

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота: \_\_\_\_\_ с, \_\_\_\_\_ рисунків, \_\_\_\_\_ таблиць, \_\_\_\_\_ джерел.

СЕГРЕГАЦІЯ, КУТ ПРИРОДНОГО УКОСУ, НАСИПНА ВАГА, ПРОБОВІДБІРНИК, ВІБРАЦІЯ, ВІБРОЗМІШУВАННЯ, КОЕФІЦІЄНТ НЕОДНОРІДНОСТІ.

Об'єкт досліджень – модель вібраційного змішувача.

Ціль роботи - експериментальне вивчення на модельних тілах залежності процесу змішування у вібраційному апараті з горизонтальною робочою камерою гарно сипких матеріалів з насипною вагою яка істотно відрізняється, від параметрів коливань і наявності перемішуючого пристрою.

Розроблена експериментальна установка періодичної дії для дослідження процесу вібраційного змішування сипких матеріалів в апараті з горизонтальною робочою камерою.

Проведені експериментальні дослідження процесу змішування модельної суміші ( скляного бісеру, поліетилену) в апараті без мішалки при вібрації, в апараті з мішалкою при вібрації, в апараті з мішалкою без вібрації для параметрів вібрації: амплітуда  $\approx \text{const}=0,7$  мм, при еліптичній траєкторії з частотою коливань від 25 до 60 Гц, час змішування 20...240 сек. Число оборотів мішалки було 75 об/хв. Аналіз експериментальних даних дозволив виявити вплив на якість змішування дослідженої суміші амплітудно-частотної характеристики вібраційного змішувача і наявності мішалки в робочій камері.

Отримані дані можуть бути використані для проектування вібраційних змішувачів сипких матеріалів.

**Зміст**

	Стор.
Скорочення та умовні позначки	—
Вступ	—
1 Аналітичний огляд	—
2 Ціль та задачі дослідження	—
3 Розробка лабораторної установки	—
4 Методика проведення експериментів і вимірювань	—
5 Експериментальна частина	—
6 Техніка безпеки при роботі в лабораторії	—
Висновки і	—
Перелік джерел посилання	—

### Скорочення та умовні позначки

$A$  – амплітуда коливань, *мм*;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$\omega$  – кутова швидкість, *рад/с*;

$f$  – частота коливань, *Гц*;

$V_c$  - коефіцієнт неоднорідності (варіації), %;

$\bar{c}$  - середнє арифметичне значення концентрації ключового компонента в пробах %;

$S$  - середнє квадратичне відхилення;

$c_i$  – значення концентрації ключового компонента в  $i$ -тій пробі %;

$n$  – число проаналізованих проб;

$P_n$  - насипна вага, *Н/м<sup>3</sup>*;

$m$  – маса, *кг*;

$\Delta$  - відносне прискорення;

$b$  – розмір великої осі еліпса коливань, *мм*;

$c$  - розмір малої осі еліпса коливань, *мм*;

$\varphi$  – кут нахилу великої осі еліпса коливань до вертикалі, *град*;

## Вступ

Процеси змішування сипких порошкоподібних матеріалів широко поширені в хімічній, фармацевтичній, будівельній, харчовій і інших галузях промисловості. Від якості отримуваних сумішей, головним чином, від їх однорідності безпосередньо залежать споживчі властивості вироблених з них виробів. Зокрема, нерівномірний розподіл інгредієнтів по лікарських пігулках в кращому разі веде до зниження лікувального ефекту, а нерівномірний розподіл компонентів будівельної суміші знижує міцність виготовленого з неї виробу.

Переробка деяких сипких матеріалів відома в практиці людської діяльності з незапам'ятних часів, але наукові та інженерні основи цих технологій стали предметом дослідження лише в минулому столітті. Це пов'язано з різким зростанням об'ємів матеріалів, що переробляються, і різноманітності їх видів, коли напрацьований протягом століть методом проб і помилок досвід вже перестав задовольняти запитам виробництв, що розвиваються. Проте успіхи в цьому напрямі у порівнянні, наприклад, з механікою рідини і газу до теперішнього часу більш ніж скромні. Хтось з фізиків сказав, що до цих пір ми знаємо про рух зірок на небі значно більше, ніж про перебіг води в струмку. Ці слова в ще більшому ступені можуть бути віднесені до механіки сипких матеріалів.

## 1 Аналітичний огляд

Сипкий матеріал є середовищем з дуже специфічними властивостями, де домінує випадковість. Випадкові розміри і форма вхідних в нього часток, їх фізико-механічні властивості і умови взаємодії часток один з одним, які додатково залежать від вологості матеріалу; випадково практично все. Аналіз поведінки сипкого матеріалу ускладнюється і тим, що внутрішнє тертя в ньому носить ступеневий характер: до певного зовнішнього навантаження він поводить як тверде тіло, тобто зберігає свою форму, а після її перевищення починає рухатися подібно до рідини, але з дуже складними, в значній мірі випадковими властивостями. Різницю легко побачити, поступово нахилиючи стакан з водою і, наприклад, з крупою. Вільна поверхня води при будь-якому нахилі зберігає горизонтальне положення, а вільна поверхня крупи до певного кута нахилиється разом із стаканом [1].

Змішування сипких твердих матеріалів - це процес, при якому два або більше твердих компонентів у формі часток довільно пересипаються в змішувачі.

Важливі уявлення про процес змішування можна отримати, якщо відповісти на наступні питання:

Що таке гомогенна суміш?

Як можна визначити, чи добре приготована суміш?

Як можна ефективно і економічно приготувати гомогенну (однорідну) суміш?

Гомогенною сумішшю твердих матеріалів є суміш, в якій компоненти розподілені рівномірно за всім обсягом суміші.

Щоб встановити гомогенність суміші, мають бути визначені критерії оцінки ступеня змішування. Замість аналізу всієї суміші береться аналіз проб; проби мають бути показниками суміші. Важливою і важкою проблемою в процесі змішуванні сипких твердих матеріалів є вибір величини і кількості проб, узятих для аналізу.

Важливим чинником є знання механізмів змішування, характеристики змішуваних матеріалів і характеристики змішувача [2].

Довгий час за ідеальну суміш вважалася суміш, в якій розташування часток було повністю впорядкованим. Місцеві проби, взяті з такої суміші зазвичай не дають такий же точний склад, така суміш не може бути отримана звичайним змішуванням. Вважається, що такий склад суміші можна отримати такими способами, як перемішування вручну окремих компонентів в певному порядку, або відповідним регулюванням процесу змішування компонентів в спеціально сконструйованому змішувачі. В більшості випадків виходить статистично довільна суміш.

Найбільш спільним визначенням ідеальної, суміші є суміш, в якій вірогідність знаходження частки компоненту суміші буде подібна для всіх точок суміші. Зазвичай, отримувана суміш не є ідеальною. На відміну від суміші рідких фаз, склади місцевих проб суміші твердих компонентів, відрізняються один від одного. Тому важно знати про суміш твердих сипких матеріалів, наскільки добре вона змішала. Щоб оцінити однорідність суміші використовується показник змішування, який визначає (вимірює) ступінь змішування. Показник змішування має бути по можливості тісніше пов'язаний з характеристикою кінцевої суміші, не повинен залежати від процесів змішування і повинен легко визначатися.

### **Критерій оцінки ступеня змішування**

Для вивчення різних систем багато дослідників запропонували понад 30 різних критеріїв оцінки ступеня змішування.

Більшість з цих критерій засновані на статистичному аналізі. Інші включають фотометричні і кінетичні методи оцінки. Відмінність у визначеннях критерію оцінки показує складність процесу змішування і невизначеність різних понять і точок зору в області змішування сипких твердих матеріалів. Внаслідок хаотичного характеру процесу змішування як критерій оцінки найчастіше дослідники використовують метод

статистичного аналізу. Це стосується головним чином виміру стандартного відхилення або дисперсії місцевих проб, відібраних в суміші[2].

Один з авторів роботи [2] запропонував як ступінь змішування розмір еквівалентного агломерату. У цій моделі суміш розглядується як суміш безладно розподілених агломератів. В процесі змішування об'єм агломератів зменшується. Якщо  $P$  є фракцією агломератів в ідеальній суміші, то для проб, які містять  $n_a$  агломератів, теоретична дисперсія визначається як в рівнянні (1.1)

$$\sigma_a^2 = \frac{P(1-P)}{n_a} \quad (1.1)$$

Якщо ми розглядуємо  $N$  часток в агломератах теоретична дисперсія визначається як

$$\sigma_r^2 = \frac{P(1-P)}{N} \quad (1.2)$$

Якщо  $N$  є кількість часток в кожному агломераті то

$$N = n_a \bar{N} \quad (1.3)$$

Виходячи з рівняння (1) – (3), можна знайти еквівалентний об'єм агломератів

$$\frac{\sigma_a^2}{\sigma_r^2} = \frac{P(1-P)}{(N/\bar{N})} / \frac{P(1-P)}{N} = \bar{N} \quad (1.4)$$

Зважаючи на процеси агломерації і сегрегації, автор запропонував наступну формулу

$$\sigma^2 = \frac{n_a \bar{N}^2 I^2}{N^2 + n_a \bar{N}^2} + S^2 \quad (1.5)$$

де  $S$  – міра сегрегації;

$I$  – інтенсивність дисперсії між агломератами об'єму  $\bar{N}$ .

Підставимо рівняння (3) в (5)

$$\sigma^2 = \frac{I^2}{(N/\bar{N})+1} + S^2 \quad (1.6)$$

Якщо сегрегація відсутня і присутня тільки незмішані агломерати, то

$$S^2 = 0 \text{ и } I^2 = \sigma_0^2 = P(1 - P)$$

$$\sigma^2 = \frac{P(1-P)}{(N/\bar{N})+1} \quad (1.7)$$

## Параметри процесу

Змішування сипких твердих матеріалів є складним процесом в якому характеристика матеріалів і устаткування змішувача, робочі умови можуть впливати на змішування та розшарування. Тому ступінь змішування і швидкість змішування є функціями багатьох параметрів що відносяться до технічної характеристики і робочих умов. Параметри можна згрупувати таким чином:

Характеристика сипких твердих матеріалів:

1. Розподіл часток за розміром.
2. Форма і поверхневі властивості.
3. Об'ємна вага і щільність часток.
4. Зміст вологи.
5. Кут природного укосу.
6. Коефіцієнт тертя часток.
7. Крихкість.
8. Стан агломерації.
9. Текучість.

Характеристика устаткування змішувача:

1. Розмір і форма змішувача.
2. Розмір мішалки.
3. Конструкційні матеріали і поверхнева обробка.
4. Тип, розташування і кількість пристосувань для завантаження і вивантаження матеріалу.

Робочі умови:

1. Вага кожного доданого компоненту.
2. Відношення об'єму суміші до об'єму змішувача.
3. Метод, послідовність, місце і швидкість, додавання компонентів.



#### 4. Швидкість змішувача або перемішування.

При змішуванні твердих сипких матеріалів кожен компонент має діапазон часток за розміром. Більшість опублікованих результатів розглядають компоненти з однорідним розміром часток або двох розмірів. Деякі дослідники вивчали суміші, що містять частки декількох розмірів.

Сегрегація - зміна фізичного стану неоднорідної середи, зазвичай відбувається у разі, коли змішуються компоненти різні по розмірах. Крупні частки залишаються на поверхні суміші, а дрібні осідають на дно. Якщо використовуються частки різні по щільності, то також спостерігається сегрегація. Проте при відношенні щільності менше, ніж 3:1, яке зазвичай зустрічається на практиці, розмір часток надає більший вплив на змішування і розшарування, чим відмінність в щільності.

