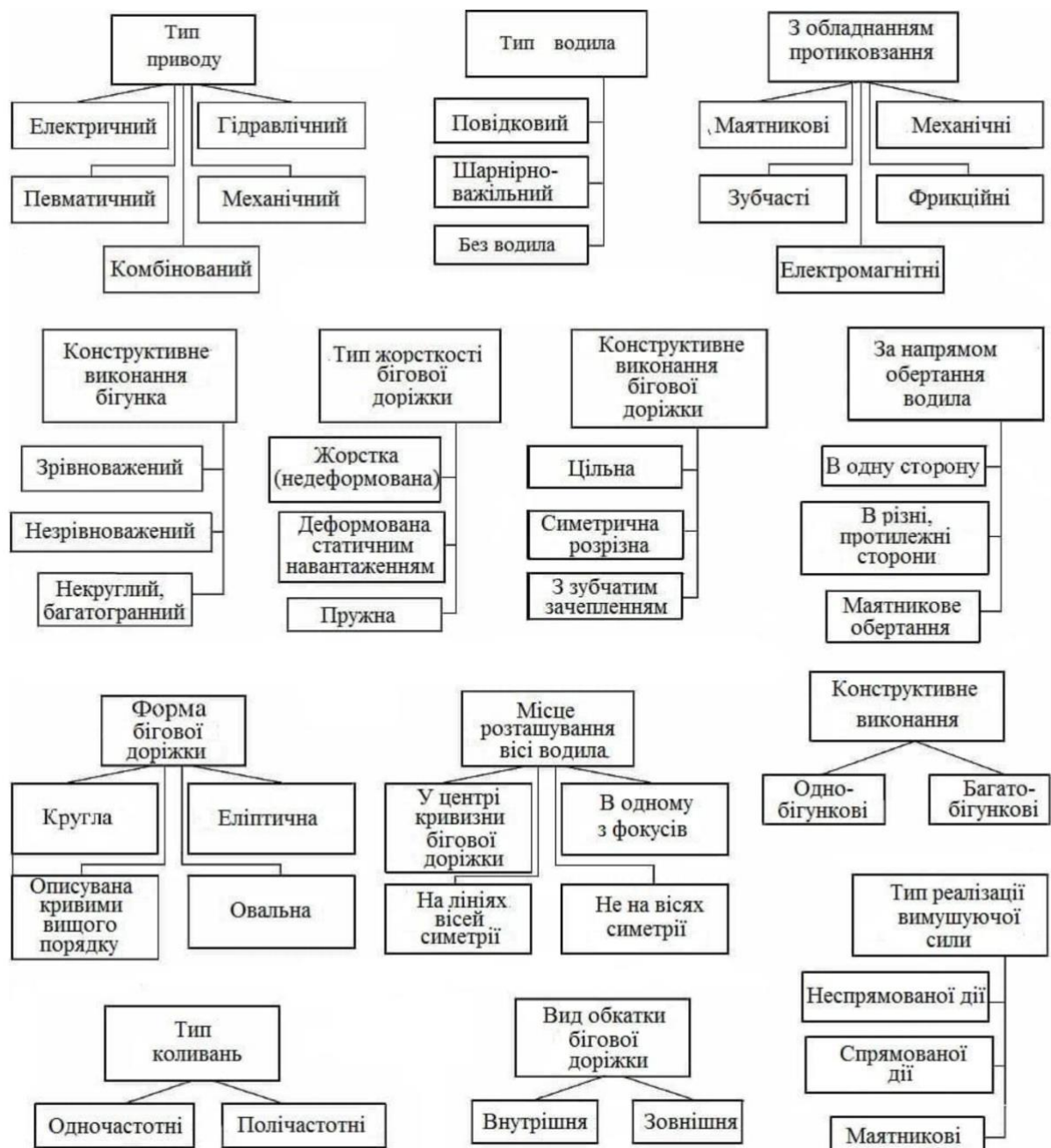


Рис. 1.10 Загальна класифікація планетарних (бігункових) вібраторів

1.3 Аналіз аналітичних залежностей для визначення основних параметрів планетарних вібробуджувачів

Основними параметрами робочого процесу ущільнення, які впливають на ефективність і продуктивність є динамічні параметри: амплітуда та частота коливань, енергетичні витрати.

У розвиток і вдосконалення конструкції вібробуджувачів планетарного (бігункового) типу та вібраційних машин суттєвий внесок зробили такі дослідники, як Варсанов'єв В. Д., Естрін М. І., Іткін О. Ф., Клемент'єв В. Г., Кунін А. А., Маслов О. Г., Назаренко І. І., Нестеренко М. П., Пахомов В. Л., Петресєв А. М., Сивко В. Й., Петрунькін Л. П., Скворцов Л. А., Соломатін А. В., Сухоруков А. Л., Франчук В. П., Хархута Н. Я., Чайка С. П., Яковенко В. Б., а також зарубіжні винахідники Янг Д. Х., Уівер У. та інші.

Для розвантаження підшипників у роботі запропоновано конструкцію бігункового вібратора (рис. 1.11). Тут дебаланс (1), виконаний у вигляді циліндричного ролика (бігунка) радіусом r , котиться по внутрішній поверхні бігової доріжки (2) радіусом R . Рух до ролика від водила (3) передається через спеціальний повідець (4). Відцентрова сила $1 P$, що виникає при обертанні водила, передається безпосередньо на корпус віброелементу.

Підшипники ролика навантажені тільки тим зусиллям, яке необхідне для подолання опору перекочуванню його по біговій доріжці.

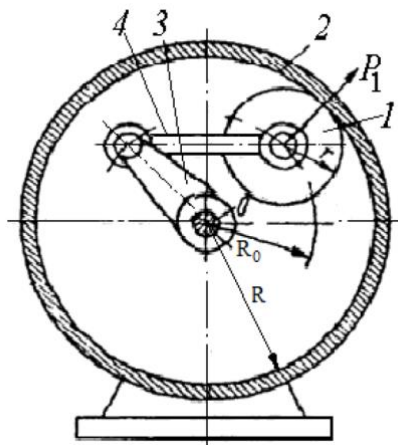


Рис. 1.11 Схема одночастотного бігункового (повідкового) вібратора

Оскільки дорожньо-будівельні матеріали містять нерівномірні за масою частинки, то для їх ущільнення необхідно застосування двочастотних або полічастотних коливань. Такі коливання можна отримати шляхом зміщення або через приєднання до бігунка, або додаткових ексцентрично розташованих елементів (рис. 1.12, а), або за рахунок односторонніх зрізів (рис. 1.12, б).

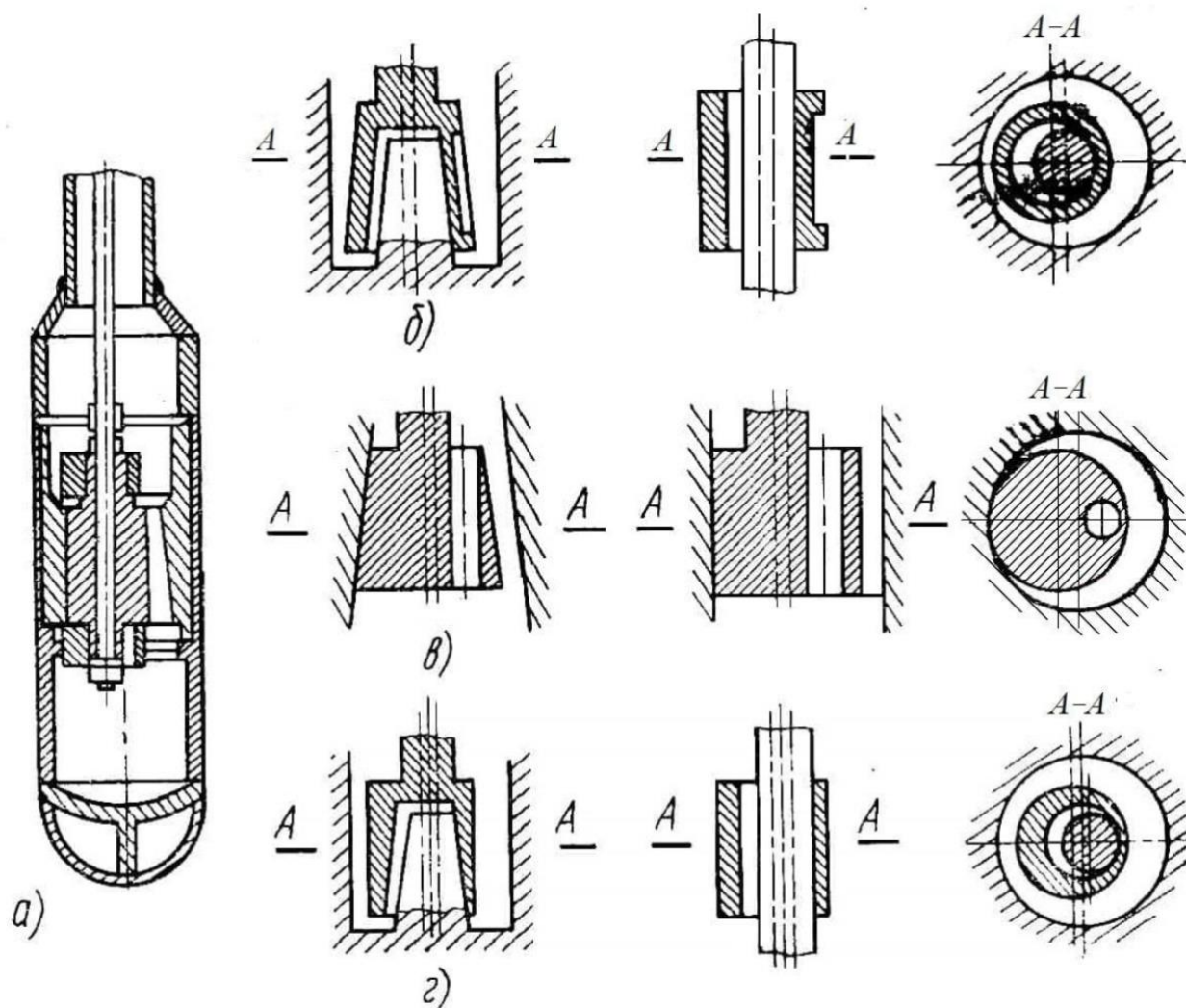


Рис. 1.12 Види розбалансування бігунка

Також розбалансування виконують шляхом висвердлювання ексцентрично розташованих отворів у тілі бігунка (рис. 1.12, в), або за допомогою ексцентричного розташування зовнішньої і внутрішньої бічних поверхонь бігунка (рис. 1.12, г), або заповнивши свердлення більш важким металом.

При використанні дебалансних роликів (рис. 1.13) виникають дві відцентрові сили різної частоти. Перша збуджуюча сила розвивається внаслідок обертання центра ваги ролика відносно осі O , при цьому ролик рухається поступально разом зі своїм центром, а друга сила – зважаючи на обертання ролика відносно своєї осі O_1 . При поступальному русі відцентрова сила змінюється з частотою водила ω_0 (рис. 1.13).

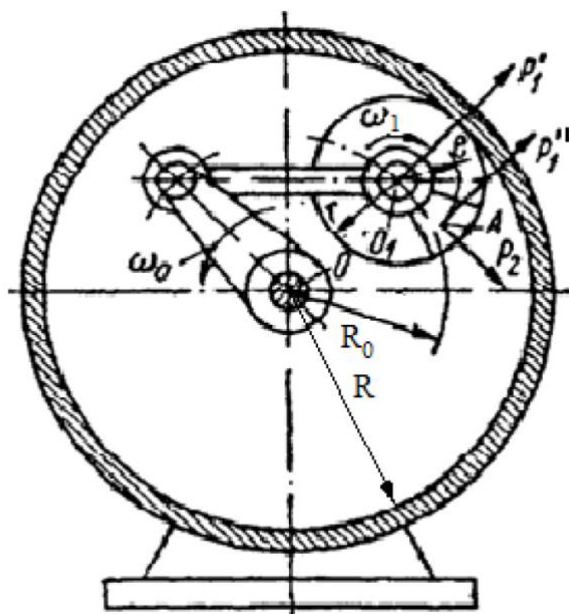


Рис. 1.13 Схема двочастотного бігункового (повідкового) вібратора

Її амплітудне значення визначається з виразу:

$$P_1 = P_1' + P_1'' = (M + m)R_0\omega_0^2, \quad (1.1)$$

де P_1' - складова відцентрової сили від маси M , зосередженої в точці O_1 , Н;

P_1'' - складова відцентрової сили від маси m , прикладеної в центрі тяжкості дебалансу (в точці A), Н;

M – маса врівноваженої частини ролика, кг;

m – маса дебалансу (неврівноваженою частини) ролика, кг;

R_0 – радіус обертання центра ролика, м.

Друга сила (змінна з частотою ω_1), що виникає внаслідок обертання нерівноваженого ролика навколо своєї осі:

$$P_2 = me(\omega_1^r)^2, \quad (1.2)$$

де e – ексцентриситет дебалансної частини ролика, м;

ω_1^r - відносна кутова швидкість обертання ролика, c^{-1} .

Для визначення ω_1^r слід скористатися складанням обертань бігунка навколо паралельних осей на основі роботи у разі, якщо бігунком-дебалансом є ролик, що обкочується по внутрішній поверхні нерухомої втулки.

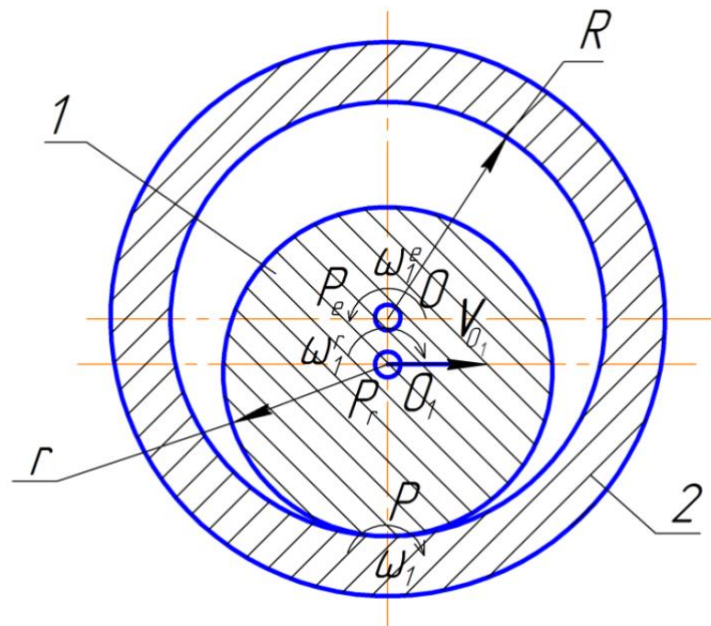


Рис.1.14 Схема для визначення відносної кутової швидкості бігунка при зовнішній обкатці

Переносний миттєвий центр P_e (рис. 1.14) співпадає з точкою O , відносний миттєвий центр P_r співпадає з центром O_1 ролика (1), а абсолютний миттєвий центр P знаходиться у точці дотику окружностей ролика (1) і нерухомої втулки (2).

Переносна кутова швидкість ω_1^e дорівнює кутовій швидкості ω_0 водила (3). Кутова швидкість ω_1 є абсолютною кутовою швидкістю ролика (1).

Оскільки абсолютний миттєвий центр швидкостей P лежить на продовженні відрізка, що з'єднує переносний та відносний миттєві центри P_e і P_r з боку того з цих центрів, якому відповідає більша кутова швидкість;

відстані P_eP та P_rP обернено пропорційні кутовим швидкостям ω_1^e , ω_1^r .