Форма і поверхневі властивості роблять вплив на текучість часток. Круглі і гладкі частки володіють більшою рухливістю, чим шорсткі неправильної форми.

При вивченні впливу вологи на змішування часток в горизонтальному циліндровому змішувачі, виявили, що швидкість осьового змішування може збільшуватися, якщо збільшити зміст вологи за умови, що механізмом змішування є дифузія. Проте, вологі липкі частки уповільнюють процес змішування, якщо вони прилипають до стінок змішувача, або якщо вони утворюють агломерати.

Кут природного укосу, коефіцієнт тертя і текучість тісно зв'язані один з одним. Частки твердих матеріалів, які мають невеликі кути природного укосу, володіють хорошою текучістю і мають малий коефіцієнт тертя. Хороша текучість не завжди забезпечує хороше змішення. Сегрегація може відбуватися і в процесі швидкого переміщення часток. Крихкі частки легко руйнуються і таким чином в процесі змішування утворюються частка інших розмірів.

Розмір і форма змішувача і мішалки роблять вплив на структуру потоку часток і швидкості руху. Взаємодія між частками і конструкційним

матеріалом змішувача може створювати статичні заряди і викликати агломерацію. Тертя між частками і поверхнею змішувача викликає часткове змішування і розшарування. Тип, місце і кількість пристосувань для завантаження і вивантаження компонентів суміші може утрудняти процес змішування.

Значний вплив на ступінь і швидкість змішування роблять робочі умови змішувача.

На процес змішування впливають наступні параметри:

- діаметр змішувача;
- швидкість обертання змішувача;
- середній діаметр часток;
- середній коефіцієнт тертя часток;
- гравітаційні сили.

А на процес розшарування суміші впливають:

- діаметр змішувача;
- швидкість обертання змішувача;
- середній діаметр часток;
- відмінність в середніх розмірах двох компонентів суміші;
- середня щільність суміші;
- різниця в щільності двох компонентів суміші.

### **Відбір проб**

На відміну від змішування рідин, які зазвичай утворює однорідні суміші, суміші твердих сипких матеріалів завжди неоднорідні. Щоб визначити ступінь змішування, з суміші відбирається проби, які аналізуються. Тому методика відбору проб вимагає вивчення процесу змішування твердих матеріалів. Відбір проб може бути простим, наприклад з допомога лопатки, або складним. Але завжди бажано, щоб узяті проби характеризували всю суміш. Проте проба зазвичай відрізняється від якості суміші, тому при вивченні процесу змішування часто дається докладний опис

методу відбору проб, включаючи розмір проб, кількість, місце відбору проб і так далі.

#### Метод відбору проб і пробовідбірники

Вибір методу відбору проб залежить від характеристики змішувача і суміші.

##### а) Відбір проб пробовідбірником.

Пробовідбірник складається з суцільного стержня з радіальними отворами. Коли проба узята, втулка обертається і закриває отвори. Такий пробовідбірник створює мінімальне порушення суміші. Інколи пробовідбірник сполучений з рахунково-обчислювальним пристроєм для швидкого збору даних. У пробовідбірниках "prob - A - Vac" і пневматичних пробовідбірниках, для відбору матеріалу використовується повітря. У середині великого циліндра встановлений малий циліндр. За допомогою негативного тиску у верхній частці малого циліндра повітря нагнітається вниз, між двома циліндрами і назад вгору всередину малого циліндра. Це рух повітря затягує частки в малий циліндр і проштовхує пробовідбірник в суміш.

##### б) Повне розділення суміші.

Для цього методу використовують жолоби (лотки, піддони), розділені на безліч відсіків для готової суміші. У кожному відсіку ведеться рахунок часток.

в) «Заморожування» суміші і взяття частки її. В суміш додається мономер, а потім проводять полімеризацію в печі.

г) Проби відбираються у випускному отворі із змішувача за встановлений проміжок часу.

д) Проби відбираються механічним пристосуванням, що складається із стрічки і чашок.

Ці пробовідбірники мають чашки, які періодично занурюються в матеріал на рухливій стрічці або коли матеріал падає з кінця стрічки. Чашки

розташовані так, що вони відбирають проби в різних місцях по ширині стрічки.

е) Відбір проб ручним способом за допомогою чашок. Пробовідбірником є контейнер, який пропускається через потік вільно падаючого матеріалу. Чаші всього для відбору проб зерна використовується контейнер, який виготовляється у формі зобу пелікана і який називається пробовідбірником «Пелікана».

Місця, де відбираються проби, розподілені довільно або впорядковано по всій суміші, зазвичай в допомогу безладного розміщення крапок в суміші є таблиці довільних кількостей. При впорядкованому відборі проб, проби відбираються з рівномірними проміжками в суміші.

#### Розмір проби

Існують два крайні розміри проби: найменший розмір включає пробу з однієї частки, який не дає якої-небудь інформації про змішування, а найбільший розмір проби включає всю суміш і завжди указує на те, що змішування ідеальне. Це не може бути справедливим відносно характеристики суміші, поблизу цих двох проб неможливо отримати достатню кількість даних про ступінь змішування компонентів суміші. На практиці немає систематичних методів, які визначали б оптимальний розмір проби. Коли кінцевим продуктом є пігулка або матеріал в пакеті (упаковці), краще всього використовувати для проби розмір пігулки або упаковки.

При відборі проб не слід відбирати значну кількість матеріалу суміші. Грубо рекомендується відбирати не більше 5% суміші[2].

#### Кількість проб

Чим більше кількість проб, тим більше нам стане відомо про якість суміші. Тобто, кажучи мовою статистики: щоб отримати велику міру достовірності у відсотках, потрібно відібрати велику кількість проб. Тому

необхідно оптимізувати зусилля і час для відбору і аналізу великої кількості проб.

Визначення кількості проб залежить, головним чином, від змішувача і суміші, методу відбору проб і методу і вартості аналізу проб. На практиці до цих пір ще не розроблені систематичні методи визначення оптимальної кількості проб. Пропонується відбирати від 5 до 15 проб як для періодичного, так і для безперервного змішування[2].

## **Вібрація**

Коливальні процеси характерні для всієї живої і неживої природи - від клітки до співтовариств організмів і від атома до галактик. Вони грають помітну роль і в нервово-психічному житті людини, і навіть у сфері соціальних явищ. Питання про те, чому природа часто «вважає» за краще коливання монотонному перебігу процесів, до цих пір не має спільної відповіді. Тільки у ряді конкретних випадків можна здогадатися, що коливальні процеси характеризуються певною доцільністю, а інколи і оптимальністю.

Вібрація — один з видів коливальних процесів. Під нею розуміють механічні коливання з періодом, значно меншим проміжку часу, на якому розглядується рух системи, і амплітудою, значно меншою характерного розміру системи.

Довгий час вібрація розглядувалася в основному як шкідливий чинник — причина поломок, аварій, а також виробничих захворювань. І лише на початку минулого століття бере відлік період бурхливого розвитку вібраційної техніки, яка знайшла застосування при добичі і переробці мінеральної сировини, в хімічній технології, в металургії, в промисловості будівельних матеріалів і при будівництві різних споруд. Втім, окремі приклади використання вібрації відомі з дуже давніх часів, коли вона

застосовувалася при просіюванні сипких матеріалів, при будівельних роботах і навіть в медичній практиці.

Коротко перераховані вище вібраційні ефекти якраз і лежать в основі принципів дії деяких високоефективних машин; з іншого боку, ті ж ефекти можуть стати причиною небажаних і навіть катастрофічних ситуацій.

Їх істотна особливість — нелінійний характер: результати дії двох або декількох чинників не складаються, а комбінуються, деколи достатньо складним, несподіваним чином (приклад: результат одночасного прийому двох хороших окремо ліків може бути поганим)[6].

### **Вібраційне перемішування сипких, пастоподібних і рідких продуктів**

Для перемішування сипких продуктів застосовують в основному два способи - гравітаційний і примусовий (механічний). Перший здійснюється під дією сил тяжіння в барабанних, лоткових і бункерних змішувачах, другого в шнекових і лопатевих. Довголітня виробнича практика показала, що при статичних способах перемішування не досягається однорідність, не забезпечується підвищення активності компонентів, відбувається зміна гранулометричного складу суміші. Задовільна якість перемішування спостерігається лише при малих ступенях заповнення камери, що веде до збільшення габаритів і маси змішувача, і для досить добре сипких, мало-зв'язних матеріалів.

Вібраційна дія на перемішуванні матеріали і робочі органи змішувача значно збільшує продуктивність процесу, знижує енергоємність і покращує якість суміші. При цьому вібрація в одних випадках може лише інтенсифікувати основний процес (наприклад, вібрація шнека в шнековому змішувачі), в інших — викликати специфічні вібраційні ефекти, які використовуються для перемішування (наприклад, циркуляційне вібротранспортування суміші всередині циліндричної або торо-образної посудини). Процес перемішування з накладенням вібрацій супроводжується

додатковими ефектами - руйнування зерен, оголенням додаткових поверхонь, руйнуванням коагуляційних структур, збільшенням диспергування твердих часток і газу, тобто активізацією суміші.

Процес перемішування властивий сипкому матеріалу, що піддається вібрації. Вібраційні імпульси викликають хаотичні зіткнення частинок матеріалу, розділення їх за формою, щільністю і розмірами, руйнування конгломератів, що склалися, зменшення тертя між частками. Перемішування відбувається практично в будь-якому процесі, де використовується вібрація, проте якісне перемішування виходить тільки в спеціальних пристроях з цілеспрямованою вібрацією [3].

Дослідження перемішування в судинах, що піддаються вертикальній вібрації, показали, що інтенсивний процес зачинається тільки тоді, коли прискорення дна судини перевищує земне прискорення. Ступінь інтенсивності залежить від параметрів вібрації, розміру і щільності часток, повітропроникності шаруючи, висоти шаруючи, вологості коефіцієнта тертя, розмірів і форми робочої камери. Створити інтенсивне перемішування тонко дисперсних порошків з розміром часток менше 10 мкм практично не вдається при всіх реально досяжних параметрах вібрації. Це пояснюється агрегуванням часток і сильним проявом насосного ефекту, що перешкоджає відриву часток від дна судини. Для більшості сипких матеріалів з частками розміром 50-1500 мкм існує певне поєднання частоти і амплітуди, при яких зачинається інтенсивне перемішування. Наприклад, для кварцового піску з частками розміром 100 мкм при висоті шаруючи 70 мм процес перемішування на частоті 50 Гц починає інтенсивно протікати, коли амплітуда досягає 1 мм. Процес перемішування обумовлюється головним чином пульсуючим рухом газу усередині вібруючого шару, яке виникає в результаті створення під ним вакууму і фільтрування газу через шар матеріалу. Потoki, що виникають при цьому, і міхури газу захоплюють частки сипкого матеріалу і створюють інтенсивне переміщення шарів. У апаратах невеликих розмірів матеріал біля стінок, де внаслідок тертя частки

рухаються повільніше, переміщається вниз, а в центрі – вгору. У судинах великих розмірів виникає багато центрів циркуляції, матеріал біля стінок також рухається вниз разом із засмоктуванням під шар газом.

Інтенсивність перемішування при вертикальних коливаннях різко падає у вакуумі, оскільки не виникає насосного ефекту. Для перемішування у вакуумі використовують установки, в яких процес відбувається в результаті вібротранспортування (наприклад, по лотку зі сходинками). Вакуум сприяє хорошему переміщенню і перемішуванню багатьох тонко-дисперсних порошків при значно менших прискореннях, чим при атмосферному тиску. Цей спосіб знаходить застосування для сушки фарбників, солей і інших матеріалів.

У рідкому середовищі сипкий матеріал перемішується значно гірше, ніж в повітрі. На рух часток в рідині істотно впливають їх розміри, в'язкість рідини і концентрація в ній твердої фази, при цьому інтенсивний рух спостерігається у верхній частині відносно спокійної нижньої. Частота коливань часток значно (у 2-2,5 разу) менша, ніж частота коливань дна апарату. Активним переносником часток стають потоки рідини, що виникають при вібрації. Так, в умовах обмеженого руху крупно-дисперсних часток при циркуляції води, навколо часток створюється добре перемішуваний шар.

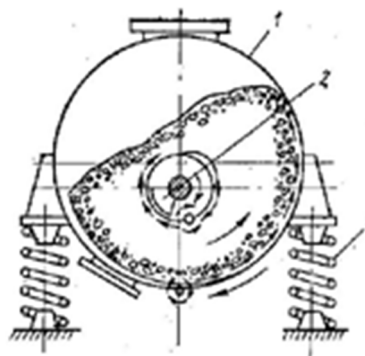
Інтенсивність перемішування сипких матеріалів збільшується при додатковому продуванні шару газом (для порошку полікапроаміда розміром 0,1-0,15 мкм в два рази), проте рівномірне перемішування можна отримати тільки при оптимальному поєднанні вібраційної дії і швидкості газового потоку. Наприклад, із збільшенням швидкості газу вище оптимального перемішування порошків полімерів погіршується, і відбуваються фонтануючі викиди і віднесення матеріалу. Зміною витрати повітря, що подається під шар, можна в широких межах регулювати структуру шару залежно від особливостей технологічного процесу. Так, при нанесенні полімерних покриттів залежно від вимог до міцності, деформаційних і інших



властивостях плівки, а також розміру і форми деталей, шляхом регулювання швидкості газового потоку створюють шар великої пористості.

Перемішування в умовах вертикальної вібрації протікає недостатньо інтенсивно і не знаходить промислового застосування. У промислових змішувачах робочий орган піддається круговим у вертикальній площині або просторовим (об'ємним) коливанням, а камеру змішувача виконують циліндричною, ночноподібною або тороїдальною. В цьому випадку при вібрації камери виникає транспортуючий ефект, який, накладаючись на вібраційний, створює кращі умови для перемішування.

Схема процесу руху компонентів суміші в циліндричній камері при кругових коливаннях у вертикальній площині показана на рисунку 1. Компоненти суміші, залучені в процес вібраційного транспортування по площині із змінним кутом нахилу до горизонту, здійснюють стійкий циркуляційний рух навколо осі, розташованої в центрі тяжіння шару сипкого матеріалу, що знаходиться в камері. Кутова швидкість циркуляції суміші значно менше кутової швидкості обертання дебаланса. Напрямок циркуляції в тонкому шарі, що безпосередньо примикає до корпусу вібратора, збігається з напрямком руху дебаланса. Така нерівномірність розподілу швидкостей циркуляції по шарах забезпечує хороший ефект перемішування. Інтенсивність циркуляції суміші залежить від параметрів вібрації, властивостей сипкого матеріалу, розмірів і форми камери, ступеня її заповнення, розташування вібратора і інших конструктивних особливостей.



1 - камера; 2 - вібратор; 3 - пружна підвіска.

Рисунок 1.1 - Схема перемішування в барабанному віброзмішувачі

Залежність швидкості циркуляційного руху від гранулометричного складу компонентів суміші виглядає таким чином: при зменшенні розміру часток швидкість циркуляції при постійних параметрах вібрації і масі завантаження збільшується, проте після досягнення частками розміру менше 10 мкм різко падає, що добре узгоджується з принципами вібротранспортування.

Перемішування суміші в таких апаратах обумовлюється конвективними (циркуляційними) і дифузійними процесами. Перші виникають унаслідок спільного руху всієї маси завантаження (макропроцеси), другі, – забезпечуються в результаті відносного руху часток середи, що впливає на зміну сил тертя і зчеплення між частками (мікропроцеси). Обидва види руху мають важливе значення для перемішування: відсутність циркуляції завантаження, так само як і зниження відносних коливань часток при вібрації значно уповільнюють процес перемішування. Проте основне, превалюючи значення мають все-таки відносний рух часток суміші і мікротурбулентність шарів, що є необхідною передумовою швидкого протікання процесу перемішування і однієї з основних особливостей, що відрізняють вібраційний спосіб від решти способів перемішування. Відсутність спеціальних пристроїв в корпусі змішувача зумовлює наступний механізм перемішування часток різних шарів: взаємопроникнення відбувається тоді, коли між частками одного компоненту з'являється вільний простір, достатній для проникнення в нього часток іншого компоненту, причому цей процес залежить від швидкості появи таких вільних просторів і їх величини [4].

Для ефективного перемішування необхідно забезпечити максимальну швидкість циркуляції суміші в макрооб'ємі і достатнє для протікання процесів дифузії відносний рух складових суміші, залежний від порозності вібруючого шару. Порозність в основному визначається прискоренням вібруючого шару. При невеликих значеннях прискорення ослабляються лише сили тертя між частками, але частки не відриваються одна від одної. При

цьому відбувається само-укладка часток і зменшення порозності. При деякому значенні прискорення порозність починає збільшуватися і в робочому діапазоні режимів залежить від прискорення. При великих значеннях прискорення (вище критичного) збільшення порозності сповільнюється, що пояснюється великими аеродинамічними силами, що впливають на частки. Робота в цих режимах енергетично не доцільна. Крім того, існують певні технологічні параметри, визначувані довговічністю і надійністю конструкції. Звичайне прискорення робочою лежить в інтервалі 5-50 g. Робоче значення порозності залежить від еквівалентного діаметру часток, поєднання амплітуди і частоти вібрації, характеру поведінки суміші в камері.

Інтенсивність перемішування залежить від ступеня заповнення робочої камери змішувача, яка зазвичай дорівнює 0,75-0,85 і впливає на величину вільної поверхні суміші, де відбуваються процеси макроперемішування (аналогічні ефекту водопаду в барабанних змішувачах). При невеликому заповненні камери можлива сепарація компонентів, а при значному – погіршуються умови протікання макропроцесів. Для збільшення вільної поверхні суміші поперечний перетин камери інколи виконують еліпсоподібним, проте, найбільш доцільна форма – U-подібна.

Характер перемішування залежить від конструкції камери. У змішувачах з гладкими стінками і вільним об'ємом перемішування спостерігається в основному пошаровий рух матеріалу, тобто ефект циркуляції переважає над ефектами дифузії. У змішувачах з додатковими елементами в робочій камері виникають місцеві вихрові потоки, сприяючи швидшому протіканню дифузійних процесів і кращому перемішуванню.

Схема руху компонентів суміші при об'ємному способі перемішування в тороїдальних камерах, які окрім коливань в горизонтальній площині здійснюють кутові коливання у вертикальній площині, представлена на рисунку 2. Суміш в таких апаратах (аналогічних оброблювальним машинам) рухається по спіралеподібних траєкторіях уздовж внутрішніх стінок, при

цьому перемішування в горизонтальному перетині потоку суміші пропорційно відстані частки від центру апарату, а переміщення у вертикальному перетині постійні для всього об'єму. У відзнаці від плоско-паралельного руху суміші у вертикальній площині таке просторове гвинтоподібне переміщення матеріалу забезпечує краще взаємопроникнення часток між шарами суміші.

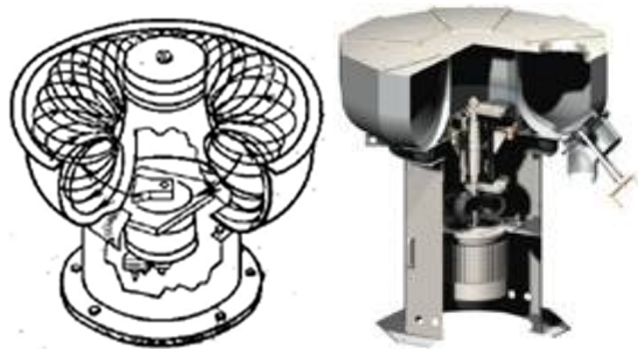


Рисунок 1.2 - Віброзмішувач з тороїдальною камерою.

Перемішувачий ефект можна збільшити, якщо в циліндричну камеру помістити шнек, що обертається, або лопатний вал. При такому способі (інколи званому вібролопатевим) в інтенсивному режимі вібрації камери обертання лопатей грає другорядну роль. Змінюючи напрям обертання лопатей (по напрямку або проти напрямку циркуляції завантаження в камері), можна підсилювати рух суміші або перешкоджати йому і істотно впливати на процес перемішування. Для інтенсивного режиму вібрації спільний рух суміші в камері і часткове між компонентами створюється в результаті обертання лопатевого валу. Вібрація використовується як другорядний, додатковий засіб, що приводить до руйнування внутрішніх зв'язків між частками, зменшенню тертя між ними, зниженню структурної в'язкості, внаслідок чого кожна частка суміші дістає можливість дифундувати в інші компоненти. Вібропереміщення в таких апаратах, також як і в пристроях з вільним об'ємом камери, супроводжується додатковою активізацією суміші.

Способи примусового (механічного) перемішування, що розгледіли вище, найбільш продуктивні і ефективні. Проте вібраційну дію можна успішно використовувати в гравітаційних (барабанних, лоткових і бункерних) змішувачах. Віброінтесифікація процесу гравітаційного перемішування в барабанному змішувачі може бути здійснена шляхом надання барабану, що обертається, кругових або направлених коливань. При цьому ефект гравітаційного перемішування, що полягає в багатократному (з частотою обертання барабана) піднімання суміші і вільного падіння її на матеріал в нижній частині, доповнюється хаотичним зіткненням і переміщенням зерен під дією вібрації. Використання такого віброгравітаційного принципу перемішування сприяє кращому перемішуванню, якого неможливо досягти при роздільному використанні способів.

Поліпшення перемішування в результаті вібрації в лоткових змішувачах пояснюється активнішим само-сортуванням, відносним ковзанням шарів і взаємною дифузією часток при вібротранспортуванні по лотку. У бункерних змішувачах вібрація сприяє кращому закінченню матеріалу через випускний отвір і виключає їх закупорку. Використання вібрації в цих апаратах робить їх придатними для перемішування матеріалів середньої сипучості (тальк, вуглеграфітні порошки і ін.). При цьому якість отриманої суміші цілком задовільна.

Найбільш перспективним способом перемішування рідкого середовища з низькою в'язкістю (не вище 70 сСт) є вібраційний за допомогою турбулентних струменів, що охоплюють весь об'єм змішувача. Джерелом турбулентних струменів служать перфоровані пластини, розташовані в рідині в певному порядку, залежному від розмірів і конфігурації робочої камери і що приводяться в коливальний рух від віброзбудника. При вібрації пластини в рідині виникають окремі турбулентні струмені, які на деякій відстані від пластини зливаються в єдиний потік, що охоплює всю робочу камеру і здійснює процес перемішування.