Тоді

$$\frac{P_e P}{P_r P} = \frac{\omega_1^r}{\omega_1^e} \quad (1.3)$$

вважаючи $\omega_1^e = \omega_0$, знаходимо

$$\omega_1^r = \frac{R}{r} \omega_0. \quad (1.4)$$

Знаючи значення ω_1^r , знайдемо також абсолютну кутову швидкість ω_1 ролика (1):

$$\omega_1 = \omega_1^r - \omega_1^e = \omega_0 \left(\frac{R-r}{r} \right). \quad (1.5)$$

Абсолютну кутову швидкість ω_1 ролика (1) можна визначити іншим способом. Для цього звернемося до швидкості v_{O1} точки O_1 . Коли точка O_1 належить водилу (3), то

$$v_{O1} = OO_1 \omega_0 = (R-r) \omega_0, \quad (1.6)$$

коли – ролику (1), то

$$v_{O1} = O_1 P \omega_1 = r \omega_1, \quad (1.7)$$

звідки

$$\omega_1 = \frac{v_{O1}}{O_1 P} = \omega_0 \left(\frac{R-r}{r} \right). \quad (1.8)$$

Щоб знайти абсолютну кутову швидкість бігунка у випадку внутрішньої обкатки (рис. 1.15), звертаємося до швидкості v_{O2} точки O_2 .

Коли точка O_2 належить водилу, то

$$v_{O2} = O_1 O \omega_0 = (R-r) \omega_0, \quad (1.9)$$

а коли точка O_2 належить бігунку (2), то

$$v_{O2} = O_2 P \omega_2 = R \omega_2, \quad (1.10)$$

звідки

$$\omega_2 = \frac{v_{O2}}{O_2 P} = \omega_0 \left(\frac{R-r}{R} \right). \quad (1.11)$$

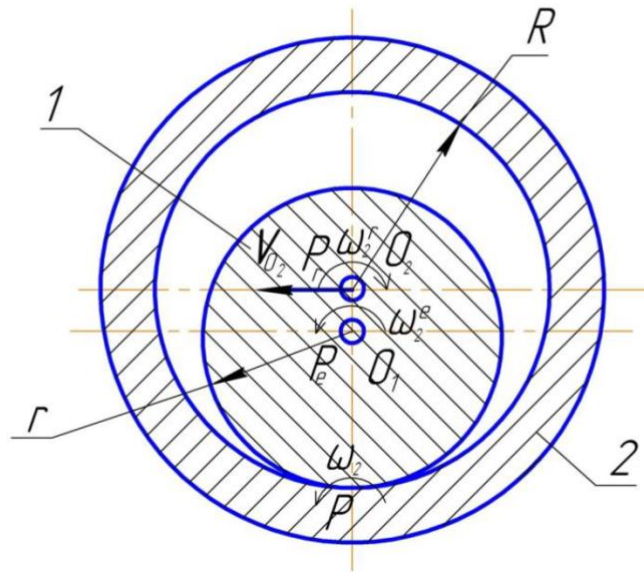


Рис. 1.15 Схема для визначення відносної кутової швидкості бігунка при внутрішній обкатці

Перевіримо формулу (1.11), використавши складання обертань бігунка-дебаланса навколо паралельних осей.

Оскільки бігунком-дебалансом є втулка (2), що обкочується по нерухомому пальцю (1), то згідно зі складанням обертань бігунка-дебалансу навколо паралельних осей, аналогічно, як і у випадку обкатки пальця (1) по внутрішній поверхні нерухомої втулки (2) абсолютний миттєвий центр швидкостей P знаходиться на продовженні відрізка, що з'єднує відносний і переносний миттєві центри P_r та P_e з боку того з цих центрів, якому відповідає велика кутова швидкість; відстані P_eP та P_rP обернено пропорційні кутовим швидкостям $\omega_2^e = \omega_0$ і ω_2^r .

Тоді

$$\frac{P_eP}{P_rP} = \frac{\omega_2^r}{\omega_2^e}, \quad (1.12)$$

$$\omega_2^r = \frac{P_eP \omega_2^e}{P_rP} = \frac{r}{R} \omega_0. \quad (1.13)$$

За відомих значень ω_2^r знаходимо також абсолютну кутову швидкість ω_2 бігунка-дебаланса – втулки (2):

$$\omega_2 = \omega_2^e - \omega_2^r = \omega_0 - \omega_0 \frac{r}{R},$$

$$\omega_2 = \omega_0 \left(\frac{R-r}{R} \right). \quad (1.14)$$

Миттєвий центр обертання, що збігається кожного моменту з точкою дотику обох полоїд, пересувається за двома полоїдами з однаковою швидкістю, причому, будучи рухливим в просторі, він переміщується і в площині даної фігури. Переміщення миттєвого центру по полоїдам визначають за кутовою швидкістю переміщення і за радіусами кривизни полоїд. Спочатку рухлива полоїда K торкається своїм увігнутим боком до опуклого боку нерухомої полоїди S (рис. 1.15), в точці C , при цьому радіус кривизни нерухомої полоїди r , а рухомої – R .

Нехай після елемента часу Δt точки цих полоїд A і B дотикаються, так що миттєвий центр обертання через час Δt перейде по полоїді S із C до B .

Оскільки рух відбувається без ковзання, то дуга CB дорівнює дузі CA .

Позначимо їх через Δs . Проводимо тепер у точках A , B і C дотичні AT , BF і CM . Легко побачити, що здійснене переміщення фігури можна розглядати як результат двох переміщень.

1) Припустимо, що рухома полоїда K перемістилася поступально (паралельно самій собі) за напрямом AB так, що точка A збіглася з точкою B . Нехай при цьому дотична AT займає положення BN . Проведемо $BE \parallel CM$, вочевидь, що і $BN \parallel CM$ за побудовою.

2) Після зазначеного переміщення рухома полоїда повертається навколо точки B так, що дотична BN збігається з дотичною BF . Нехай кут цього повороту NBF дорівнює φ .

Кут θ' , що складається суміжними дотичними BN і BE , є кутом суміжності для рухливої полоїди, а кут θ , складений дотичними BE і BF – кутом суміжності для нерухомої полоїди. Отже:

$$\angle NBF = \varphi = \theta - \theta' . \quad (1.15)$$

Ділимо обидві частини рівності (1.15) на Δt , знаходимо:

$$u = \omega_2 \left(\frac{Rr}{R-r} \right), \quad (1.18)$$

Підставимо формулу (1.14) до формули (1.18) й отримаємо

$$u = \omega_2 \left(\frac{Rr}{R-r} \right) = \omega_0 \left(\frac{R-r}{R} \right) \frac{Rr}{R-r} = \omega_0 r.$$

Висновок. При використанні неврівноваженого розбалансованого бігунка в планетарному вібровозбуджувачі із зовнішньою обкаткою низька частота дорівнює частоті обертання вала приводу (води́ла).

Висока ж частота виникає при обертанні розбалансованою частини бігунка навколо його осі. При внутрішній обкатці висока частота навпаки дорівнює частоті обертання валу приводу, а низька частота виникає при обертанні розбалансованої частини бігунка навколо його осі. Якщо кілька встановлених дебалансних роликів мають різний діаметр, то геометрична сума складових вимушуючих сил дорівнює результуючій вимушуючій силі.

2 СИНТЕЗ ВСМТ. НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ВСМТ І ТЕХНОЛОГІЙ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

2.1 Приклади влаштування ВСМТ

В основу вдосконалення закладаються базові зміни, які дадуть можливість машині мати в собі цілий ряд нових можливостей як для кожного конкретного випадку, так і в цілому. Розглядаються можливості які можна закласти у ВС для реалізації різноманітних задач.

На наш погляд ВС може бути сформована з елементів з круговими, напрямленими та комбінованими коливаннями. При цьому має бути врахована симетричність й асиметричність системи, влаштування якої суттєво впливає на кінцевий результат. У всіх варіантах має бути незалежний привід, по можливості, з частотним регулюванням, задля можливості регулювання вектора збурюючої сили шляхом фазного регулювання дебалансів, а також використання різномасових систем, які теж, в свою чергу, мають набути базового значення.

Приклади влаштування систем, на наш погляд, нового покоління схематично зображені на рисунках 2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8.

Наявність у ВСМТ різнорозташованих елементів (рис. 2.1) дозволяє використовувати її з більшою ефективністю та багатоцільовим призначенням.

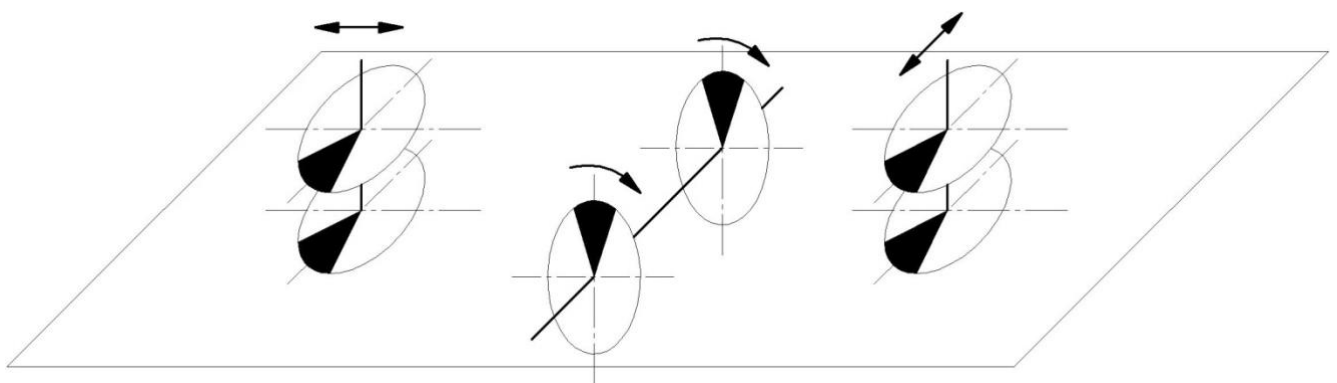


Рис. 2.1. Схема ВСМТ

Так, наприклад, важливими складовими при ущільненні ґрунту кулачковою

поверхнею вальця чи плити (рис. 2.2), являються як вертикальне так і горизонтальне навантаження на ґрунт. ВСМТ за схемою вказаною на рис. 2.1 дає можливість повністю реалізувати потрібні навантаження.

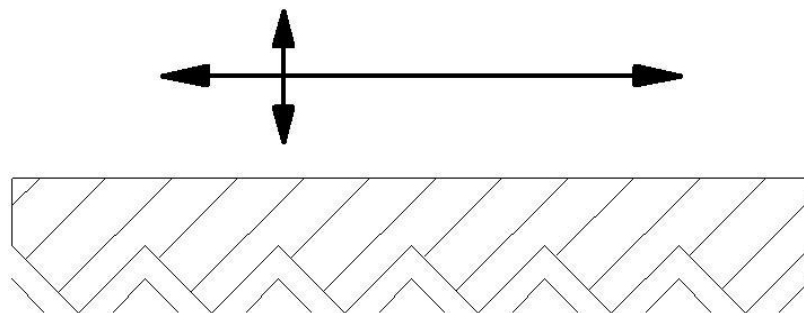


Рис. 2.2. Схема вальця (плити) в контактi з ґрунтом

При грохоченні важливим є врахування якості відділеної фракції за один прохід. Наявність ВСМТ (рис. 2.3) з вищеназваним її змістом і можливою роботою може принципово розширити варіанти поділу матеріалу на фракції.

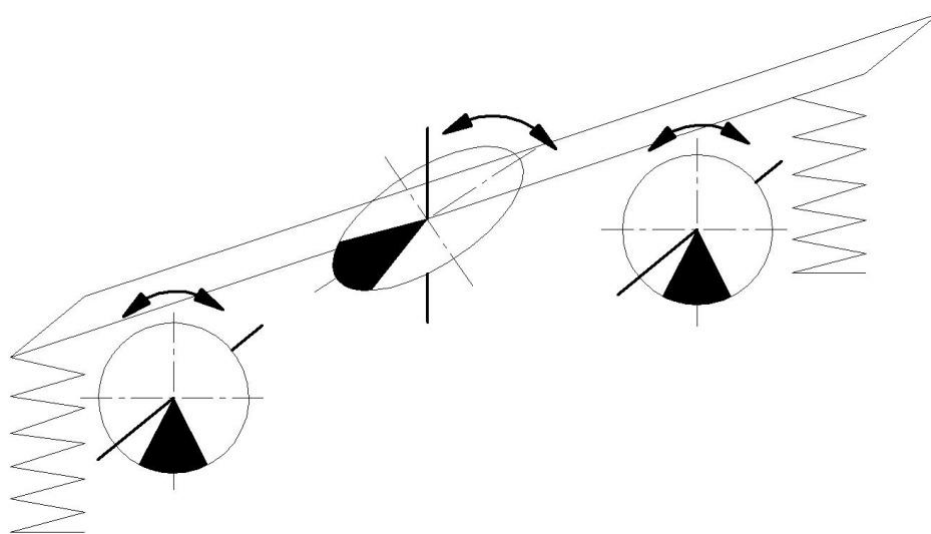


Рис. 2.3. Схема грохота з ВСМТ

При компонованні ВС слід врахувати можливість просторового зміщення вектора збурюючої сили. Таку технічну задачу слід вирішувати з ґрунтовних речей, які являють собою підхід до модернізації чи розробки нових схем машин.

ВС машин мають набути зразків високотехнологічної техніки, яка дає можливість на базі однієї машини з ВСМТ вирішувати ряд технологічних задач.

Варіанти встановлення елементів у ВСМТ представлені на схемах (рис. 2.4, рис. 2.5, рис. 2.6). Осі обертання дебалансів можуть переміщатися як по асиметричній, так і по симетричній схемі, при цьому є можливість переміщувати дебаланси уздовж осі.

Таким чином система набуває можливостей, до цього часу не виявлених в жодної з машин.

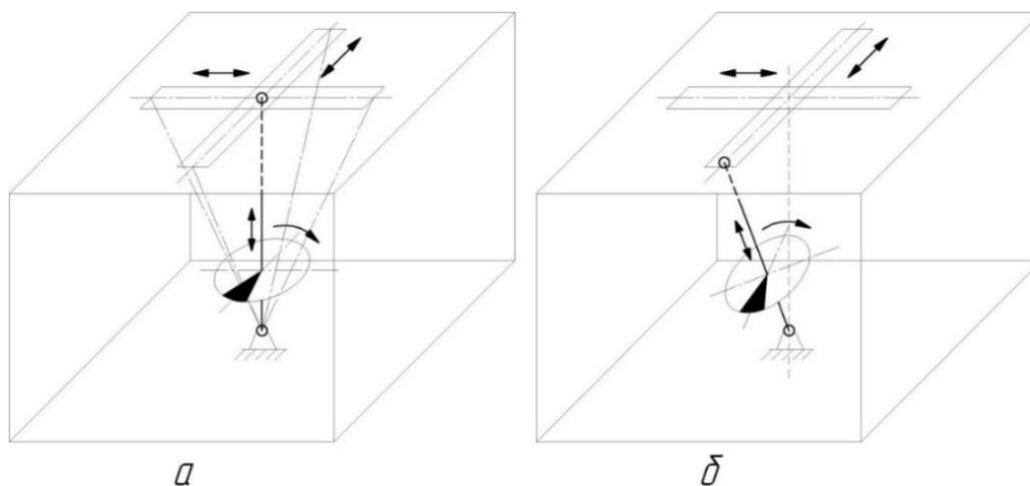


Рис. 2.4. Асиметрична схема переміщення елемента ВС*
 (* – асиметрична за всіх умов, окрім випадку, коли центральна точка обертання дебаланса співпадає з нижнім шарніром)

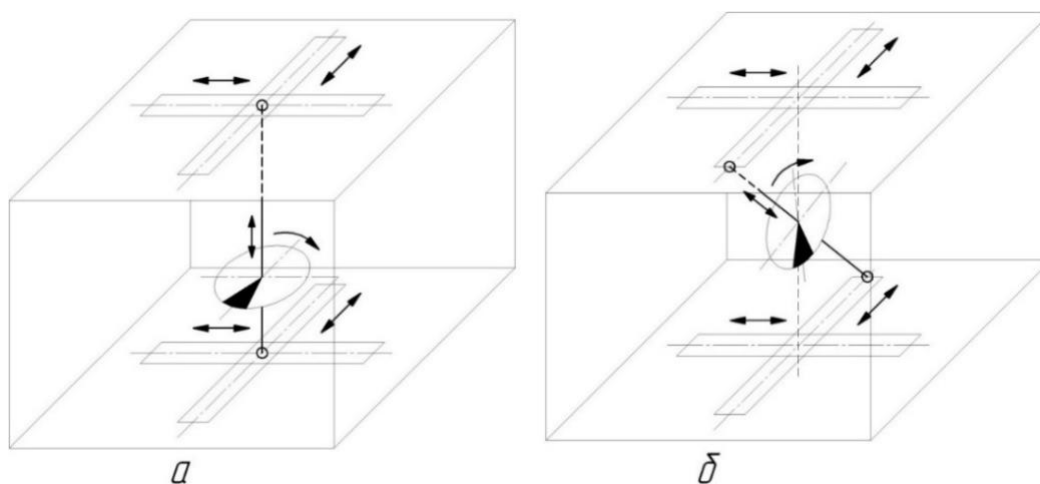


Рис. 2.5. Симетрична схема переміщення елемента ВС*
 (* – симетрична лише за умови знаходження дебаланса у центральному положенні, коли вісь обертання та середня вісь будуть перетинатися в центральній точці обертання дебаланса)