Інтенсивність процесу перемішування за інших рівних умов істотним чином залежить від прискорення пластини. При відносно невеликому прискоренні перемішування носить спокійний характер. При оптимальному прискоренні виникають інтенсивні потоки, що носять яскраво виражений характер турбулентного перемішування. При цьому частки пульпи швидко піднімаються з дна камери і рівномірно заповнюють весь робочий об'єм. При подальшому збільшенні прискорення пластини характер перемішування практично не змінюється, а споживана потужність збільшується, тому робота в таких режимах недоцільна. Величину і напрям турбулентних струменів (середня їх довжина близько 1 м) можна змінювати залежно від параметрів вібрації, конфігурації пластин і виду їх перфорації. Вібраційні змішувачі можна ефективно використовувати для перемішування взаєморозчинних мало-в'язких рідин, отримання суспензій твердих, волокнистих речовин, взмучивання легкого осаду, розчинення кристалічних або аморфних тіл, вирівнювання температури, запобігання випаданню осаду, перемішування в процесах розчинення газу в рідині і в процесах екстракції і так далі

Для пастоподібних матеріалів застосовують в основному апарати примусового перемішування. Як і в установках аналогічного типу для сипких матеріалів, вібрація робочого органу змішувача сприяє усуненню застійних зон в робочій камері, зниженню гідравлічного опору переміщення суміші, а також зменшенню температури переробки [5].

### **Висновок**

Як показує аналіз літератури використання вібрації знаходить широке застосування в процесах змішування дисперсних матеріалів. Проте наявність великого числа чинників, що впливають на процес і різноманітність дисперсних матеріалів вимагають подальших досліджень в цій області.

## **2 Ціль та задачі дослідження**

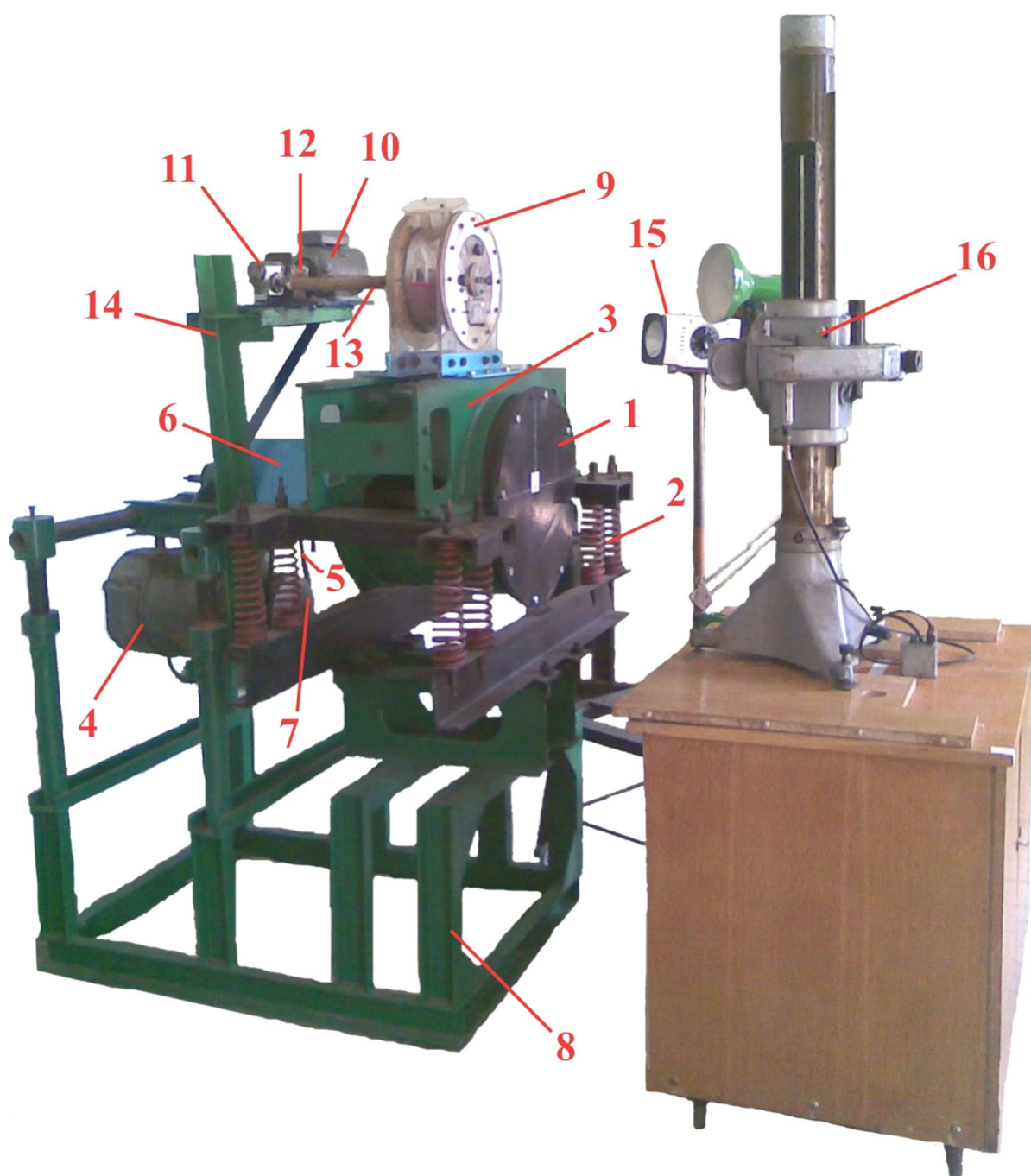
Метою пропонованих досліджень є експериментальне вивчення на модельних тілах залежності процесу змішування у вібраційному апараті з горизонтальною робочою камерою гарно сипких матеріалів з насипною вагою яка істотно відрізняється, від параметрів коливань і наявності перемішуючого пристрою.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі.

- Розробити експериментальну установку;
- Розробити методику визначення якості змішування компонентів;
- Провести експериментальні дослідження і виконати статистичну обробку отриманих даних.

### 3 Розробка лабораторної установки

#### 3.1 Опис конструкції



1- вібратор, 2- пружини, 3- віброплатформа, 4,10- електродвигуни, 5- ремінь пасовий, 6- кожух для пружної муфти, 7- шків пасової передачі, 8- рама, 9- модельний змішувач, 11- черв'ячний редуктор, 12,13- пружна муфта, 14- полиця під двигун та редуктор, 15- стробоскоп, 16- катетометр.

Рисунок 3.1.1 – Конструкція експериментальної установки

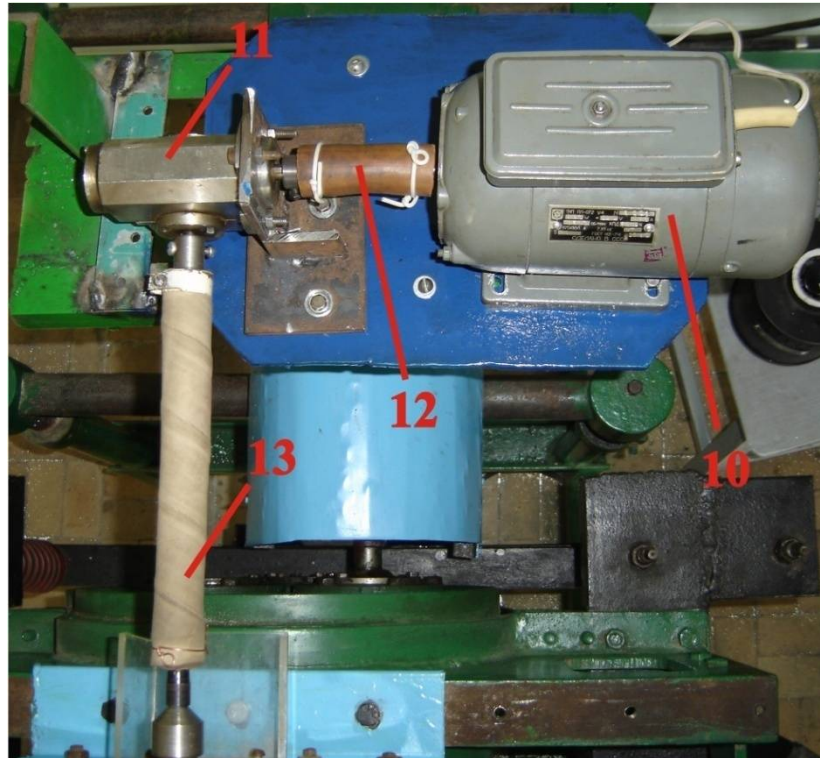


Вібраційний стенд складається з вібратора 1, який закріплений за допомогою хомутів на платформі 3. Платформа 3 на пружних елементах (пружини 2) встановлена на рамі 8. Вал вібратора приводиться у рух від електродвигуна 4 через пасову передачу і пружну муфту(що знаходиться під кожухом 6). Електродвигун 4 встановлено на рамі 8.

Модельний змішувач 9 встановлений на платформі 3 вібростенда. Він складається з горизонтального корпусу та мішалки (рис.3.1.2). Корпус – це, камера, яка має вхід для завантаження початкового матеріалу і зливний канал для вивантаження та стійки. Мішалка – це, лопаті оригінальної форми, закріплені на валу. Лопаті мають вікна, краї вікон відігнуті. Кромки і краї вікон заточені під кутом 45°. Змішувач приводиться в рух від електродвигуна 10 і черв'ячного редуктора 11 за допомогою муфт 12 і 13, які сполучають вал двигуна з швидкохідним валом редуктора і вал мішалки з тихохідним валом редуктора відповідно (докладніше на рисунку 3.1.3). Двигун і редуктор встановлені на полиці 14, яка є складовою одиницею рами 8.



Рисунок 3.1.2 – Конструкція лопатевої мішалки



10- електродвигун, 11- черв'ячний редуктор, 12,13- пружна муфта.  
Рисунок 3.1.3 – Розташування приводу модельної мішалки

Для виміру частоти коливання використовуємо стробоскоп *15*, а для визначення амплітуди катетометр *16*.

Схема установки та загальні види установки, вібростенда, вібратора, модельного змішувача, мішалки представлені на кресленнях:  
2019.008.00.000ТЗ, 596.008.00.000ВЗ, 596.008.01.000ВЗ, 596.008.01.100ВЗ,  
596.008.02.000ВЗ, 596.008.02.100ВЗ.