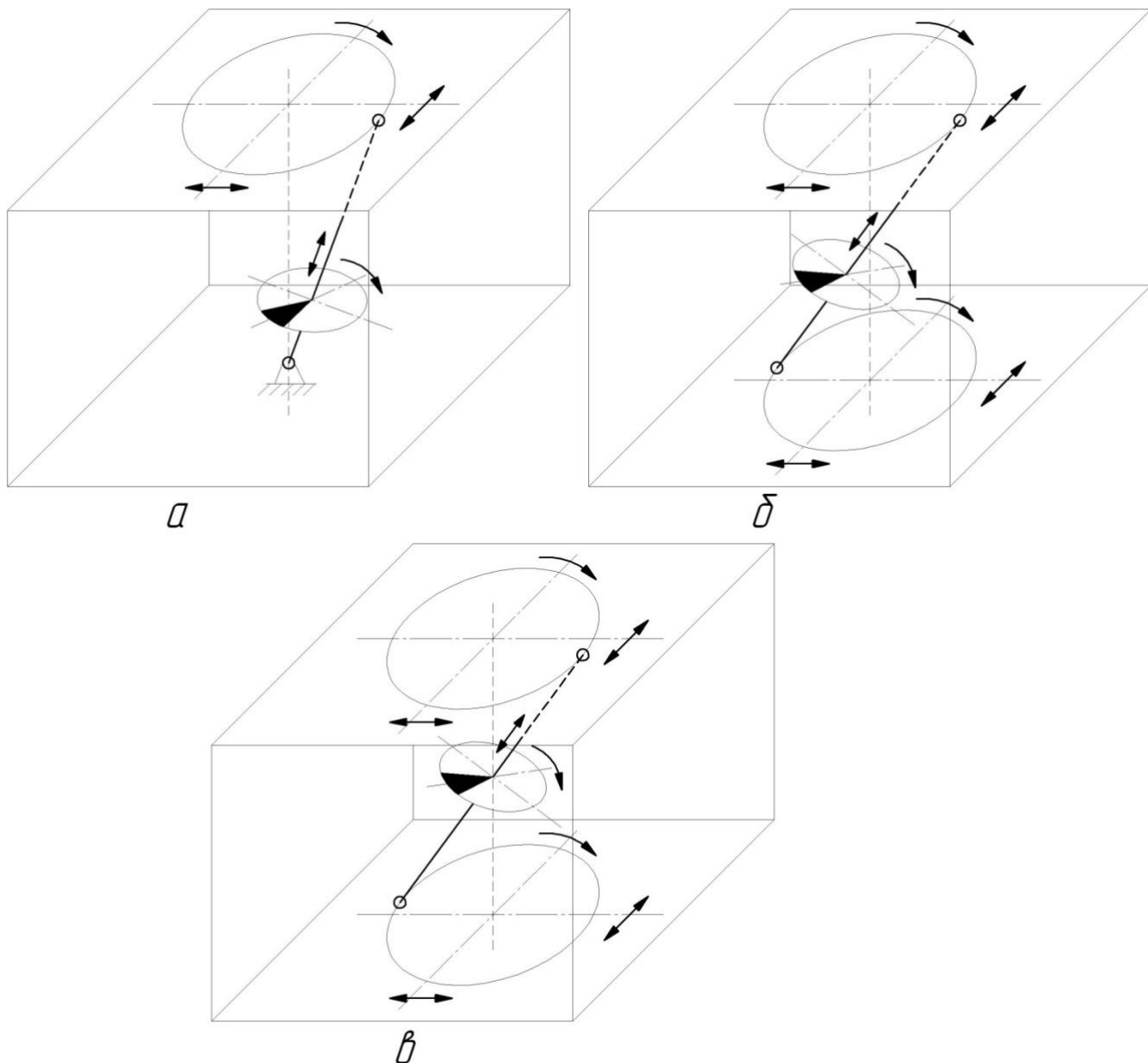


Рис. 2.6. Кругова схема переміщення елемента BC*
 (* – може бути як симетрична, так і асиметрична в залежності від умов описаних для рис. 2.4 та рис. 2.5)

При обертанні дебалансів за умови статичного розміщення осі в просторі, можливе регулювання за напрямком та використання фазового регулювання (рис.2.7, а, б), при цьому є можливість переміщувати дебаланси уздовж осі (рис.2.7, в). За такої компоновки ВСМТ набуває нових напрямків векторів збурюючої сили, за рахунок плаваючого налаштування та моментів, що при цьому створюються.

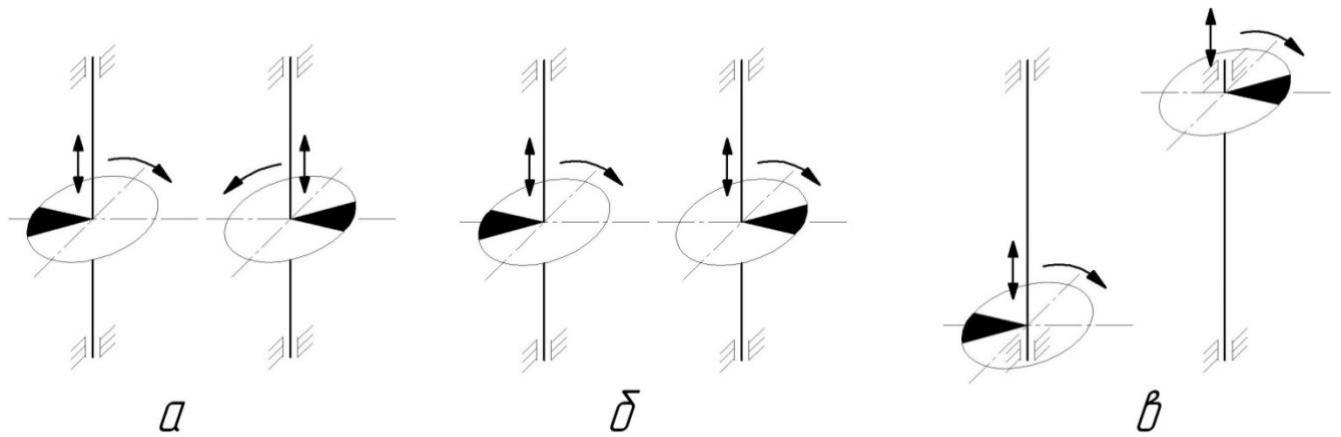


Рис. 2.7. Схема зміни напрямку збурюючої сили шляхом осьового переміщення дебалансів

Дуже перспективною є різномасова ВСМТ (рис. 2.8), яка буде включати всі попередні вищезгадані можливості, та являтиме собою систему, яка буде найбільш комплексною. У такої системи $m_3 = m_1 + m_2$, при цьому $m_1 \neq m_2$, а також w_1, w_2, w_3 можуть бути як рівними так і різними за величиною та напрямком.

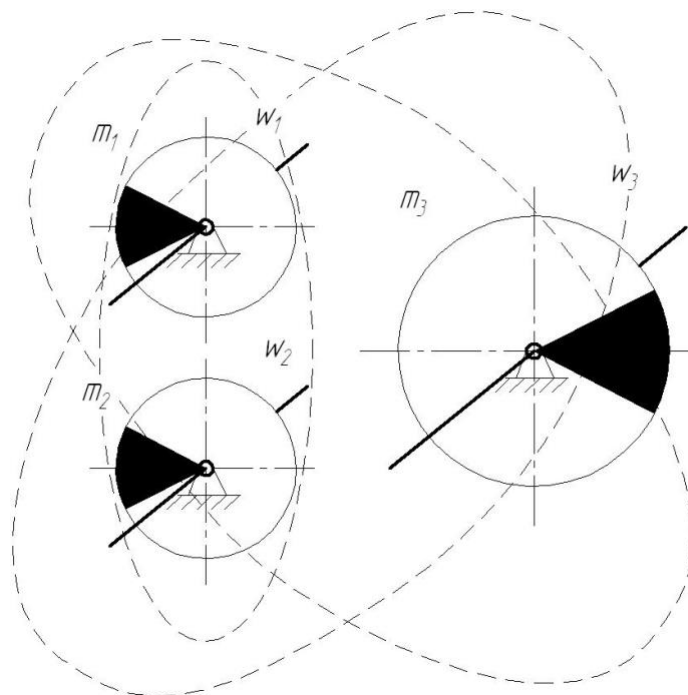


Рис. 2.8. Різнномасова система

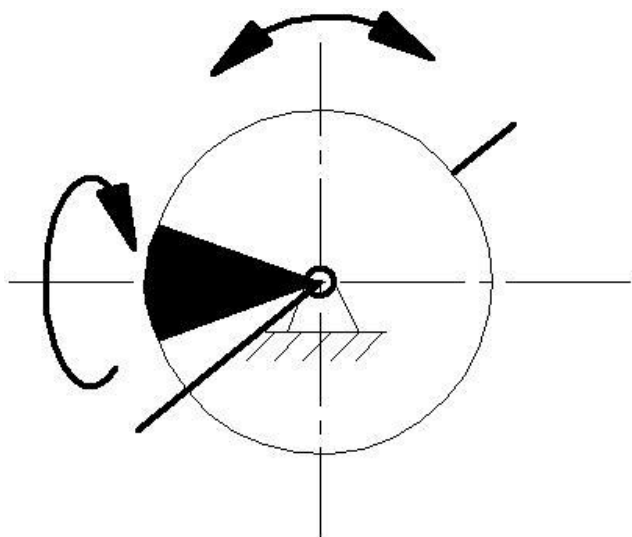


Рис. 2.9. Схема елемента з ексцентриком, який обертається відповідно своєї осі

Можливий варіант впливу на вектор збурюючої сили за рахунок обертального руху ексцентрика відповідно осі обертання, яка перпендикулярна чи не перпендикулярна до початкової осі його обертання (рис. 2.9).

За такої схеми можливе використання гіроскопічного ефекту для заспокоєння чи збудження системи.

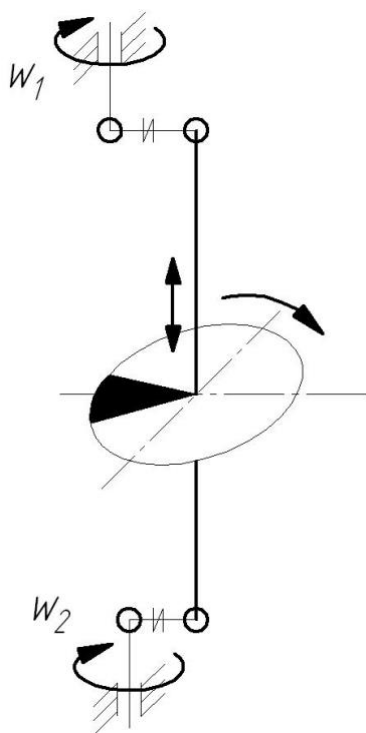


Рис. 2.10. Система з керованою зміною жорсткості опори

Зміна вектора збурюючої сили можлива шляхом керованої зміни жорсткості опори (рис. 2.10) і (або) способу її закріплення (рухоме, нерухоме).

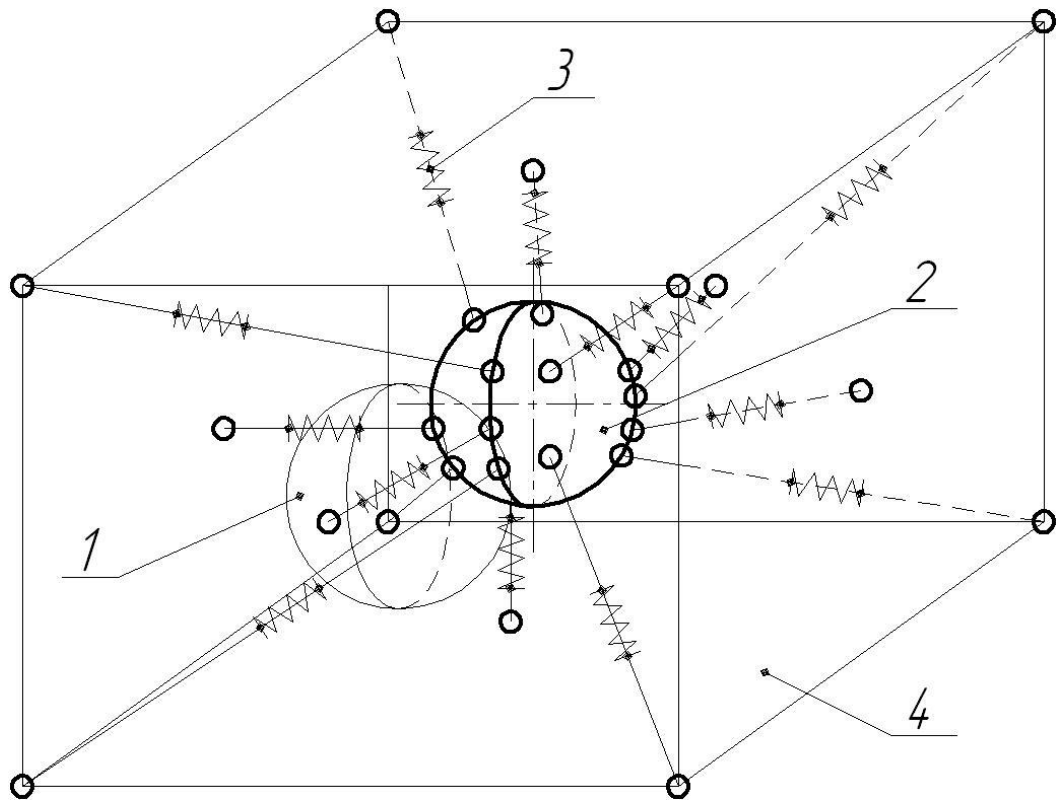


Рис. 2.11. Схема ВСМТ з просторовим жорсткісним регулюванням вектора збурюючої сили

Дана система (рис. 2.11) вирішуватиме комплекс задач. Модуль такої системи складається з елементів вищезгаданих систем, та має весь спектр вищезгаданих можливостей. Модуль в початковий момент розташовується у якомусь передпусковому вихідному положенні 1. За рахунок цього можливе механічне зміщення вектора збурюючої сили.

Незалежні елементи жорсткості 3 виконані з можливістю їх блокування від подовжніх пружних деформацій, співставних з деформаціями пружини з метою активної дії вектора збурюючої сили на корпус 4 ВСМТ. При цьому незалежне задання величини жорсткості кожному з елементів 3 на певну величину дозволить вирішити комплекс задач стосовно зміни дії вектора збурюючих сил на корпус 4 аж до повного поглинання вібрацій елементами жорсткості 3.

Зміна місця закріплення елементів жорсткості 3 до корпусу дозволить змінювати діапазони дії вектора збурюючих сил на корпус ВСМТ.

2.2 Технічні пропозиції налаштування ВС на заданий вектор збурюючої сили

Загальна мета технічної пропозиції налаштування ВС на заданий вектор збурюючої сили можлива, за рахунок різноманітних способів встановлення і приведення в рух дебалансів, а також за рахунок співвідношення їх мас.

Встановлення дебалансів у елементах вібраційних систем може бути постійним або зміним (дискретно чи безперервно). При цьому взаємне встановлення дебалансів безперервним способом можливе за рахунок не залежного обертання у заданому напрямку.

Взаємне обертання дебалансів може бути кінематично поєднаним (важелі, зубчаті колеса), або незалежним (від окремих приводів). При цьому при кінематичному зв'язку можна чітко задавати положення дебалансів у певний момент часу, а при незалежному приводі цю функцію бере на себе конструкція приводу. Співвідношення між масами дебалансів можна використати для задання певного виду коливань для однієї і тієї схеми блока, модуля, контуру.

Для ілюстрації сказаного вище наведемо ряд прикладів з відповідними поясненнями та рекомендаціями.

Розглянемо *одновальну вібраційну систему з одним дебалансом* (рис.2.12).

В даному випадку можливі варіанти з розміщенням дебалансу відносно опор валу.

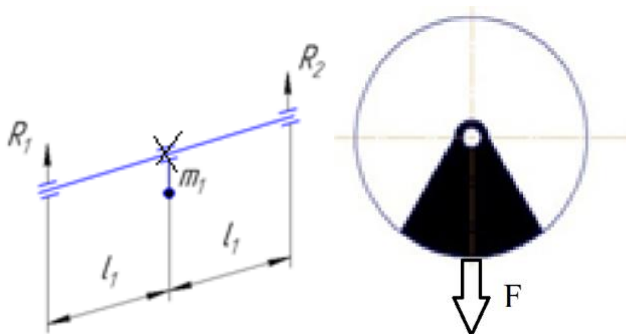


Рис. 2.12 Одновальна вібраційна система з одним дебалансом

1. Рівновіддалене розміщення $l_1=l_2$, в такому випадку реакції на опорах будуть рівні, $R_1= R_2$.

2. Розміщення зі зміщенням відносно центру: у разі $l_1 < l_2$ реакції на опорах будуть різні, $R_1 > R_2$; у разі $l_1 > l_2$ розподіл реакцій $R_1 < R_2$.

В першому та другому випадку коливання будуть мати збурюючу силу F в певному напрямку.

Одновальна вібросистема з двома дебалансами на валу (рис. 2.13). можливі варанти з розміщенням дебалансу відносно опор валу коли дебаланси направлені в один бік (рис. 2.13, а) та в діаметрально-протилежні боки (рис. 2.13, б).

1. Дебаланси направлені в один бік.

Рівновіддалене розміщення $l_1 = l_2$, в такому випадку результуючі реакції на опорах будуть рівні, $R_1 = R_2$ (за умови, що маси рівні $m_1 = m_2$).

Розміщення зі зміщенням відносно центру: у разі $l_1 < l_2$ результуючі реакції на опорах будуть різні, $R_1 > R_2$; у разі $l_1 > l_2$ розподіл реакцій $R_1 < R_2$.

Також можливі варанти коли $l_1 = l_2$, але маси не рівні $m_1 \neq m_2$ і результуючі реакції на опорах будуть не рівні, $R_1 \neq R_2$.

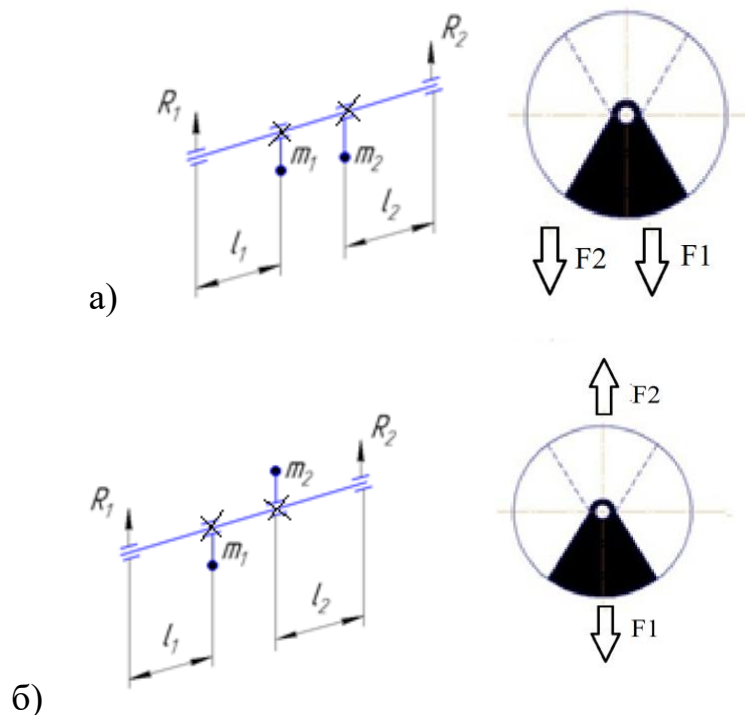


Рис. 2.14 Одновальна вібраційна система з двома дебалансами:

- а) дебаланси направлені в один бік; б) дебаланси направлені в протилежні боки

У випадку коли дебаланси направлені в один бік - результуючий вектор збурюючої сили $\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2$ буде в певному напрямку.

2. Дебаланси направлені в протилежні боки.

Рівновіддалене розміщення $l_1=l_2$, в такому випадку результуючі реакції на опорах будуть рівні, $R_1= R_2$ (за умови, що маси рівні $m_1=m_2$).

Розміщення зі зміщенням відносно центру: у разі $l_1<l_2$ результуючі реакції на опорах будуть різні, $R_1> R_2$; у разі $l_1>l_2$ розподіл реакцій $R_1< R_2$.

Також можливі варіанти коли $l_1=l_2$, але маси не рівні $m_1\neq m_2$ і результуючі реакції на опорах будуть не рівні, $R_1\neq R_2$.

В випадку коли дебаланси направлені в протилежні боки і маси рівні $m_1=m_2$, результуючий вектор збурюючої сили $\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2$ може бути зрівноважений і дорівнювати нулю, але при $m_1\neq m_2$ результуючий вектор збурюючої сили $\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2$ може бути не зрівноважений і мати певний напрямок у бік більшої маси (рис. 2.15).

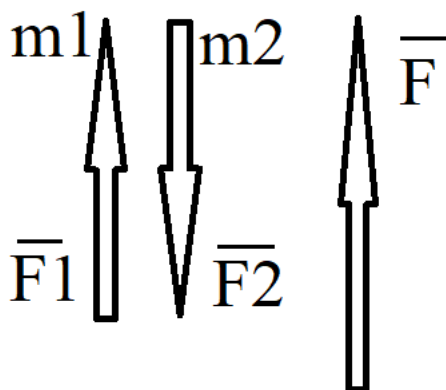


Рис. 2.15. Напрямок результуючого вектора збурюючої сили $\bar{F}$
при умові $m_1>m_2$

Двовальна вібросистема з одним дебалансом на валу (вертикально розміщені вали або горизонтально розміщені вали) (рис. 2.16). Можливі варанти з розміщенням дебалансу відносно опор валу коли дебаланси направлені в один бік (рис. 2.16, а), в діаметрально-протилежні боки (рис. 2.16, б) та дебаланси направлені в різні боки під певним кутом (рис. 2.16, в).

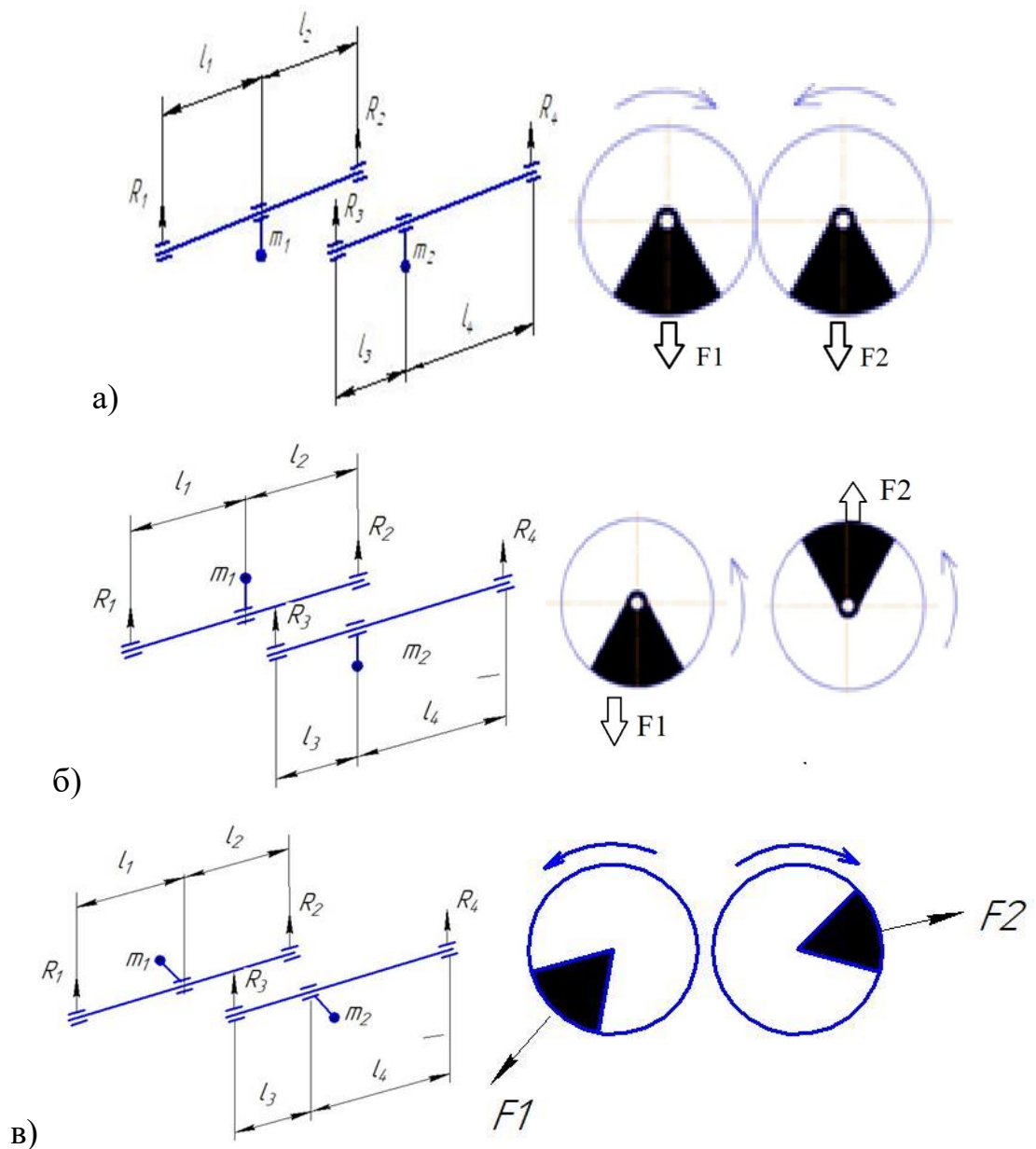


Рис. 2.16. Двовальна вібраційна система з одним дебалансом на кожному валу:
а) дебаланси направлені в один бік; б) дебаланси направлені в протилежні боки;
в) дебаланси направлені в різні боки під певним кутом

1. Дебаланси направлені в один бік.

Рівновіддалене розміщення $l_1=l_2, l_3=l_4$, в такому випадку результуючі реакції на опорах будуть рівні, $R_1=R_2, R_3=R_4$.

Розміщення зі зміщенням відносно центру: у разі $l_1<l_2, l_3<l_4$ результуючі реакції на опорах будуть різні, $R_1>R_2, R_3>R_4$; у разі $l_1>l_2, l_3>l_4$ розподіл реакцій $R_1<R_2, R_3<R_4$.

У випадку коли дебаланси направлені в один бік - результуючий вектор збурюючої сили $\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2$ буде в певному напрямку (за умови коли маси не рівні $m_1 \neq m_2$ або маси рівні $m_1 = m_2$).

2. Дебаланси направлені в протилежні боки.

Рівновіддалене розміщення $l_1 = l_2, l_3 = l_4$, в такому випадку результуючі реакції на опорах будуть рівні, $R_1 = R_2, R_3 = R_4$.

Розміщення зі зміщенням відносно центру: у разі $l_1 < l_2, l_3 < l_4$ результуючі реакції на опорах будуть різні, $R_1 > R_2, R_3 > R_4$; у разі $l_1 > l_2, l_3 > l_4$ розподіл реакцій $R_1 < R_2, R_3 < R_4$.

У випадку коли дебаланси направлені в протилежні боки і маси рівні $m_1 = m_2$, результуючий вектор збурюючої сили $\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2$ може бути зрівноважений і дорівнювати нулю, але при $m_1 \neq m_2$ результуючий вектор збурюючої сили $\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2$ може бути не зрівноважений і мати певний напрямок у бік більшої маси (рис. 2.17).

3. Дебаланси направлені в різні боки під певним кутом.

Рівновіддалене розміщення $l_1 = l_2, l_3 = l_4$, в такому випадку результуючі реакції на опорах будуть рівні, $R_1 = R_2, R_3 = R_4$.

Розміщення зі зміщенням відносно центру: у разі $l_1 < l_2, l_3 < l_4$ результуючі реакції на опорах будуть різні, $R_1 > R_2, R_3 > R_4$; у разі $l_1 > l_2, l_3 > l_4$ розподіл реакцій $R_1 < R_2, R_3 < R_4$.

В випадку коли дебаланси направлені в різні боки під певним кутом і маси рівні $m_1 = m_2$ або маси не рівні $m_1 \neq m_2$, результуючий вектор збурюючої сили $\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2$ може бути, як зрівноважений і дорівнювати нулю, так і може бути не зрівноважений і мати певний напрямок у бік більшої маси (рис. 5.5).

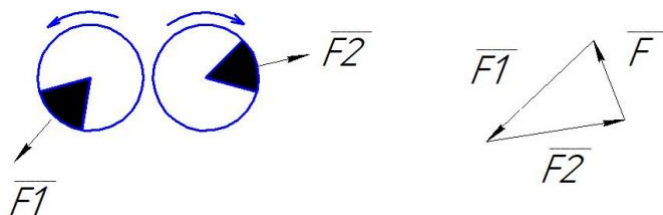


Рис. 2.17. Результуючий вектор збурюючої сили $\bar{F}$ у випадку коли дебаланси направлені в різні боки під певним кутом

Багатовальна (три і більше валів) вібростема з одним дебалансом на валу (вертикально розміщені вали або горизонтально розміщені вали)(рис. 2.18). Можливі варанти з розміщенням дебалансу відносно опор валу коли дебаланси направлені в один бік (рис. 2.18, а), в діаметрально-протилежні боки (рис. 2.18, б) та дебаланси направлені в різні боки під певним кутом (рис. 2.18, в).

1. Дебаланси направлені в один бік.

Рівновіддалене розміщення дебалансу $l_1=l_2, \dots l_m=l_n$, в такому випадку результуючі реакції на опорах будуть рівні, $R_1= R_2, \dots R_m= R_n$.

Розміщення зі зміщенням відносно центру: у разі $l_1<l_2, \dots l_m<l_n$ результуючі реакції на опорах будуть різні, $R_1> R_2, \dots R_m>R_n$; у разі $l_1>l_2, \dots l_m>l_n$ розподіл реакцій $R_1<R_2, \dots R_m<R_n$.

В випадку коли дебаланси направлені в один бік - результуючий вектор збурюючої сили $\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \dots \bar{F}_m$ буде в певному напрямку (за умови коли маси не рівні $m_1 \neq m_2 \dots \neq m_m$ або маси рівні $m_1 = m_2 \dots = m_m$).

2. Дебаланси направлені в протилежні боки.

Рівновіддалене розміщення $l_1=l_2, \dots l_m=l_n$, в такому випадку результуючі реакції на опорах будуть рівні, $R_1= R_2, \dots R_m= R_n$.

Розміщення зі зміщенням вздовж дебалансного валу відносно центру: у разі $l_1<l_2, \dots l_m<l_n$ результуючі реакції на опорах будуть різні, $R_1> R_2, \dots R_m>R_n$; у разі $l_1>l_2, \dots l_m>l_n$ розподіл реакцій $R_1<R_2, \dots R_m<R_n$.

Також, до цього підрозділу відносяться дебалансні ситеми, у яких деякі дебаланси розташовані симетрично, але інші розташовані несиметрично відносно опор R_1 та R_2 або R_m та R_n .