## 3.2 Перевірка роботоспроможності валу вібратора

### 3.2.1 Розрахунок швидкохідного валу на статичну міцність

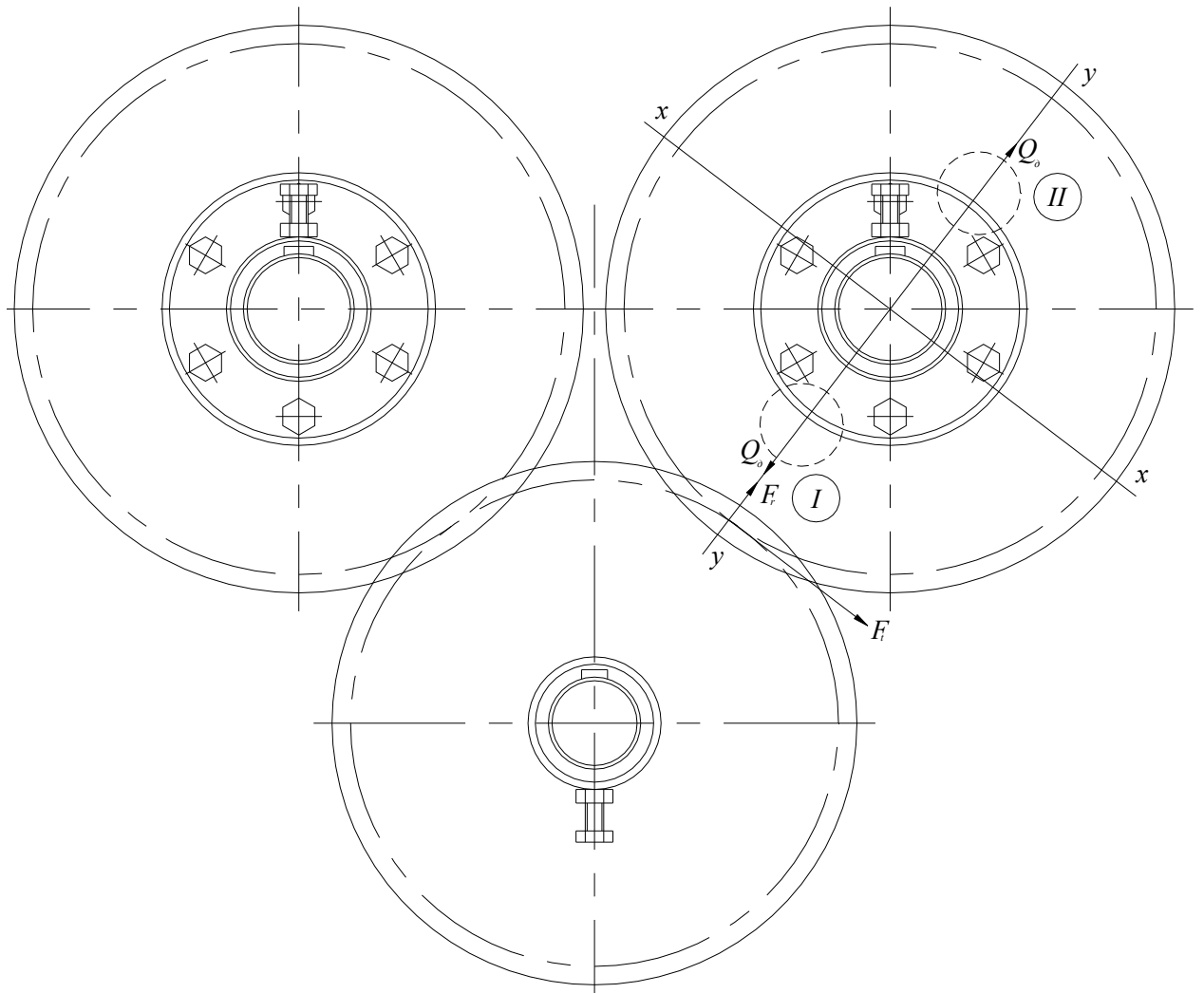


Рисунок. 3.2.1 - Сили що діють на вал

**3.2.1.1** Розглядаємо I випадок де згідно рисунка 3.2.1 (I) радіальна сила не збігається по напрямку з силою, що діє на вал від дебаланса

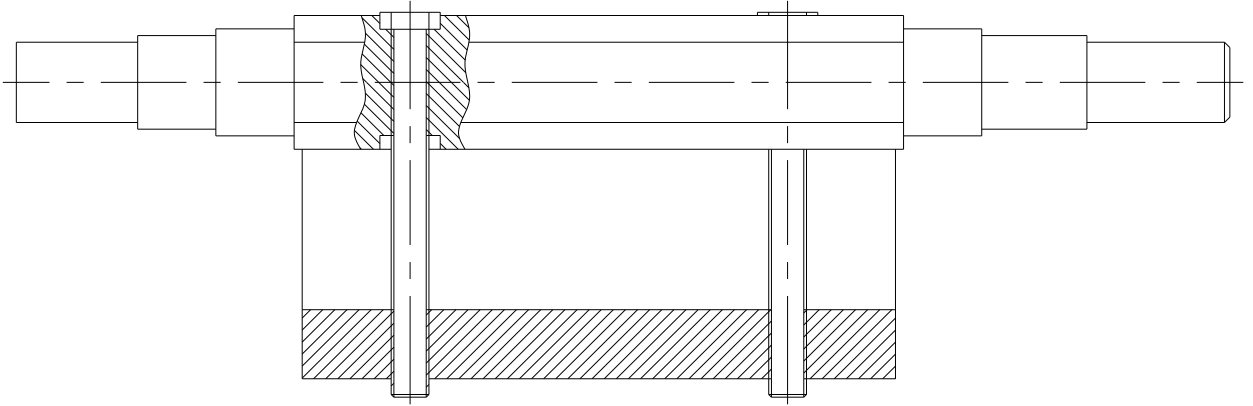


Рисунок 3.2.2 – Вал з дебалансом в положенні (I)

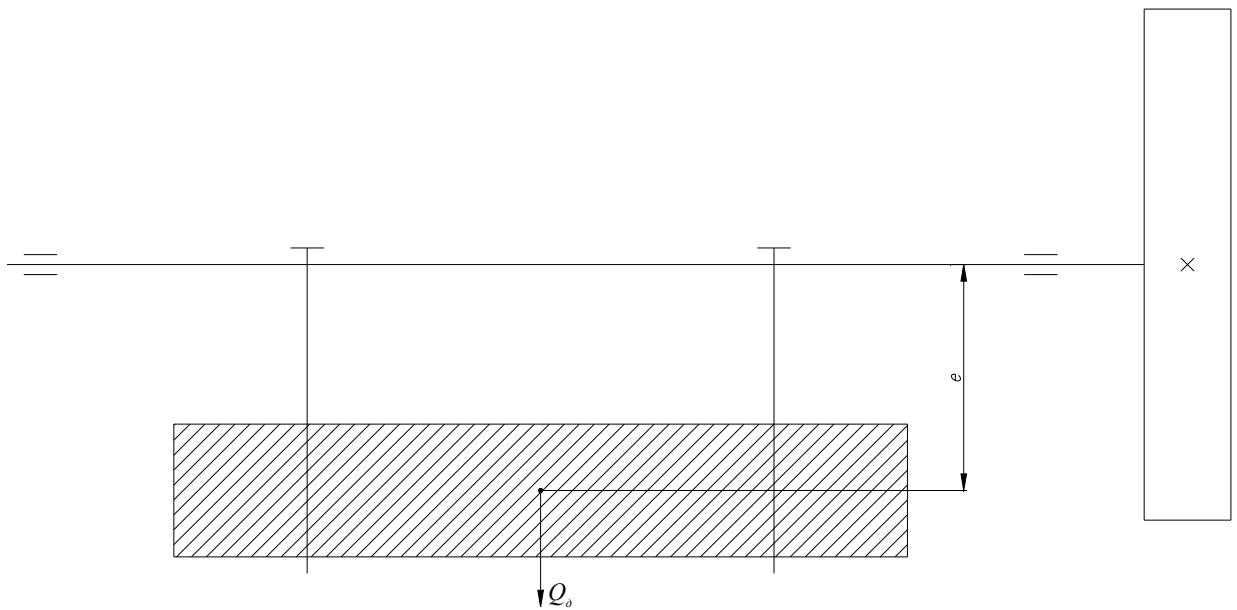


Рисунок 3.2.3 - Кінематична схема для положення (I)

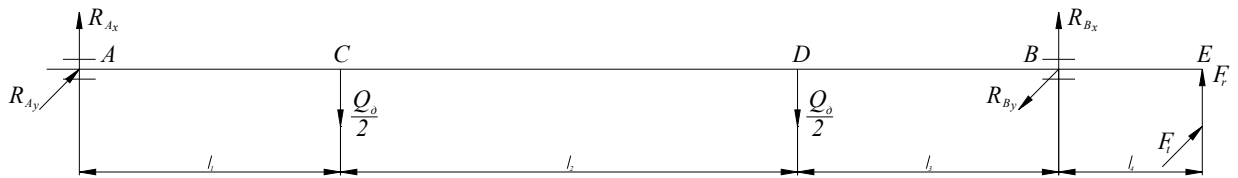


Рисунок 3.2.4 - Розрахункова схема для випадку (I)

Вихідні данні:

$$F_t = 176,53 \text{ Н}$$

$$F_r = 64,25 \text{ Н}$$

$$Q_0 = 89,4 \text{ кН}$$

$$l_1 = 0,08 \text{ м}$$

$$l_2 = 0,14 \text{ м}$$

$$l_3 = 0,08 \text{ м}$$

$$l_4 = 0,044 \text{ м}$$

Визначення реакції в опорах

Вертикальна площина x-x (рис. 3.2.1)

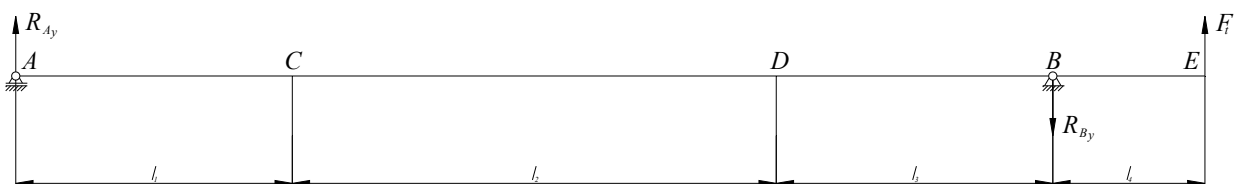


Рисунок 3.2.5 – Сили що діють на вертикальну площину

$$\sum M(F_i)_A = 0 \quad (3.2.1)$$

$$R_{By} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) - F_t \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4) = 0$$

$$R_{B_y} = \frac{F_t \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4)}{l_1 + l_2 + l_3}$$

$$R_{B_y} = \frac{176,53 \cdot (0,08 + 0,14 + 0,08 + 0,044)}{0,08 + 0,14 + 0,08}$$

$$R_{B_y} = 202,42 \text{ } \acute{I}$$

$$\sum M(F_i)_B = 0 \quad (3.2.2)$$

$$R_{A_y} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) - F_t \cdot l_4 = 0$$

$$R_{A_y} = \frac{F_t \cdot l_4}{l_1 + l_2 + l_3}$$

$$R_{A_y} = \frac{176,53 \cdot 0,044}{0,08 + 0,14 + 0,08}$$

$$R_{A_y} = 25,89 \text{ } \acute{I}$$

Перевірка

$$\sum F_i(y) = 0 \quad (3.2.3)$$

$$R_{A_y} - R_{B_y} + F_t = 0$$

$$25,89 - 202,42 + 176,53 = 0$$

$$0 = 0$$

Горизонтальна площина у – у (рис. 3.2.1)

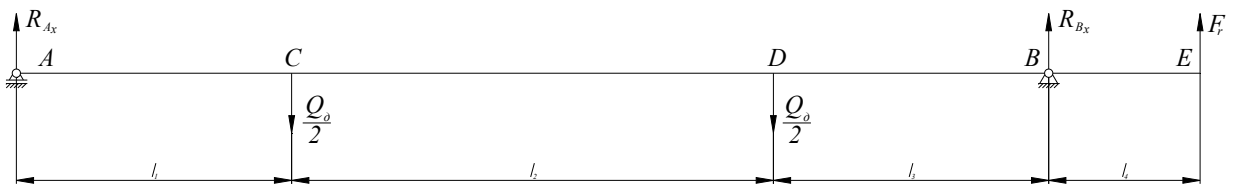


Рисунок 3.2.6 – Сили що діють в горизонтальній площині

$$\sum M(F_i)_A = 0$$

$$-F_r \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4) - R_{B_x} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) + \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot (l_1 + l_2) + \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot l_1 = 0$$

$$R_{B_x} = \frac{-F_r \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4) + \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot (l_1 + l_2) + \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot l_1}{l_1 + l_2 + l_3}$$

$$R_{B_x} = \frac{-64,25 \cdot (0,08 + 0,14 + 0,08 + 0,044) + \frac{89,4 \cdot 10^3}{2} \cdot (0,08 + 0,14) + \frac{89,4 \cdot 10^3}{2} \cdot 0,08}{0,08 + 0,14 + 0,08}$$

$$R_{B_{\delta}} = 44626,33 \text{ } \acute{I}$$

$$\sum M(F_i)_B = 0$$

$$R_{A_x} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) - \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot (l_2 + l_3) - \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot l_3 - F_r \cdot l_4 = 0$$

$$R_{A_x} = \frac{\frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot (l_2 + l_3) + \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot l_3 + F_r \cdot l_4}{l_1 + l_2 + l_3}$$

$$R_{A_x} = \frac{\frac{89,4 \cdot 10^3}{2} \cdot (0,14 + 0,08) + \frac{89,4 \cdot 10^3}{2} \cdot 0,08 + 64,25 \cdot 0,044}{0,08 + 0,14 + 0,08}$$

$$R_{A_{\delta}} = 44709,42 \text{ } \acute{I}$$

Перевірка

$$\sum F_i(y) = 0$$

$$R_{A_{\delta}} - \frac{Q_{\bar{a}}}{2} - \frac{Q_{\bar{a}}}{2} + R_{B_{\delta}} + F_r = 0$$

$$44709,42 - \frac{89,4 \cdot 10^3}{2} - \frac{89,4 \cdot 10^3}{2} + 44626,33 + 64,25 = 0$$

$$0 = 0$$

Визначення величини згинальних моментів і побудова епюр

Вертикальна площина  $x - x$  (рис. 3.2.1)

$$M_A = 0$$

$$M_B = R_{Ay} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) = 25,89 \cdot (0,08 + 0,14 + 0,08) = 7,77 \text{ } \dot{\text{I}} \cdot \text{i}$$

$$M_A = 0$$

Горизонтальна площина  $y - y$  (рис.3.2.1)

$$M_A = 0$$

$$M_{\hat{N}} = R_{A\delta} \cdot l_1 = 44709,42 \cdot 0,08 = 3576,75 \text{ } \dot{\text{I}} \cdot \text{i}$$

$$M_D = R_{A\delta} \cdot (l_1 + l_2) - \frac{Q_d}{2} \cdot l_2 = 44709,42 \cdot (0,08 + 0,14) - \frac{89,4 \cdot 10^3}{2} \cdot 0,14 = 3578,07 \text{ } \dot{\text{I}} \cdot \text{i}$$

$$M_B = -F_r \cdot l_4 = -64,25 \cdot 0,044 = -2,83 \text{ } \dot{\text{I}} \cdot \text{i}$$

$$M_A = 0$$

Визначення сумарних згинальних моментів

$$M_H = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2} \quad (3.2.4)$$

$$M_H^A = 0$$

$$\dot{\text{I}}_{\hat{E}}^{\hat{N}} = \sqrt{3576,75^2} = 3576,75 \text{ } H \cdot \text{i}$$

$$\dot{\text{I}}_{\hat{E}}^D = \sqrt{3578,07^2} = 3578,07 \text{ } H \cdot \text{i}$$

$$\dot{\text{I}}_{\hat{E}}^A = \sqrt{(-2,83)^2 + 7,77^2} = 8,27 \text{ } H \cdot \text{i}$$

$$\dot{\text{I}}_{\hat{E}}^A = 0$$



## Визначення обертальних моментів

$$M_{\dot{\epsilon}\delta_{AD}} = \dot{O}_1 = 12,71 \dot{I} \cdot i$$

$$M_{\dot{\epsilon}\delta_{DE}} = \dot{O}_2 = 5,86 \dot{I} \cdot i$$

## Визначення приведених моментів

$$M_{np} = \sqrt{M_H^2 + T_1^2} \quad (3.2.5)$$

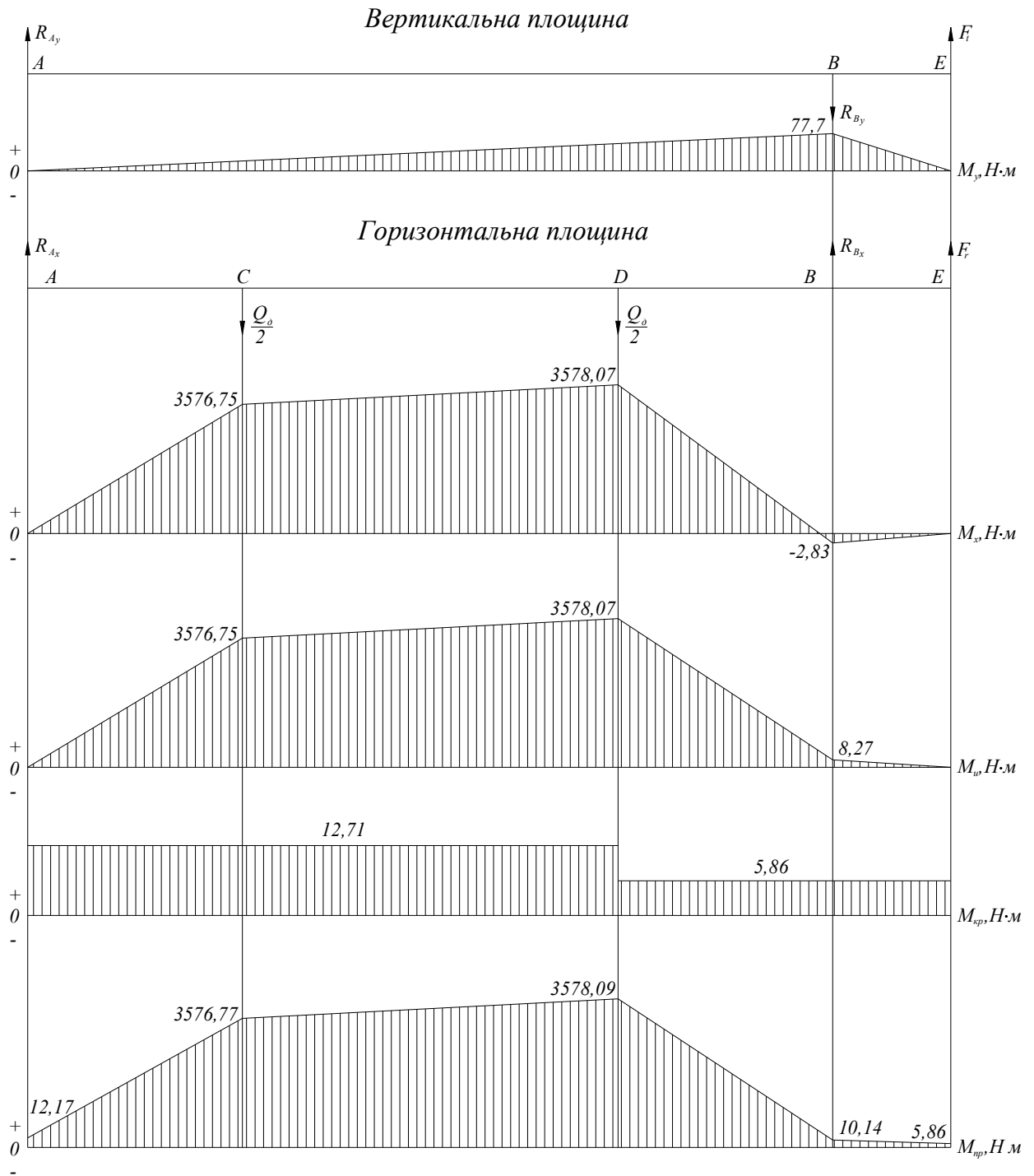
$$M_{\dot{i}\dot{o}}^A = \sqrt{0^2 + 12,71^2} = 12,71 \dot{I} \cdot i$$

$$\dot{I}_{\dot{i}\dot{o}}^{\tilde{N}} = \sqrt{3576,75^2 + 12,71^2} = 3576,77 H \cdot i$$

$$\dot{I}_{\dot{i}\dot{o}}^D = \sqrt{3578,07^2 + 12,71^2} = 3578,09 H \cdot i$$

$$\dot{I}_{\dot{i}\dot{o}}^A = \sqrt{8,27^2 + 5,86^2} = 10,14 H \cdot i$$

$$\dot{I}_{\dot{i}\dot{o}}^A = \sqrt{0^2 + 5,86^2} = 5,86 \dot{I} \cdot i$$



Умова міцності в імовірно небезпечному перетині

$$\sigma = \frac{I_{i\partial}}{W} \leq [\sigma], \quad (3.2.6)$$

де  $W$  – осьовий момент опору перетину валу,  $\text{мм}^3$

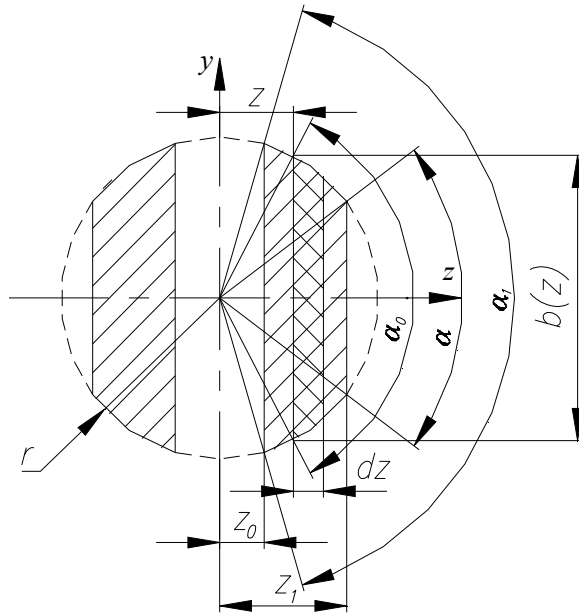


Рисунок 3.2.8 – Схема для визначення геометричних характеристик перетину вала

$$W = \sqrt{W_y^2 + W_z^2}, \quad (3.2.7)$$

де  $W_y$  – осьовий момент опору перетину вала в координатній площині  $y - y$ ,  $\text{мм}^3$

$$W_y = \frac{J_y}{z_{\max}}, \quad (3.2.8)$$

де  $J_y$  – осьовий момент інерції перетину вала в координатній площині  $y - y$ ,  $\text{мм}^4$

Для визначення осевого моменту інерції перетину відносно осі  $y$ , розглянемо елемент площі  $dF$ , що є смужкою довжиною  $b(z)$  і шириною  $dz$  рис. 3.2.8

$$dF = b(z) \cdot dz \quad (3.2.9)$$

Осьовий момент даної площі відносно осі  $y$  буде рівний

$$dJ_y = dF \cdot z^2 = b(z) \cdot z^2 \cdot dz \quad (3.2.10)$$

Перетин симетричний осі  $y$ , тому досить визначити осьовий момент половини перетину, а результат подвоїти

$$J_y = 2 \cdot \int_{z_0}^{z_1} b(z) \cdot z^2 \cdot dz \quad (3.2.11)$$

Введемо нову змінну ітерації – кут  $\alpha$  (рис. 3.2.1), тоді

$$z = r \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (3.2.12)$$

$$dz = -\frac{1}{2} \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot d\alpha$$

$$b(z) = 2 \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$\begin{aligned} J_y &= -2 \cdot \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} 2 \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \left(r \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot d\alpha = \\ &= -\frac{r^4}{2} \cdot \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} \sin^2 \alpha \cdot d\alpha = -\frac{r^4}{2} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{1}{4} \cdot \sin 2\alpha\right) \Big|_{\alpha_0}^{\alpha_1} \\ J_y &= -\frac{r^4}{2} \cdot \left(\frac{\alpha_1 - \alpha_0}{2} - \frac{1}{4} \cdot \sin 2\alpha_1 + \frac{1}{4} \cdot \sin 2\alpha_0\right) \quad (3.2.13) \end{aligned}$$