В випадку коли дебаланси направлені в протилежні боки і маси рівні $m_1=m_2 \dots =m_m$ або маси нерівні $m_1 \neq m_2 \dots \neq m_m$, результуючий вектор збурюючої сили $\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \dots \bar{F}_m$ може бути зрівноважений і дорівнювати нулю або незрівноважений і мати певний напрямок (коли дебалансних валів непарна кількість).

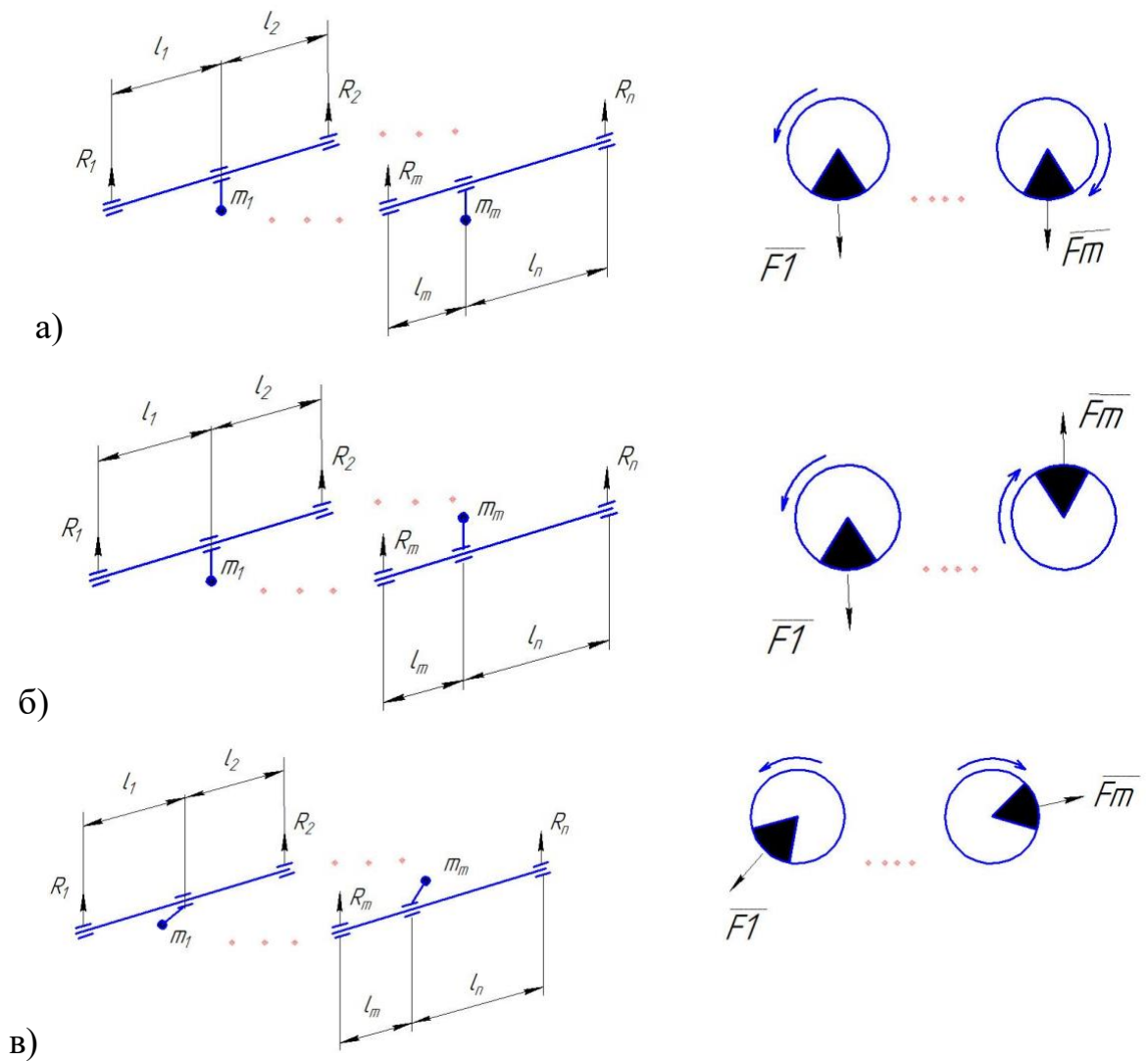


Рис. 2.18. Багатовальна вібраційна система з одним дебалансом на кожному валу:

- а) дебаланси направлені в один бік; б) дебаланси направлені в протилежні боки; в) дебаланси направлені в різні боки під певним кутом

3. Дебаланси направлені в різні боки під певним кутом.

Рівновіддалене розміщення $l_1=l_2, \dots, l_m=l_n$, в такому випадку результуючі реакції на опорах будуть рівні, $R_1=R_2, R_3=R_4, \dots, R_m=R_n$.

Розміщення зі зміщенням відносно центру: у разі $l_1<l_2, \dots, l_m<l_n$ результуючі реакції на опорах будуть різні, $R_1>R_2, \dots, R_m>R_n$; у разі $l_1>l_2, \dots, l_m>l_n$ розподіл реакцій $R_1<R_2, \dots, R_m<R_n$.

В випадку коли дебаланси направлені в різні боки під певним кутом і маси рівні $m_1=m_2, \dots, m_m$ або маси не рівні $m_1 \neq m_2, \dots, m_m$, результуючий вектор збурюючої

сили $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots \vec{F}_m$ може бути, як зрівноважений і дорівнювати нулю, так і може бути не зрівноважений і мати певний напрямок у бік більшої маси (рис. 2.19).

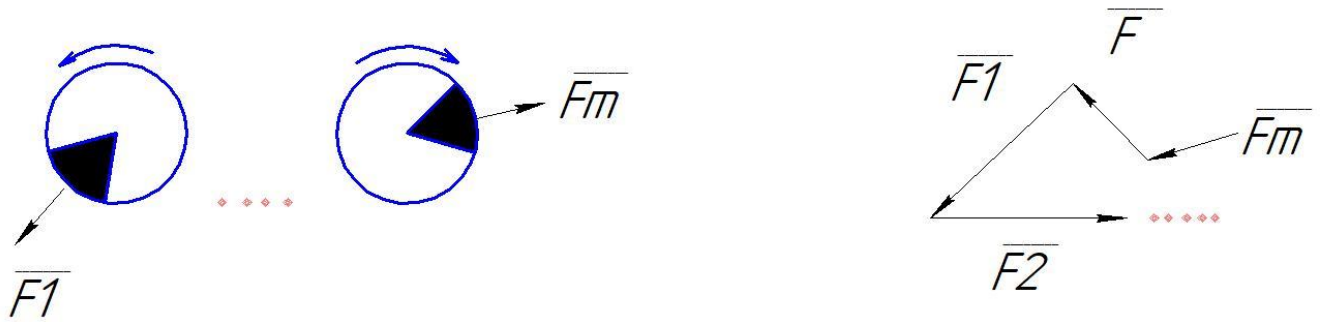
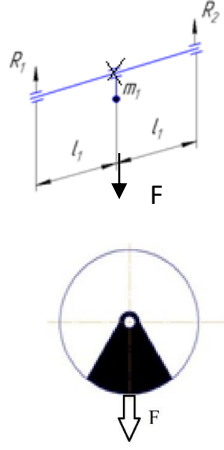
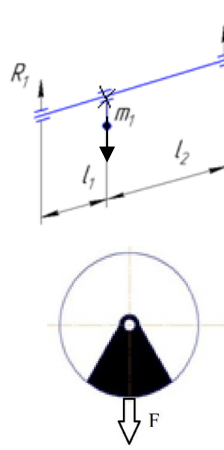
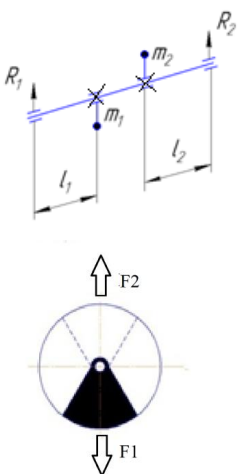
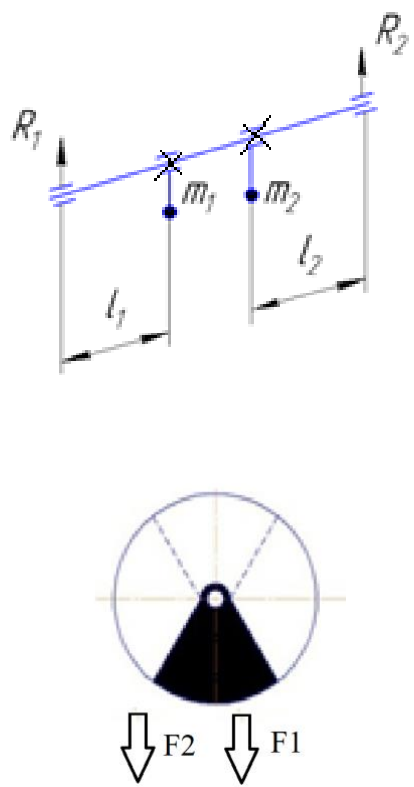
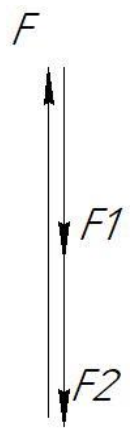


Рис. 2.19. Результируючий вектор збурюючої сили $\vec{F}$ у випадку, коли дебаланси направлені в різні боки під певним кутом

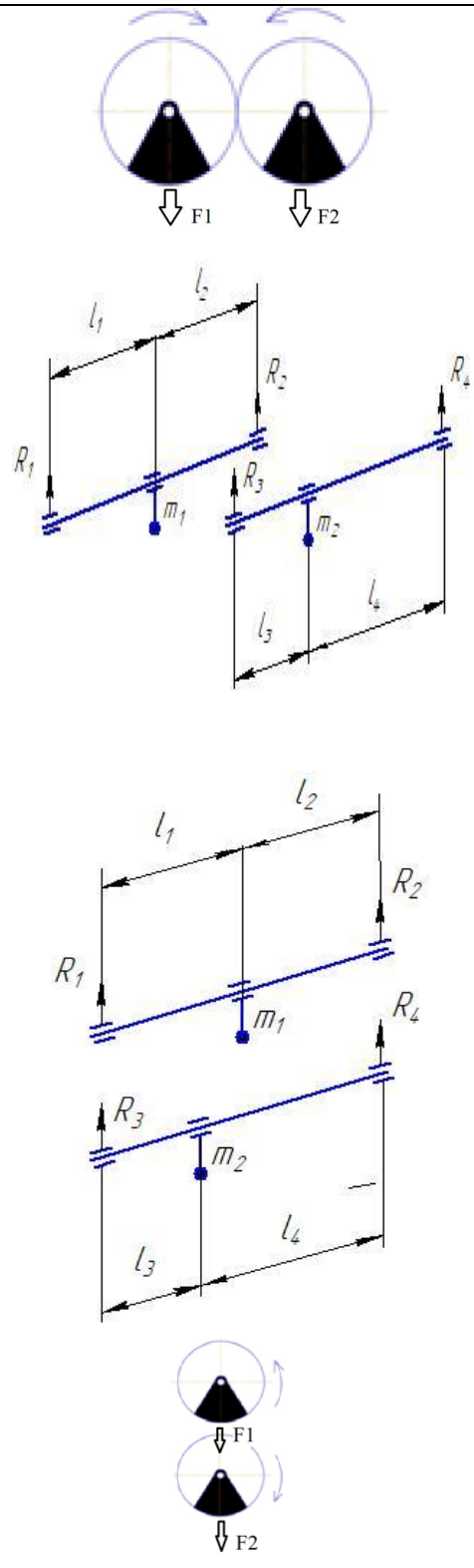
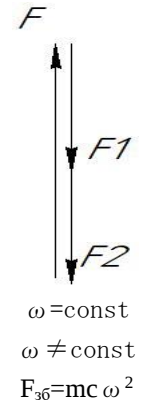
Систематизація різноманітних вібросистем

№	Кількість дебалансів	Схема	Співвідношення мас	Вид коливання	Навантаження, реакції, розміри, кутова швидкість	Напрямок збурюючої сили
1	2	3	4	5	6	7
1	Один		m_1	Кругові	$R_1 = R_2$ $l_1 = l_2$	 $\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$
				Кругові	$R_1 > R_2$ $l_1 < l_2$	
				Кругові	$R_1 < R_2$ $l_1 > l_2$	

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
2	Два		$m_1 = m_2$	Кругові	$R_1 = R_2$ $l_1 = l_2$,	 $\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36} = mc \omega^2$
			$m_1 > m_2$		$R_1 > R_2$ $l_1 < l_2$,	
			$m_1 < m_2$		$R_1 < R_2$ $l_1 > l_2$	
3	Два		$m_1 = m_2$	Кругові	$R_1 = R_2$ $l_1 = l_2$	 $\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36} = mc \omega^2$
			$m_1 > m_2$		$R_1 > R_2$ $l_1 < l_2$	
			$m_1 < m_2$		$R_1 < R_2$ $l_1 > l_2$	

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
4	Два		$m_1=m_2$	Кругові	$R_1= R_2$ $l_1=l_2$	
			$m_1>m_2$		$R_3= R_4$ $l_3=l_4$	
			$m_1<m_2$		$R_1> R_2$ $l_1 < l_2$	
			$m_1<m_2$		$R_3> R_4$ $l_3 < l_4$	
					$R_1< R_2$ $l_1 > l_2$	
					$R_3<R_4$ $l_3 > l_4$	

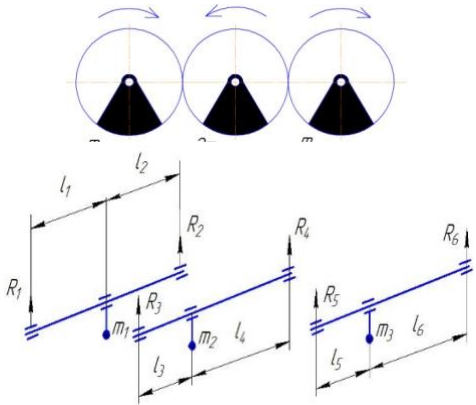
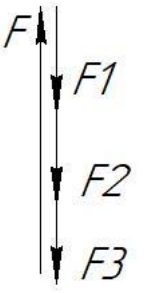
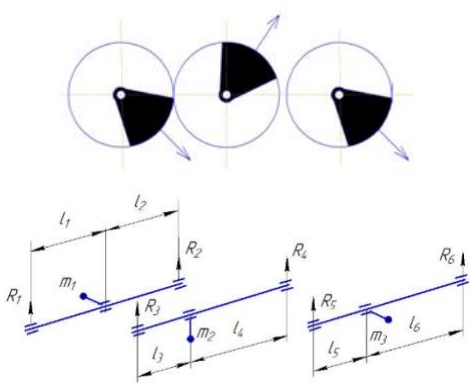
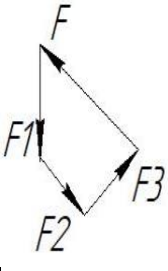
Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
5	Два		$m_1 = m_2$	Кругові	$R_1 = R_2$ $R_3 = R_4$ $l_1 = l_2$ $l_3 = l_4$	$\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36} = m\omega^2$
			$m_1 > m_2$		$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$	
			$m_1 < m_2$		$R_1 > R_2$ $R_3 > R_4$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$	

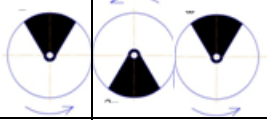
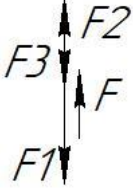
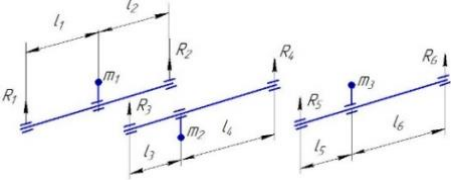
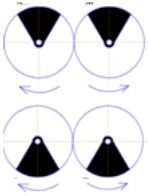
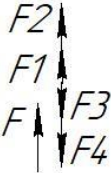
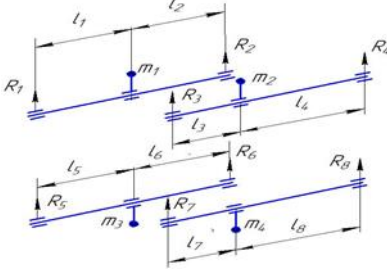
Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
6	Два		$m_1 = m_2$	Кругові	$R_1 = R_2$ $R_3 = R_4$ $l_1 = l_2$ $l_3 = l_4$	
		або 	$m_1 > m_2$		$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$	
			$m_1 < m_2$		$R_1 > R_2$ $R_3 > R_4$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$	