Межі ітерації

$$z_0 = 7 \text{ ù} \rightarrow \alpha_0 = 2 \cdot \arccos \frac{z_0}{R} = 2 \cdot \arccos \frac{7}{25} = 2,574 \text{ ðàä}$$

$$\sin 2\alpha_0 = -0,907$$

$$z_1 = 20 \text{ ù} \rightarrow \alpha_1 = 2 \cdot \arccos \frac{z_1}{R} = 2 \cdot \arccos \frac{20}{25} = 1,287 \text{ ðàä}$$

$$\sin 2\alpha_1 = 0,538$$

$$J_y = -\frac{25^4}{2} \cdot \left(\frac{1,287 - 2,574}{2} - \frac{1}{4} \cdot \sin 0,538 - \frac{1}{4} \cdot \sin 0,907\right) = 98047 \text{ ù}^4$$

$$W_y = \frac{98047}{20} = 4902 \text{ мм}^3$$

$W_z$  – осьовий момент опору перетину валу в координатній площині z – z, мм<sup>3</sup>

$$W_z = \frac{J_z}{y_{\max}}, \quad (3.2.14)$$

де  $J_z$  – осьовий момент інерції перетину валу в координатній площині z – z, мм<sup>4</sup>

Осьовий момент даної площі відносно осі z буде рівний

$$dJ_z = \frac{b(z)^3 \cdot dz}{12} \quad (3.2.15)$$

З обліком симетричності

$$\begin{aligned} J_z &= -2 \cdot \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} \frac{\left(2 \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)^3}{12} \cdot \frac{1}{2} \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot d\alpha = -\frac{2}{3} \cdot r^4 \cdot \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} \sin^4\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot d\alpha = \\ &= -\frac{2}{3} \cdot r^4 \cdot \left[ \frac{3}{8} \cdot \alpha - \frac{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sin^3\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{2} - \frac{3}{8} \cdot \sin \alpha \right] \Bigg|_{\alpha_0}^{\alpha_1} \end{aligned}$$

$$\cos\left(\frac{\alpha_0}{2}\right) = 0,28 \quad \sin\left(\frac{\alpha_0}{2}\right) = 0,96 \quad \sin^3\left(\frac{\alpha_0}{2}\right) = 0,885 \quad \sin \alpha_0 = 0,538 \quad \alpha_0 = 2,574$$

$$\cos\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) = 0,8 \quad \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) = 0,6 \quad \sin^3\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) = 0,216 \quad \sin \alpha_1 = 0,96 \quad \alpha_1 = 1,287$$

$$J_z = -\frac{2}{3} \cdot 25^4 \cdot \left[ \left( \frac{3}{8} \cdot 1,287 - \frac{0,8 \cdot 0,216}{2} - \frac{3}{8} \cdot 0,96 \right) - \left( \frac{3}{8} \cdot 2,574 - \frac{0,28 \cdot 0,885}{2} - \frac{3}{8} \cdot 0,538 \right) \right]$$

$$J_z = 157031 \text{ мм}^4$$

$$W_z = \frac{157031}{24} = 6543 \text{ мм}^3$$

$$W = \sqrt{4902^2 + 6543^2} = 8176 \text{ мм}^3$$

$[\sigma]$  – допустимі напруження матеріалу валу, МПа, [9];

$$[\sigma] = 375 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \frac{3578,09 \cdot 10^3}{8176} = 337,63 \text{ МПа}$$

$$337,63 \text{ МПа} < 375 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується

**3.2.1.2 Розглядаємо II випадок** де згідно рисунка 3.2.1 (II) радіальна сила збігається по напрямку з силою, що діє на вал від дебаланса

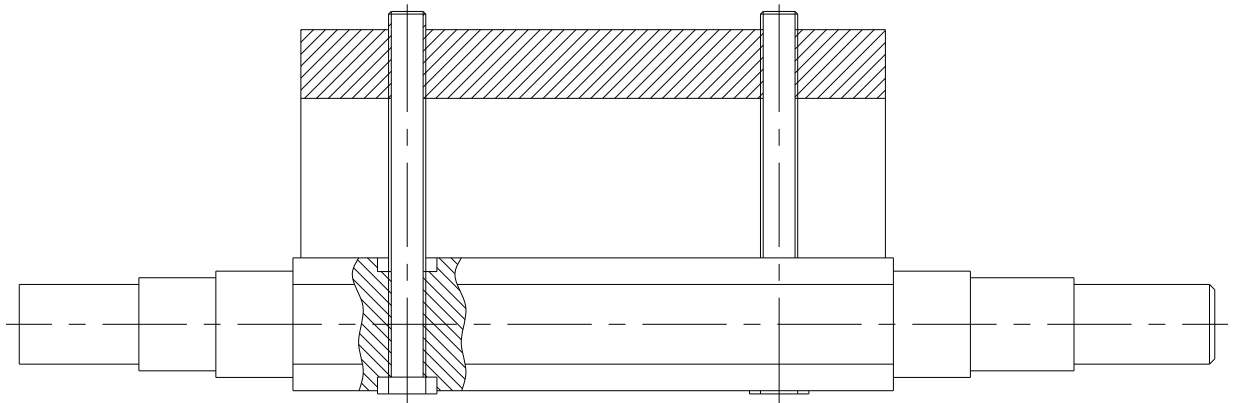


Рисунок 3.2.9 – Вал з дебалансом в положенні (II)

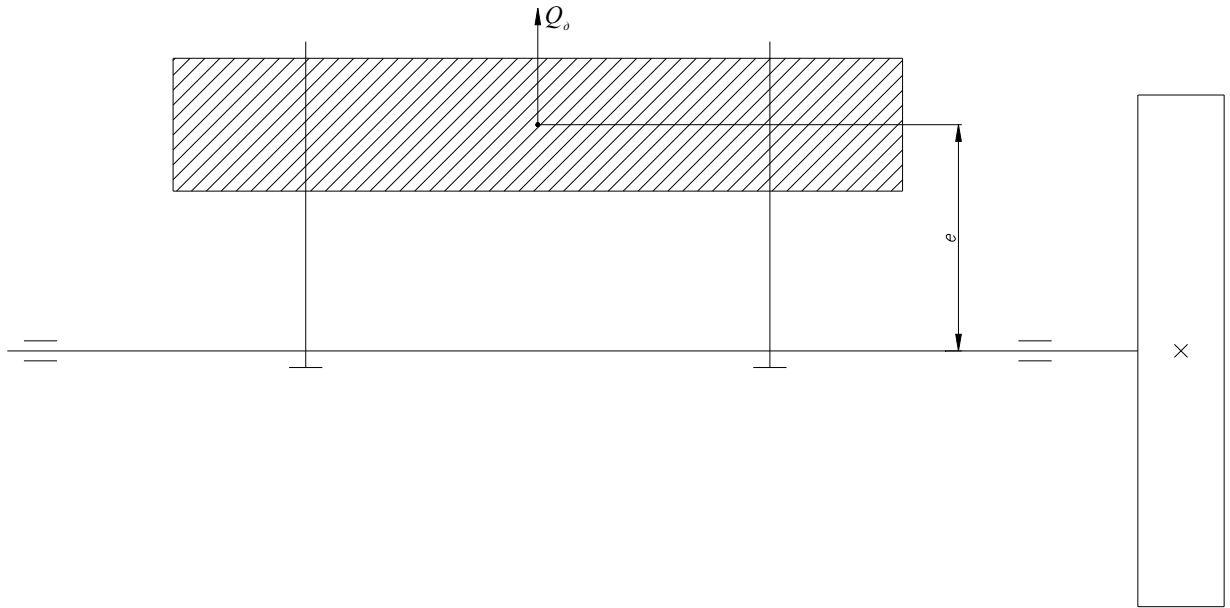


Рисунок 3.2.10 - Кінематична схема для II випадку

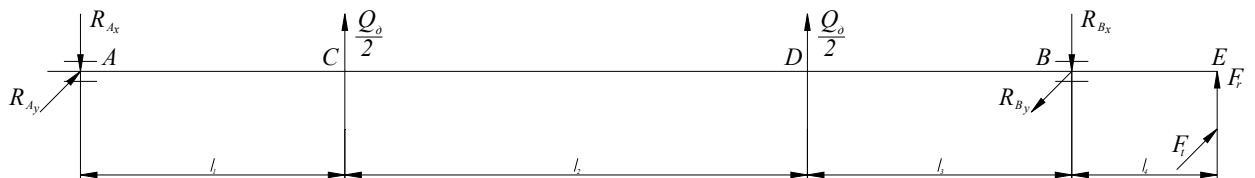


Рисунок 3.2.11 - Розрахункова схема для II випадку

Вихідні данні:

$$F_t = 176,53 \text{ Н}$$

$$F_r = 64,25 \text{ Н}$$

$$Q_d = 89,4 \text{ кН}$$

$$l_1 = 0,08 \text{ м}$$

$$l_2 = 0,14 \text{ м}$$

$$l_3 = 0,08 \text{ м}$$

$$l_4 = 0,044 \text{ м}$$

Визначення реакції в опорах

Вертикальна площина  $x - x$  (рис. 3.2.1)

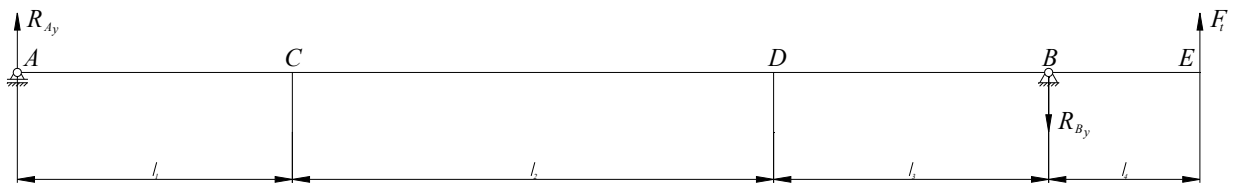


Рисунок 3.2.12 – Сили що діють на вертикальну площину

$$\sum M(F_i)_A = 0$$

$$R_{By} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) - F_t \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4) = 0$$

$$R_{By} = \frac{F_t \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4)}{l_1 + l_2 + l_3}$$

$$R_{By} = \frac{176,53 \cdot (0,08 + 0,14 + 0,08 + 0,044)}{0,08 + 0,14 + 0,08}$$

$$R_{By} = 202,42 \text{ Í}$$

$$\sum M(F_i)_B = 0$$

$$R_{Ay} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) - F_t \cdot l_4 = 0$$

$$R_{Ay} = \frac{F_t \cdot l_4}{l_1 + l_2 + l_3}$$

$$R_{Ay} = \frac{176,53 \cdot 0,044}{0,08 + 0,14 + 0,08}$$

$$R_{Ay} = 25,89 \text{ Í}$$

Перевірка

$$\sum F_i(y) = 0$$



$$R_{A_y} - R_{B_y} + F_t = 0$$

$$25,89 - 202,42 + 176,53 = 0$$

$$0 = 0$$

Горизонтальна площина у – у (рис. 3.2.1)