Продовження таблиці 2.1

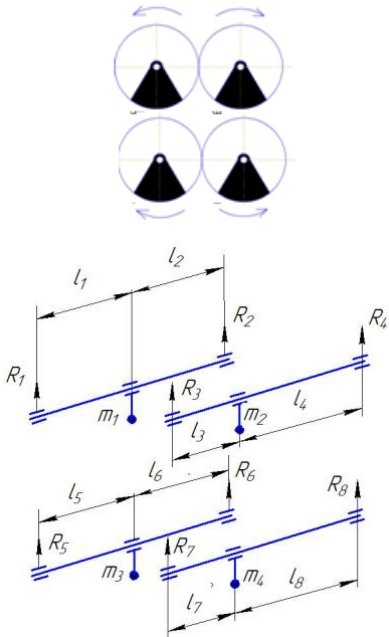
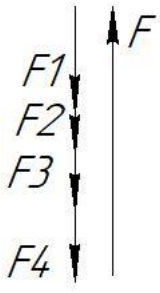
1	2	3	4	5	6	7
7	Три		$m_1 = m_2 = m_3$	Кругові	$R_1 = R_2$ $R_3 = R_4$ $R_5 = R_6$ $l_1 = l_2$ $l_3 = l_4$ $l_5 = l_6$	 $\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36} = m\omega^2$
			$m_1 > m_2$ $m_1 > m_3$ $m_1 < m_2$ $m_1 < m_3$ $m_2 > m_3$ $m_2 < m_3$		$R_1 > R_2$ $R_5 > R_6$ $R_3 > R_4$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$	
					$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $R_5 < R_6$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$	
8	Три		$m_1 = m_2 = m_3$	Кругові	$R_1 = R_2$ $R_3 = R_4$ $R_5 = R_6$ $l_1 = l_2$ $l_3 = l_4$ $l_5 = l_6$	 $\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36} = m\omega^2$
			$m_1 > m_2$ $m_1 < m_2$ $m_1 > m_3$ $m_1 < m_3$ $m_2 > m_3$ $m_2 < m_3$		$R_1 > R_2$ $R_5 > R_6$ $R_3 > R_4$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$	
					$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $R_5 < R_6$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$	

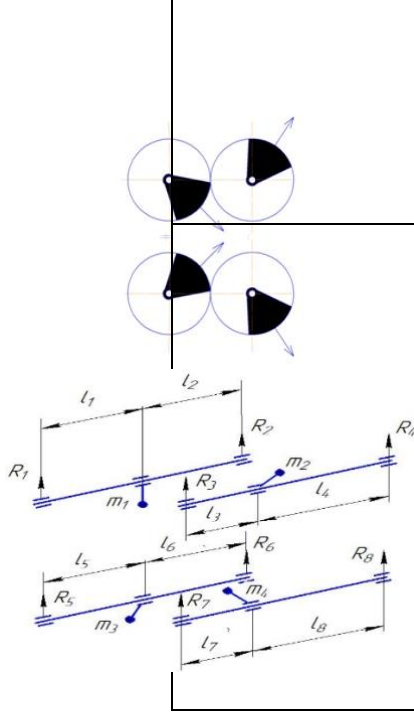
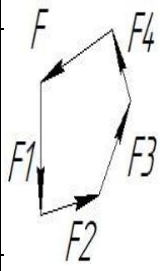
Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
9			$m_1=m_2=m_3$		$R_1= R_2$ $R_3= R_4$ $R_5= R_6$ $l_1=l_2$ $l_3=l_4$ $l_5=l_6$	
	Три		$m_1>m_2$ $m_1<m_2$ $m_1>m_3$ $m_1<m_3$	Кругові	$R_1> R_2$ $R_5> R_6$ $R_3> R_4$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$	$\omega =const$ $\omega \neq const$ $F_{36}=m\omega^2$
			$m_2>m_3$ $m_2<m_3$		$R_1< R_2$ $R_3< R_4$ $R_5< R_6$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$	
10	Чотири		$m_1=m_2==$ $m_3=m_4$	Кругові	$R_1= R_2$ $R_3= R_4$ $R_5= R_6$ $R_7= R_8$ $l_1=l_2$ $l_3=l_4$ $l_5=l_6$ $l_7=l_8$	
			$m_1>m_2$ $m_1<m_2$ $m_1>m_3$ $m_1<m_3$ $m_2>m_3$ $m_2<m_3$ $m_1>m_4$		$R_1> R_2$ $R_3>R_4$ $R_5>R_6$ $R_7>R_8$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$ $l_7 < l_8$	$\omega =const$ $\omega \neq const$ $F_{36}=m\omega^2$

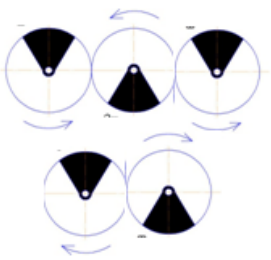
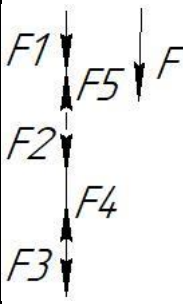
			$m_1 < m_4$ $m_2 > m_4$ $m_2 < m_4$		$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $R_5 < R_6$ $R_7 < R_8$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$ $l_7 > l_8$	
--	--	--	---	--	--	--

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
11	Чотири		$m_1 = m_2 = m_3 = m_4$	Крутові	$R_1 = R_2$ $R_3 = R_4$ $R_5 = R_6$ $R_7 = R_8$ $l_1 = l_2$ $l_3 = l_4$ $l_5 = l_6$ $l_7 = l_8$	 $\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36} = mc\omega^2$
			$m_1 > m_2$ $m_1 < m_2$ $m_1 > m_3$ $m_1 < m_3$ $m_2 > m_3$ $m_2 < m_3$ $m_1 > m_4$ $m_1 < m_4$ $m_2 > m_4$ $m_2 < m_4$		$R_1 > R_2$ $R_3 > R_4$ $R_5 > R_6$ $R_7 > R_8$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$ $l_7 < l_8$	
					$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $R_5 < R_6$ $R_7 < R_8$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$ $l_7 > l_8$	

12	Чотири		$m_1 = m_2 = m_3 = m_4$	Кругові	$R_1 = R_2$ $R_3 = R_4$ $R_5 = R_6$ $R_7 = R_8$ $l_1 = l_2$ $l_3 = l_4$ $l_5 = l_6$ $l_7 = l_8$		$\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36} = m\omega^2$
			$m_1 > m_2$ $m_1 < m_2$ $m_1 > m_3$ $m_1 < m_3$ $m_2 > m_3$ $m_2 < m_3$		$R_1 > R_2$ $R_3 > R_4$ $R_5 > R_6$ $R_7 > R_8$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$ $l_7 < l_8$		
			$m_1 > m_4$		$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $R_5 < R_6$ $R_7 < R_8$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$ $l_7 > l_8$		

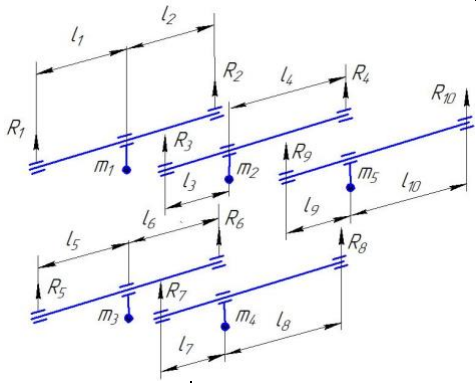
Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
13	П'ять		$m_1=m_2==$ $m_3=$ $=m_4= m_5$	Кругові	$R_1= R_2$ $R_3= R_4$ $R_5= R_6$ $R_7= R_8$ $R_9= R_{10}$ $l_1=l_2$ $l_3=l_4$ $l_5=l_6$ $l_7=l_8$ $l_9=l_{10}$	 $\omega =const$ $\omega \neq const$ $F_{36}=m\omega^2$

			$m_1 > m_2$ $m_1 < m_2$ $m_1 > m_3$ $m_1 < m_3$ $m_2 > m_3$ $m_2 < m_3$ $m_1 > m_4$ $m_1 < m_4$ $m_2 > m_4$ $m_2 < m_4$ $m_1 > m_5$ $m_1 < m_5$ $m_2 > m_5$ $m_2 < m_5$ $m_3 > m_5$ $m_3 < m_5$ $m_4 > m_5$ $m_4 < m_5$		$R_1 > R_2$ $R_3 > R_4$ $R_5 > R_6$ $R_7 > R_8$ $R_9 > R_{10}$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$ $l_7 < l_8$ $l_9 < l_{10}$	
					$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $R_5 < R_6$ $R_7 < R_8$ $R_9 < R_{10}$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$ $l_7 > l_8$ $l_9 > l_{10}$	

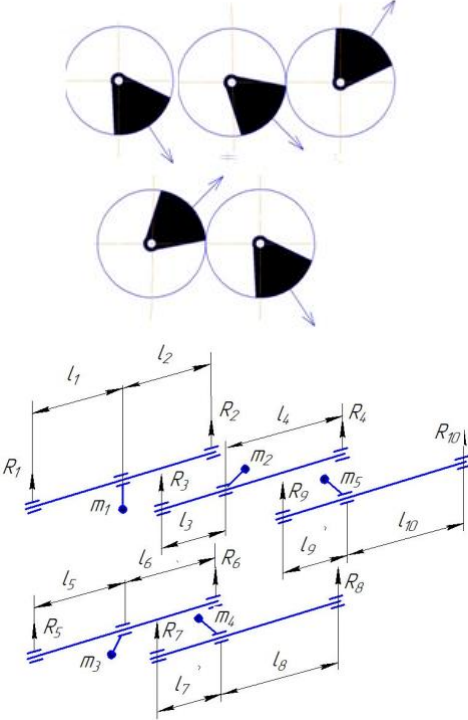
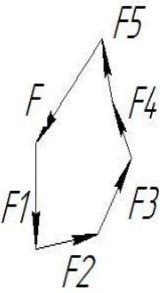
Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
14	П'ять		$m_1 = m_2 =$ $m_3 =$ $m_4 = m_5$	Кругові		$\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36} = m\omega^2$

					$R_1 = R_2$ $R_3 = R_4$ $R_5 = R_6$ $R_7 = R_8$ $R_9 = R_{10}$ $l_1 = l_2$ $l_3 = l_4$ $l_5 = l_6$ $l_7 = l_8$ $l_9 = l_{10}$		
			$m_1 > m_2$ $m_1 < m_2$ $m_1 > m_3$ $m_1 < m_3$ $m_2 > m_3$				
			$m_2 < m_3$ $m_1 > m_4$ $m_1 < m_4$ $m_2 > m_4$ $m_2 < m_4$ $m_1 > m_5$ $m_1 < m_5$ $m_2 > m_5$		$R_1 > R_2$ $R_3 > R_4$ $R_5 > R_6$ $R_7 > R_8$ $R_9 > R_{10}$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$ $l_7 < l_8$ $l_9 < l_{10}$		
			$m_2 < m_5$ $m_3 > m_5$ $m_3 < m_5$ $m_4 > m_5$ $m_4 < m_5$		$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $R_5 < R_6$ $R_7 < R_8$ $R_9 < R_{10}$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$ $l_7 > l_8$ $l_9 > l_{10}$		

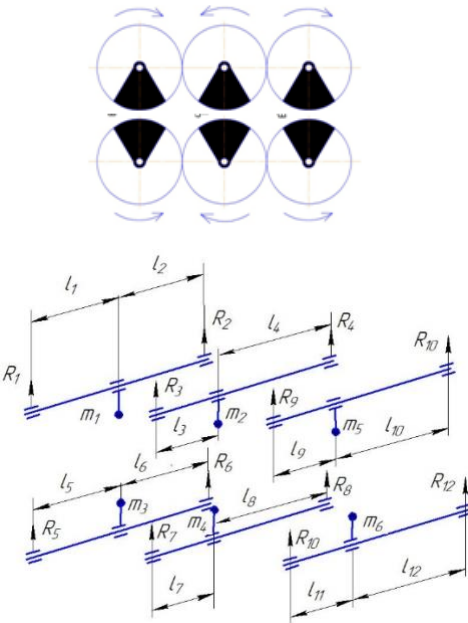
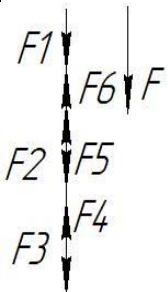
Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

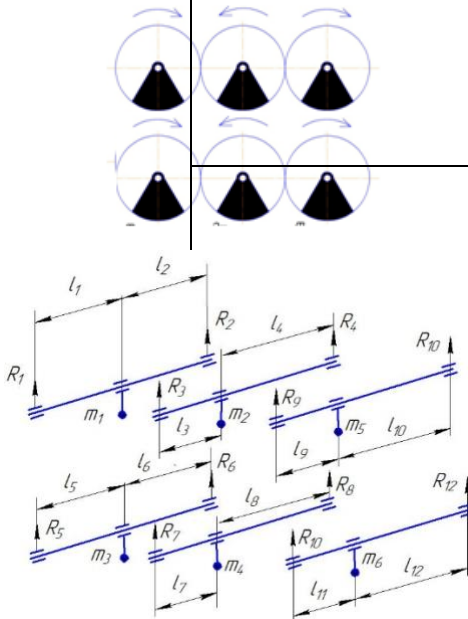
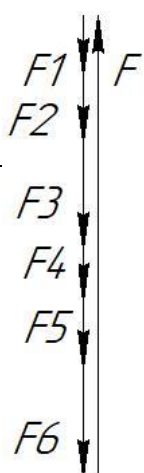
15	П'ять		$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5$	Кругові	$R_1 = R_2$ $R_3 = R_4$ $R_5 = R_6$ $R_7 = R_8$ $R_9 = R_{10}$ $l_1 = l_2$ $l_3 = l_4$ $l_5 = l_6$ $l_7 = l_8$ $l_9 = l_{10}$	 $\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36} = m\omega^2$
					$R_1 > R_2$ $R_3 > R_4$ $R_5 > R_6$ $R_7 > R_8$ $R_9 > R_{10}$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$ $l_7 < l_8$ $l_9 < l_{10}$	
					$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $R_5 < R_6$ $R_7 < R_8$ $R_9 < R_{10}$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$ $l_7 > l_8$ $l_9 > l_{10}$	

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

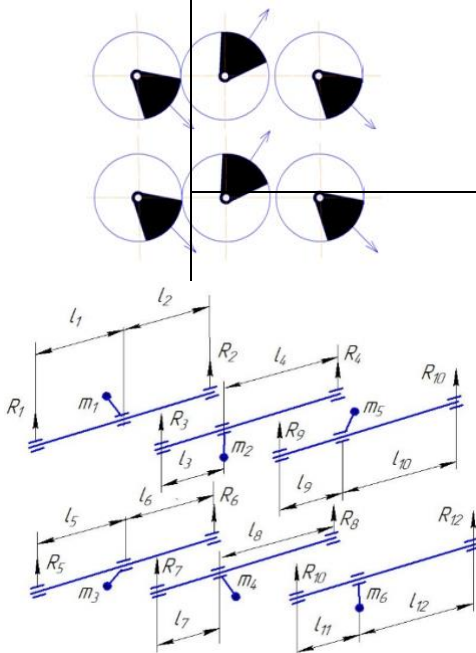
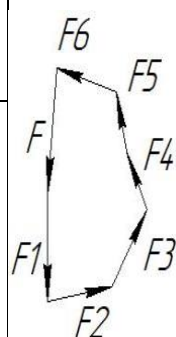
16	Шість		$m_1 = m_2 =$ $m_3 =$ $= m_4 =$ $= m_5 = m_6$	Кругові	$R_1 = R_2$ $R_3 = R_4$ $R_5 = R_6$ $R_7 = R_8$ $R_9 = R_{10}$ $R_{11} = R_{12}$ $l_1 = l_2$ $l_3 = l_4$ $l_5 = l_6$ $l_7 = l_8$ $l_9 = l_{10}$ $l_{11} = l_{12}$	 $\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36} = mc\omega^2$
			$m_1 > m_2$ $m_1 < m_2$ $m_1 > m_3$ $m_1 < m_3$ $m_2 > m_3$ $m_2 < m_3$ $m_1 > m_4$ $m_1 < m_4$ $m_2 > m_4$ $m_2 < m_4$ $m_1 > m_5$ $m_1 < m_5$ $m_2 > m_5$ $m_2 < m_5$ $m_3 > m_5$ $m_3 < m_5$ $m_4 > m_5$ $m_4 < m_5$ $m_1 > m_6$ $m_1 < m_6$ $m_2 > m_6$ $m_2 < m_6$ $m_3 > m_6$ $m_3 < m_6$ $m_4 > m_6$ $m_4 < m_6$	Кругові	$R_1 > R_2$ $R_3 > R_4$ $R_5 > R_6$ $R_7 > R_8$ $R_9 > R_{10}$ $R_{11} > R_{12}$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$ $l_7 < l_8$ $l_9 < l_{10}$ $l_{11} < l_{12}$	$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $R_5 < R_6$ $R_7 < R_8$ $R_9 < R_{10}$ $R_{11} < R_{12}$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$ $l_7 > l_8$ $l_9 > l_{10}$ $l_{11} > l_{12}$

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
17	Шість		$m_1=m_2=$ $m_3=$ $=m_4=$ $=m_5= m_6$		$R_1= R_2$ $R_3= R_4$ $R_5= R_6$ $R_7= R_8$ $R_9= R_{10}$ $R_{11}= R_{12}$ $l_1=l_2$ $l_3=l_4$ $l_5=l_6$ $l_7=l_8$ $l_9=l_{10}$ $l_{11}=l_{12}$	
			$m_1>m_2$ $m_1<m_2$ $m_1>m_3$ $m_1<m_3$ $m_2>m_3$ $m_2<m_3$ $m_1>m_4$ $m_1<m_4$ $m_2>m_4$ $m_2<m_4$ $m_1>m_5$ $m_1<m_5$ $m_2>m_5$ $m_2<m_5$ $m_3>m_5$ $m_3<m_5$		$R_1> R_2$ $R_3>R_4$ $R_5>R_6$ $R_7>R_8$ $R_9>R_{10}$ $R_{11}>R_{12}$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$ $l_7 < l_8$ $l_9 < l_{10}$ $l_{11} < l_{12}$	
			$m_4>m_5$ $m_4<m_5$ $m_1>m_6$ $m_1<m_6$ $m_2>m_6$ $m_2<m_6$ $m_3>m_6$ $m_3<m_6$ $m_4>m_6$ $m_4<m_6$		$R_1< R_2$ $R_3<R_4$ $R_5<R_6$ $R_7<R_8$ $R_9<R_{10}$ $R_{11}<R_{12}$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$ $l_7 > l_8$ $l_9 > l_{10}$ $l_{11} > l_{12}$	$\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36}=m\omega^2$

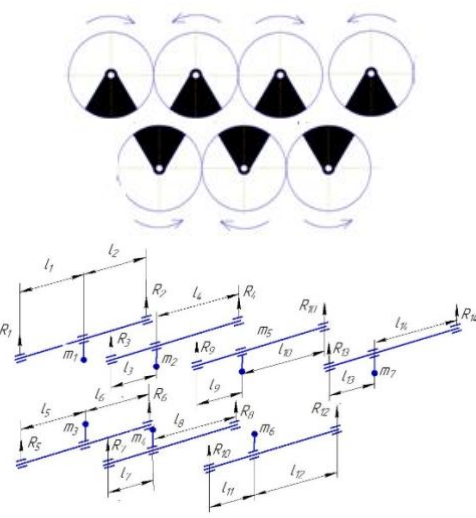
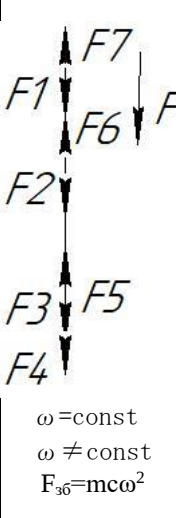
Продовження таблиці 2.1

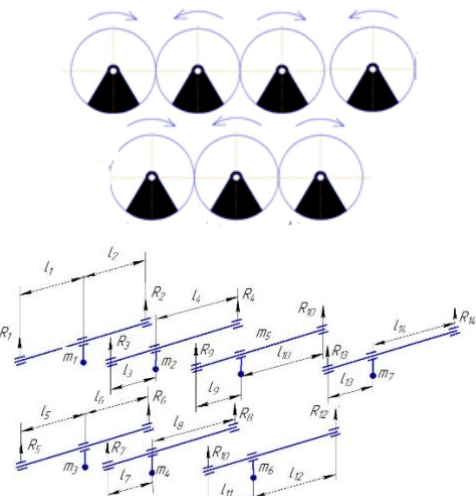
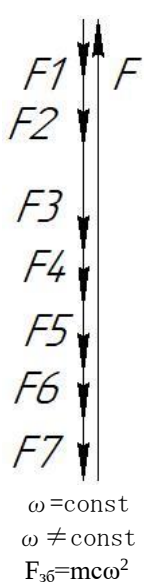
1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

18	Шість		$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = m_6$		$R_1 = R_2$ $R_3 = R_4$ $R_5 = R_6$ $R_7 = R_8$ $R_9 = R_{10}$ $R_{11} = R_{12}$ $l_1 = l_2$ $l_3 = l_4$ $l_5 = l_6$ $l_7 = l_8$ $l_9 = l_{10}$ $l_{11} = l_{12}$	
			$m_1 > m_2$ $m_1 < m_2$	Кругові	$R_1 > R_2$ $R_3 > R_4$ $R_5 > R_6$ $R_7 > R_8$ $R_9 > R_{10}$ $R_{11} > R_{12}$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$ $l_7 < l_8$ $l_9 < l_{10}$ $l_{11} < l_{12}$	 $\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36} = m c \omega^2$
			$m_1 > m_3$ $m_1 < m_3$ $m_2 > m_3$ $m_2 < m_3$ $m_1 > m_4$ $m_1 < m_4$ $m_2 > m_4$ $m_2 < m_4$ $m_1 > m_5$ $m_1 < m_5$ $m_2 > m_5$ $m_2 < m_5$ $m_3 > m_5$		$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $R_5 < R_6$ $R_7 < R_8$ $R_9 < R_{10}$ $R_{11} < R_{12}$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$ $l_7 > l_8$ $l_9 > l_{10}$ $l_{11} > l_{12}$	

Продовження таблиці 2.1

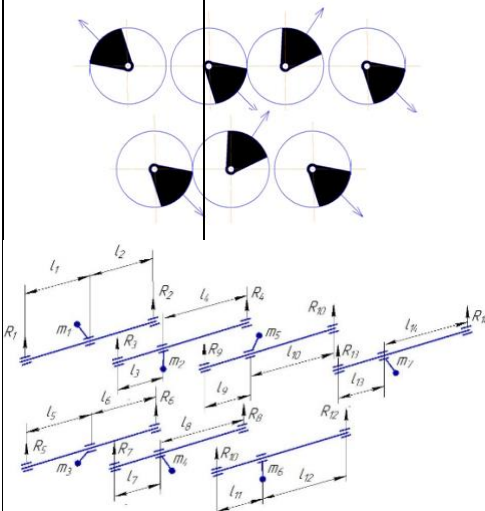
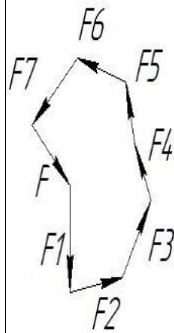
1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

19	Сім		$m_1=m_2==$ $m_3=$ $=m_4=$ $=m_5= m_6=$ m_7	Кругові	$R_1= R_2$ $R_3= R_4$ $R_5= R_6$ $R_7= R_8$ $R_9= R_{10}$ $R_{11}= R_{12}$ $R_{13}= R_{14}$ $l_1=l_2$ $l_3=l_4$ $l_5=l_6$ $l_7=l_8$ $l_9=l_{10}$ $l_{11}=l_{12}$ $l_{13}=l_{14}$	 $\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36} = mc\omega^2$
			$m_1 > m_2$ $m_1 < m_2$ $m_1 > m_3$ $m_1 < m_3$ $m_2 > m_3$ $m_2 < m_3$ $m_1 > m_4$ $m_1 < m_4$ $m_2 > m_4$ $m_2 < m_4$ $m_1 > m_5$ $m_1 < m_5$ $m_2 > m_5$ $m_2 < m_5$ $m_3 > m_5$		$R_1 > R_2$ $R_3 > R_4$ $R_5 > R_6$ $R_7 > R_8$ $R_9 > R_{10}$ $R_{11} > R_{12}$ $R_{13} > R_{14}$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$ $l_7 < l_8$ $l_9 < l_{10}$ $l_{11} < l_{12}$ $l_{13} < l_{14}$	

1	2	3	4	5	6	7
			$m_3 < m_5$ $m_4 > m_5$ $m_4 < m_5$ $m_1 > m_6$ $m_1 < m_6$ $m_2 > m_6$ $m_2 < m_6$ $m_3 > m_6$ $m_3 < m_6$ $m_4 > m_6$ $m_4 < m_6$ $m_3 > m_7$ $m_3 < m_7$ $m_4 > m_7$ $m_4 < m_7$ $m_1 > m_7$ $m_1 < m_7$ $m_2 > m_7$ $m_2 < m_7$ $m_3 > m_7$ $m_3 < m_7$ $m_7 > m_6$ $m_7 < m_6$		$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $R_5 < R_6$ $R_7 < R_8$ $R_9 < R_{10}$ $R_{11} < R_{12}$ $R_{13} < R_{14}$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$ $l_7 > l_8$ $l_9 > l_{10}$ $l_{11} > l_{12}$ $l_{13} > l_{14}$	
20	Сім		$m_1 = m_2 =$ $m_3 =$ $= m_4 =$ $= m_5 = m_6 =$ m_7	Кругові		

Продовження таблиці 2.1

1	2	3		4	5	6	7
				$m_1 < m_2$ $m_1 > m_3$ $m_1 < m_3$ $m_2 > m_3$ $m_2 < m_3$ $m_1 > m_4$ $m_1 < m_4$ $m_2 > m_4$ $m_2 < m_4$ $m_1 > m_5$ $m_1 < m_5$ $m_2 > m_5$ $m_2 < m_5$ $m_3 > m_5$ $m_3 < m_5$ $m_4 > m_5$ $m_4 < m_5$ $m_1 > m_6$ $m_1 < m_6$		$R_1 = R_2$ $R_3 = R_4$ $R_5 = R_6$ $R_7 = R_8$ $R_9 = R_{10}$ $R_{11} = R_{12}$ $R_{13} = R_{14}$ $l_1 = l_2$ $l_3 = l_4$ $l_5 = l_6$ $l_7 = l_8$ $l_9 = l_{10}$ $l_{11} = l_{12}$ $l_{13} = l_{14}$	
				$m_2 > m_6$ $m_2 < m_6$ $m_3 > m_6$ $m_3 < m_6$ $m_4 > m_6$ $m_4 < m_6$ $m_3 > m_7$ $m_3 < m_7$ $m_4 > m_7$ $m_4 < m_7$ $m_1 > m_7$ $m_1 < m_7$ $m_2 > m_7$ $m_2 < m_7$ $m_3 > m_7$ $m_3 < m_7$ $m_7 > m_6$ $m_7 < m_6$		$R_1 > R_2$ $R_3 > R_4$ $R_5 > R_6$ $R_7 > R_8$ $R_9 > R_{10}$ $R_{11} > R_{12}$ $R_{13} > R_{14}$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$ $l_7 < l_8$ $l_9 < l_{10}$ $l_{11} < l_{12}$ $l_{13} < l_{14}$	

1	2	3		4	5	6	7
						$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $R_5 < R_6$ $R_7 < R_8$ $R_9 < R_{10}$ $R_{11} < R_{12}$ $R_{13} < R_{14}$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$ $l_7 > l_8$ $l_9 > l_{10}$ $l_{11} > l_{12}$ $l_{13} > l_{14}$	
21	Сім			$m_1 = m_2 =$ $m_3 =$ $m_4 =$ $m_5 = m_6 =$ m_7	Кругові	$R_1 = R_2$ $R_3 = R_4$ $R_5 = R_6$ $R_7 = R_8$ $R_9 = R_{10}$ $R_{11} = R_{12}$ $R_{13} = R_{14}$ $l_1 = l_2$ $l_3 = l_4$ $l_5 = l_6$ $l_7 = l_8$ $l_9 = l_{10}$ $l_{11} = l_{12}$ $l_{13} = l_{14}$	 $\omega = \text{const}$ $\omega \neq \text{const}$ $F_{36} = mc\omega^2$

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
			$m_2 > m_3$ $m_2 < m_3$ $m_1 > m_4$ $m_1 < m_4$ $m_2 > m_4$ $m_2 < m_4$ $m_1 > m_5$ $m_1 < m_5$ $m_2 > m_5$ $m_2 < m_5$ $m_3 > m_5$ $m_3 < m_5$ $m_4 > m_5$		$R_5 > R_6$ $R_7 > R_8$ $R_9 > R_{10}$ $R_{11} > R_{12}$ $R_{13} > R_{14}$ $l_1 < l_2$ $l_3 < l_4$ $l_5 < l_6$ $l_7 < l_8$ $l_9 < l_{10}$ $l_{11} < l_{12}$ $l_{13} < l_{14}$	
			$m_4 < m_5$ $m_1 > m_6$ $m_1 < m_6$ $m_2 > m_6$ $m_2 < m_6$ $m_3 > m_6$ $m_3 < m_6$ $m_4 > m_6$ $m_4 < m_6$ $m_3 > m_7$ $m_3 < m_7$ $m_4 > m_7$ $m_4 < m_7$ $m_1 > m_7$ $m_1 < m_7$ $m_2 > m_7$ $m_2 < m_7$ $m_3 > m_7$ $m_3 < m_7$ $m_7 > m_6$ $m_7 < m_6$		$R_1 < R_2$ $R_3 < R_4$ $R_5 < R_6$ $R_7 < R_8$ $R_9 < R_{10}$ $R_{11} < R_{12}$ $R_{13} < R_{14}$ $l_1 > l_2$ $l_3 > l_4$ $l_5 > l_6$ $l_7 > l_8$ $l_9 > l_{10}$ $l_{11} > l_{12}$ $l_{13} > l_{14}$	

Висновок. Таким чином запропоновані схеми ВСМТ являють собою в корені новий підхід по даному питанню. Завдяки використанню таких ВСМТ відкриваються нові робочі можливості машин.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

3.1 Вимоги безпеки при роботі з віброустановками

Вібраційні машини та установки впливають на ґрунт частими коливаннями з малою амплітудою і значним прискоренням, достатнім для переміщення частинок ґрунту в найбільш стійке положення. Збудником цих коливань є вібратор (один або кілька), який, будучи змонтований в корпусі машини, здатний викликати коливання її робочого органу - плити, колеса, вальца і т. п.

На вібраційних машинах, призначених для ущільнення ґрунту, найбільш широкого поширення набули механічні вібратори ексцентрикового типу, у яких збурюючою силою є відцентрова сила інерції. Під збурюючою силою розуміється сума вертикальних складають відцентрових сил інерції, що розвиваються при обертанні незрівноважених мас (дебалансів), укріплених на валу вібраторів.

Тривала дія вібрації в комплексі з іншими виробничими чинниками може призвести до виникнення вібраційної хвороби.

Людина може відчувати вібрацію у діапазоні частот від частки герца до 8000 Гц. Вібрація зі ще вищою частотою сприймається як теплове відчуття. При підвищенні частоти коливань до 16 Гц вібрація супроводжується появою шуму.

Вібрацію класифікують за такими ознаками:

- за способом впливу на людину – загальна і локальна;
- за джерелом виникнення – транспортна (при русі машин), транспортно-технологічна (при поєднанні руху з технологічним процесом, наприклад при косовиці або обмолоті самохідним комбайном, риття траншей екскаватором і т.п.) і технологічна (при роботі стаціонарного вібростенда);
- за частотою коливань – низькочастотна (менше 22,6 Гц), середньочастотна (22,6 ... 90 Гц) і високочастотна (більше 90 Гц);
- за характером спектра – вузько- і широкопasmовою;
- за часом дії – постійна і непостійна;

- останню, в свою чергу, ділять на коливну в часі, переривчасту та імпульсну.

Віброущільнюючі машини, механізми, електрообладнання, прилади, апаратура, засоби захисту, матеріали і технології, у тому числі іноземного виробництва, допускаються до експлуатації за наявності також висновку Держсанепідемнагляду України.

Експлуатація та обслуговування вібраційних машин, обладнання, приладів і апаратури, а також їх монтаж, демонтаж і збереження здійснюються відповідно до вимог Правил безпеки та інструкцій (керівництв) з їх експлуатації.

Змінення конструкції машин, обладнання, схем управління та захисту дозволяється за узгодженням з організацією – розробником та підприємством-виробником і наявністю дозволу органів Держгірпромнагляду України.

Залежно від тривалості, інтенсивності дії, частоти, а також умов праці вібрація спричиняє стійкі патологічні зміни в нервовій системі (порушення процесів збудження та гальмування), опорно-руховому апараті (деформація суглобів, втрата сили м'язів) та кровоносній системі (звуження або розширення периферійних судин).

Особливо небезпечними для людини є коливання з частотою 4...8 Гц, що збігаються з власною частотою коливань ряду внутрішніх органів, які пружно закріплені на скелеті (серце, печінка, нирки та ін.), і близько 30 Гц (частота власних коливань тіла людини).

Найбільш шкідливим для людини є одночасний вплив вібрації, шуму та низької температури, а оскільки у виробничих умовах шум та вібрація є супутниками, то їхній спільний вплив може призвести до професійного захворювання – віброшумової хвороби. Ця хвороба тяжко піддається лікуванню і може стати причиною інвалідності. Особливо небезпечною ця хвороба є для жінок через ризик втрати репродуктивної функції. Гігієнічне нормування вібрації проводять згідно з [9] окремо для загальної та локальної вібрацій.

Нормований діапазон частот встановлюється:

- для локальної вібрації у вигляді октавних смуг із середньгеометричними частотами 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц;

- для загальної вібрації – октавних та 1/3-октавних смуг із середньгеометричними частотами 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; ...; 50; 63; 80 Гц.

Експлуатація віброобладнання допускається за умови справної системи захисту, що здійснюється запобіжними реле або спеціальними каліброваними плавкими запобіжними пробками. Запобіжні реле мають бути опломбовані.

Не дозволяється експлуатація машин без захисних кожухів на дебалансних системах.

У проектах, інструкціях, керівництвах та інших документах, що випускається, мають бути вказані значення параметрів створюваних ним шкідливих виробничих факторів і можливі небезпеки у разі недотримання правил і норм експлуатації вібраційного обладнання. При нормальних (штатних) режимах роботи машини та обладнання не повинні становити небезпеку і шкодити робітникам та довкіллю.

Нормовані параметри шкідливості повинні витримуватись протягом усього періоду експлуатації вібраційного обладнання, у тому числі і після капітального ремонту.

Рухомі частини обладнання, що являють собою джерело небезпеки для людей, мають бути відгороджені кожухом. Кожухи мають поставлятися підприємством-виробником комплектно з технічним пристроєм.

Під час запуску в роботу вібраційного обладнання, що має рухомі частини, встановлення кожухів, яких неможливе через їх функціональне призначення, а також запуску в роботу машин, що пересуваються, має включатися попереджувальна сигналізація. Підприємство-виробник зобов'язане обладнати зазначені вібраційні машини сигналізацією, а також засобами зупинки й відключення їх від джерел енергії.

Передпусковий застережний сигнал має бути звуковим тривалістю не меншою за 6 с.

Інструменти та пристосування, що використовуються для обслуговування віброобладнання та технічних пристроїв, повинні відповідати вимогам безпеки, умовам праці, виконуваний роботі і мати інструкцію з їх безпечного застосування.

У разі використання механізованих інструментів і пристосувань необхідно дотримуватися вимог заводу-виробника, зазначених в експлуатаційних документах.

Вібраційне обладнання, прилади та апаратура повинні обстежуватися і ремонтуватися за графіками, затвердженими уповноваженими особами, і нарядами на виконання робіт з урахуванням вимог заводської документації.

Не дозволяється працювати на пошкодженому вібраційному обладнанні, а також користуватися несправними приладами, апаратурою, пристосуваннями та інструментами.

Роботи з огляду, випробування, монтажу, ремонту та налагодження Вібраційного й електротехнічного устаткування повинні проводитися відповідно до вимог НПАОП 00.0-6.18-04 [10], НПАОП 40.1-1.21-98 [11] організаціями, що мають дозвіл Держгірпромнагляду України відповідно до ДНАОП 00.0-4.05-03 [12].

Випробування та експертні обстеження (технічне діагностування) вібраційного обладнання потрібно проводити спеціалізованими організаціями, які мають дозволи Держгір-промнагляду України на виконання цих робіт.

У місцях, визначених відповідальними особами, розміщуються покажчики, сигнали та знаки аварійної небезпеки, передбачені вимогами до сигналів і знаків при виконанні ґрунтоущільнюючих робіт [13].

Всі особи під роботи з вібраційними установками повинні мати спецодяг та спецвзуття, мати при собі та вміти користуватися і застосовувати за необхідності засоби індивідуального захисту.

Закон України «Про охорону праці» передбачає, що за порушення законів та інших НПАОП, створення перешкод у діяльності посадових осіб органів державного нагляду за охороною праці, а також представників профспілок, їх

організацій та об'єднань винні особи притягаються до дисциплінарної, адміністративної, матеріальної та кримінальної відповідальності.

Дисциплінарна відповідальність полягає в тому, що на винного працівника накладається дисциплінарне стягнення. Ця відповідальність встановлена Кодексом законів про працю України. Згідно ст. 147 існує два види дисциплінарного стягнення: догана та звільнення з роботи.

Законами, уставами та положеннями про дисципліну, які діють в деяких галузях (транспорт, гірничодобувна промисловість тощо), для окремих категорій працівників можуть бути передбачені інші дисциплінарні стягнення.

Адміністративна відповідальність настає за будь-які посягання на загальні умови праці. Відповідно до ст. 41 Кодексу України про адміністративні правопорушення порушення вимог законів та НПАОП тягне за собою адміністративну відповідальність у вигляді накладання штрафу на працівників та, зокрема, посадових осіб підприємств, установ, організацій, а також громадян - власників підприємств чи уповноважених ними осіб.

Право притягати до адміністративної відповідальності працівників, винних у порушенні законів та нормативно-правових актів з охорони праці мають органи державного нагляду за охороною праці.

Матеріальна відповідальність робітників і службовців регламентується КЗпПУ та іншими нормативними актами, які торкаються цієї відповідальності у трудових відносинах. Загальними підставами накладення матеріальної відповідальності на працівника є - наявність прямої дійсної шкоди, - провина працівника (у формі наміру чи необережності), - протиправні дії або бездіяльність працівника (наприклад не проведення своєчасного інструктажу особою, яка повинна це робити), - наявність причинного зв'язку між винуватим та протиправними діями (бездіяльністю) працівника та заподіяною шкодою.

На працівника може бути накладена відповідальність лише при наявності всіх перелічених умов; відсутність хоча б однієї з них виключає матеріальну відповідальність працівника.

Притягнення працівника до кримінальної, адміністративної чи дисциплінарної відповідальності за дії, якими нанесена шкода, не звільнює його від матеріальної відповідальності.

3.2 Дії працівників під час виникнення аварійних ситуацій

Джерелами небезпечних і шкідливих виробничих чинників можуть бути:

- нерегламентовані режими роботи технологічного устаткування, вібраційних механізмів та обладнання, деталі та вироби, що рухаються;
- устаткування віброобладнання, що працює під тиском;
- електромережі, електрифіковане устаткування віброустаткування та інструменти;
- інженерні комунікації;
- роботи, що призводять до психофізіологічних перевантажень;
- токсичні речовини;
- помилкові дії працівників;
- аварії.

У разі виникнення надзвичайної або аварійної ситуації чи аварії працівники зобов'язані діяти спокійно, не панікувати, точно й оперативно слідувати вказівкам керівництва, осіб, відповідальних за стан цивільного захисту (цивільної оборони) та техногенної безпеки, за протипожежну безпеку, охорону праці, а також представників аварійно-рятувальних, пожежних, медичних підрозділів.

Порядок оповіщення керівництва та працівників про загрозу виникнення надзвичайних ситуацій:

- керівники структурних підрозділів у неробочий час оповіщаються телефоном особою, відповідальною за стан цивільного захисту (цивільної оборони) та техногенної безпеки. Залежно від обстановки керівники структурних підрозділів оповіщають решту працівників.
- робочий час працівники оповіщаються про надзвичайну ситуацію особою, відповідальною за стан цивільного захисту (цивільної оборони) та техногенної безпеки.

- кожний працівник повинен знати сигнали оповіщення цивільного захисту та вміти правильно діяти в умовах загрози та виникнення надзвичайних ситуацій.

Працівник, який першим виявив загрозу виникнення аварійної ситуації, повинен:

- негайно припинити роботу та подати команду "СТОП!". Команда "СТОП!" подана будь-яким працівником, має негайно бути виконаною всіма працівниками, котрі її почули.
- якнайшвидше сповістити про надзвичайну або аварійну ситуацію особу, відповідальну за стан цивільного захисту (цивільної оборони) та техногенної безпеки, і керівництво відділень.
- за необхідності викликати інші аварійно-рятувальні служби (пожежну, медичну тощо).

У випадку виникнення надзвичайної або аварійної ситуацій кожний працівник повинен:

- припинити роботу.
- приступити до ліквідації (локалізації) аварії наявними засобами.
- за необхідності долучитись до виклику інших аварійно-рятувальних служб (пожежну, медичну тощо).

Керівники структурних підрозділів, у разі виникнення надзвичайної або аварійної ситуації (аварії), зобов'язані:

- оцінити умови ситуації, з'ясувати кількість і місцезнаходження людей, захоплених аварією, за потреби вжити заходів щодо оповіщення працівників про аварію;
- у разі наявності загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію (рятування), використовуючи для цього наявні сили й засоби;
- вжити негайних заходів щодо локалізації та ліквідації аварії;
- вжити заходів щодо оточення району аварії (небезпечної зони);

- забезпечити виведення з небезпечної зони працівників, які не беруть безпосередньої участі в ліквідації аварії;
- контролювати правильність дій працівників щодо локалізації і ліквідації аварії;
- у разі необхідності виконати відключення електроенергії та вжити інших заходів, що сприяють ліквідації (локалізації) аварії (пожежі);
- сприяти діям аварійно-рятувальних, пожежних, медичних підрозділів щодо рятування людей, локалізації, ліквідації аварії;
- організувати надання екстреної медичної допомоги потерпілим під час ліквідації аварії;
- інформувати безпосереднє керівництво про хід і характер аварії, кількість потерпілих внаслідок виконання рятувальних робіт.

Особливості дій працівників при деяких надзвичайних ситуація:

При загрозі хімічного ураження оповіщаються всі працівники та відвідувачі, які знаходяться в приміщеннях.

Вентиляційні установки та кондиціонери терміново виключаються, закриваються вікна, двері, кватирки, приміщення герметизуються. Вихід із будівлі й вхід до неї припиняється до особливого розпорядження керівництва.

При виявленні у приміщенні, де укриваються працівники, хімічно небезпечної речовини, працівники повинні вийти з приміщення та з дозволу керівництва залишити зону забруднення. Виходити із зони необхідно тільки у засобах індивідуального захисту та рухатися в напрямку, перпендикулярному напрямку вітру.

При виникненні пожежі в приміщеннях всі працівники зобов'язані діяти згідно з Інструкцією з пожежної безпеки, евакуацію проводити згідно з планом евакуації.

При радіоактивному забрудненні або при загрозі забруднення всі працівники повинні уважно слідкувати за мовним повідомленням управління з питань надзвичайних ситуацій, яке передається по радіо та телебаченню, за інформацією

інших засобів масової інформації про обстановку в місті та суворо виконувати рекомендації із захисту від радіоактивного зараження.

Обмежується до мінімуму вхід у приміщення та вихід з них. Контроль за дотриманням правил поведінки й роботи працівників, який дозволяє максимально понизити наслідки радіоактивного опромінення, покладається на особу, відповідальну за стан цивільного захисту (цивільної оборони) та техногенної безпеки.

При загрозі або виникненні катастрофічних стихійних лих працівники за розпорядженням керівництва повинні зупинити роботу, виконати необхідні протипожежні заходи, відключити від електромережі електрообладнання, підготуватися до евакуації та вивезення до безпечного місця найбільш цінних матеріальних засобів.

Якщо з'явилися потерпілі, їм надається перша медична допомога або вживаються заходи щодо їх госпіталізації до медичних закладів.

Особа, відповідальна за стан цивільного захисту (цивільної оборони) та техногенної безпеки постійно слідкує за інформацією, яку надає управління з питань надзвичайних ситуацій, про обстановку в місті та доводить її до керівництва.

При надходженні анонімної інформації про загрозу в приміщеннях або на території поблизу них терористичного акту працівник, який прийняв її, повинен терміново доповісти керівництву та повідомити правоохоронні органи і діяти згідно з розпорядженнями та рекомендаціями.

Відповідальність за організацію збереження майна підприємства під час захисту від надзвичайних ситуацій або ліквідації їхніх наслідків покладається на особу, відповідальну за стан цивільного захисту (цивільної оборони) та техногенної безпеки.

Посадові особи, на яких чинними нормативно-правовими актами покладаються обов'язки щодо локалізації (ліквідації) аварійної ситуації (аварії), несуть відповідальність згідно із законодавством України.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної магістерської роботи виконана розробка фізичних моделей елементів вібраційних систем, та досліджені раціональні форми високоефективних дебалансів.

Розглянуто відомі аналоги вібраційних систем, та проаналізовані вібраційні системи, які були виконані раніше.

Досліджені та визначені раціональні форми дебалансів, та створений співставний аналіз ефективності роботи дебалансів вібраційних систем машин.

Також визначені технічні пропозиції налаштування ВС на заданий вектор збурюючої сили. Створений синтез варіантів розміщення дебалансів та формування блоків, контурів і модулів, та створені схеми розміщення вібраційних систем в ГУМ з суміщеними робочими органами.

Враховані заходи щодо охорони праці до проекту віброобладнання, та зафіксовані дії працівника в надзвичайних ситуаціях.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Сергеев В.П., Строительные машины и оборудование: Учеб. для вузов по спец. «Строит. машины и оборудование». – М.: Высш. шк., 1987. – 376 с.
2. Бауман В.А., Быховский И.И. Вибрационные машины и процессы в строительстве. Учебное пособие для студентов строительных и автомобильно-дорожных вузов. М., «Высш. школа», 1977.
3. Бородачев И.П., Справочник конструктора дорожных машин. Справочник для инженерно-технических работников, конструкторских бюро, проектных организаций, заводов. М., 1965.
4. Соломонов С.А. Путьевые машины: Учебник для вузов ж.-д. транспорта/ М. В. Нопощ, Б. Н. Стефанов, П. М. Цигельный, Д. М. Яковлев; Под ред. канд. техн. наук С. А. Соломонова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 375 с.
5. Машины и механизмы. Каталог-справочник, под ред. Буланова А.А., М, 1977 г.
6. Причіпний вібраційний коток з гідроприводом. Патент України № 50241, мпк. E01C 19/28 від 15.10.2002, Бюл. №10.
7. Хархута Н.Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1975.
8. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Детали машин. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для машиностроит. спец. техникумов. – М.: Высш. шк., 1984.–336 с.
9. ДСН 3.3.6.039-99. «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації»
10. НПАОП 0.00-6.18-04. Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки (1308)
11. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (2029)

12. ДНАОП 0.00-4.05-03. Порядок видачі дозволів Державним комітетом з нагляду за охороною праці та його територіальними органами (43703)

13. НПАОП 10.0-7.11-80 Единые требования к сигналам и знакам в подземных выработках и на шахтном транспорте угольных и сланцевых шахт