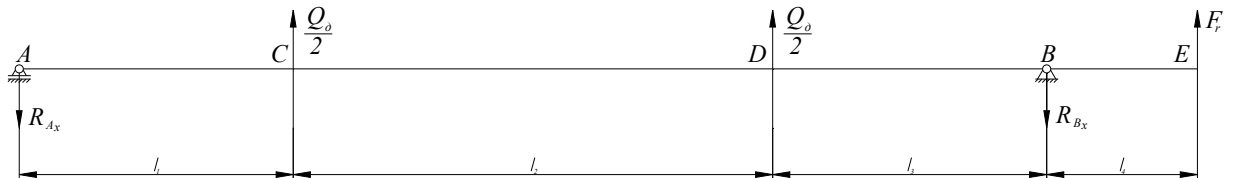


Рисунок 3.2.12 – Сили що діють у горизонтальній площині

$$\sum M(F_i)_A = 0$$

$$-F_r \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4) + R_{B_x} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) - \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot (l_1 + l_2) - \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot l_1 = 0$$

$$R_{B_x} = \frac{F_r \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4) + \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot (l_1 + l_2) + \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot l_1}{l_1 + l_2 + l_3}$$

$$R_{B_x} = \frac{64,25 \cdot (0,08 + 0,14 + 0,08 + 0,044) + \frac{89,4 \cdot 10^3}{2} \cdot (0,08 + 0,14) + \frac{89,4 \cdot 10^3}{2} \cdot 0,08}{0,08 + 0,14 + 0,08}$$

$$R_{B_x} = 44773,67 \text{ Н}$$

$$\sum M(F_i)_B = 0$$

$$-R_{A_x} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) + \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot (l_2 + l_3) + \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot l_3 - F_r \cdot l_4 = 0$$

$$R_{A_x} = \frac{\frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot (l_2 + l_3) + \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot l_3 - F_r \cdot l_4}{l_1 + l_2 + l_3}$$

$$R_{A_x} = \frac{\frac{89,4 \cdot 10^3}{2} \cdot (0,14 + 0,08) + \frac{89,4 \cdot 10^3}{2} \cdot 0,08 - 64,25 \cdot 0,044}{0,08 + 0,14 + 0,08}$$

$$R_{A_o} = 44690,58 \text{ } \dot{I}$$

Перевірка

$$\sum F_i(y) = 0$$

$$-R_{A_o} + \frac{Q_{\bar{a}}}{2} + \frac{Q_{\bar{a}}}{2} - R_{B_o} + F_r = 0$$

$$-44690,58 + \frac{89,4 \cdot 10^3}{2} + \frac{89,4 \cdot 10^3}{2} - 44773,67 + 64,25 = 0$$

$$0 = 0$$

Визначення величини згинальних моментів і побудова епюр

Вертикальна площина  $x - x$  (рис. 3.2.1)

$$M_A = 0$$

$$M_B = R_{A_y} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) = 25,89 \cdot (0,08 + 0,14 + 0,08) = 7,77 \text{ } \dot{I} \cdot i$$

$$M_A = 0$$

Горизонтальна площина  $y - y$  (рис. 3.2.1)

$$M_A = 0$$

$$M_{\bar{N}} = -R_{A_o} \cdot l_1 = -44690,58 \cdot 0,08 = -3575,25 \text{ } \dot{I} \cdot i$$

$$M_D = -R_{A_o} \cdot (l_1 + l_2) + \frac{Q_{\bar{a}}}{2} \cdot l_2 = -44690,58 \cdot (0,08 + 0,14) + \frac{89,4 \cdot 10^3}{2} \cdot 0,14 = -3573,93 \text{ } \dot{I} \cdot i$$

$$M_B = -F_r \cdot l_4 = -64,25 \cdot 0,044 = -2,83 \text{ } \dot{I} \cdot i$$

$$M_A = 0$$

Визначення сумарних згинальних моментів

$$M_H = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2}$$

$$M_H^A = 0$$

$$\dot{I}_{\dot{E}}^{\dot{N}} = \sqrt{(-3575,25)^2} = 3575,25 \text{ H} \cdot \dot{i}$$

$$\dot{I}_{\dot{E}}^{\dot{D}} = \sqrt{(-3573,93)^2} = 3573,93 \text{ H} \cdot \dot{i}$$

$$\dot{I}_{\dot{E}}^{\dot{A}} = \sqrt{(-2,83)^2 + 7,77^2} = 8,27 \text{ H} \cdot \dot{i}$$

$$\dot{I}_{\dot{E}}^{\dot{A}} = 0$$

Визначення обертового моменту

$$M_{\dot{e}\dot{o}_{AD}} = \dot{O}_1 = 12,71 \dot{I} \cdot \dot{i}$$

$$M_{\dot{e}\dot{o}_{DE}} = \dot{O}_2 = 5,86 \dot{I} \cdot \dot{i}$$

Визначення приведених моментів

$$M_{np} = \sqrt{M_H^2 + T_1^2}$$

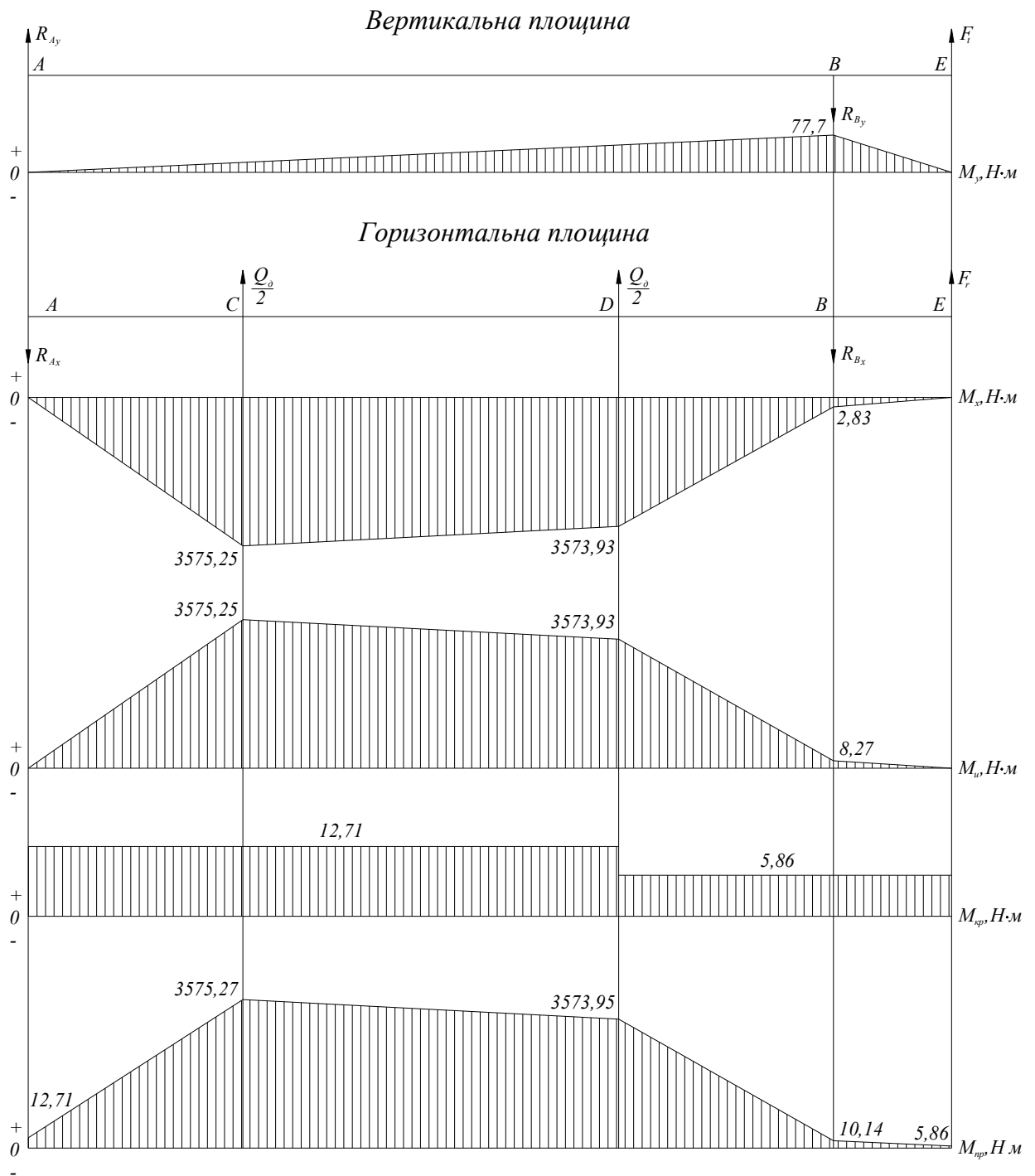
$$M_{\dot{i}\dot{o}}^{\dot{A}} = \sqrt{0^2 + 12,71^2} = 12,71 \dot{I} \cdot \dot{i}$$

$$\dot{I}_{\dot{i}\dot{o}}^{\dot{N}} = \sqrt{3575,25^2 + 12,71^2} = 3575,27 \text{ H} \cdot \dot{i}$$

$$\dot{I}_{\dot{i}\dot{o}}^{\dot{D}} = \sqrt{3573,93^2 + 12,71^2} = 3573,95 \text{ H} \cdot \dot{i}$$

$$\dot{I}_{\dot{i}\dot{o}}^{\dot{A}} = \sqrt{8,27^2 + 5,86^2} = 10,14 \text{ H} \cdot \dot{i}$$

$$\dot{I}_{\dot{i}\dot{o}}^{\dot{A}} = \sqrt{0^2 + 5,86^2} = 5,86 \dot{I} \cdot \dot{i}$$



Умова міцності в імовірно небезпечному перетині

$$\sigma = \frac{I_{\text{в}}}{W} \leq [\sigma],$$

де  $W$  – осьовий момент опору перетину валу, такий же, як в випадку I

$$W = \sqrt{4902^2 + 6543^2} = 8176 \text{ } \ddot{\text{и}}^3$$

$[\sigma]$  – допустимі напруження матеріалу валу, МПа, [9];

$$[\sigma] = 375 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \frac{3575,27 \cdot 10^3}{8176} = 337,29 \text{ МПа}$$

$$337,29 \text{ МПа} < 375 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується

### 3.2.2 Розрахунок швидкохідного валу на вібростійкість

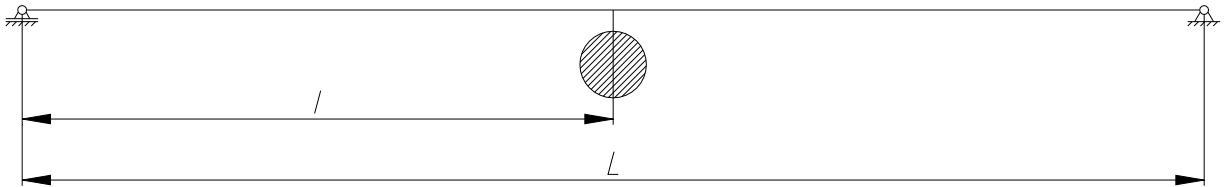


Рисунок 3.2.14 – Розрахункова схема

Відносна координата центру маси дебаланса

$$\bar{l} = \frac{l}{L}, \quad (3.2.16)$$

де  $l$  – координата центру маси дебаланса, м;

$$l = 0,15 \text{ м};$$

$L$  – довжина валу, м;

$$L = 0,3 \text{ м}$$

$$\bar{l} = \frac{0,15}{0,3} = 0,5$$

Кутова швидкість валу

$$\omega = \omega_1 = 376,8 \text{ рад/с}$$

Безрозмірний динамічний прогин валу в центрі маси дебаланса

Оскільки  $\bar{l} = 0,5$ , то

$$\bar{y}_l = 3 \cdot \bar{l} - 4 \cdot \bar{l}^3$$

$$\bar{y}_l = 3 \cdot 0,5 - 4 \cdot 0,5^3 = 1$$

Приведена маса дебаланса

$$m_{i\delta} = m_a \cdot \bar{y}_l^3, \quad (3.2.17)$$

де  $m_\delta$  – маса дебаланса, кг;

$$m_\delta = 9,25 \text{ кг}$$

$$m_{i\delta} = 9,25 \cdot 1^3 = 9,25 \text{ êã}$$

Безрозмірний коефіцієнт

$$f = \frac{\rho_B \cdot \omega^2 \cdot L^2}{3 \cdot E}, \quad (3.2.18)$$

де  $\rho_B$  – щільність матеріалу валу, кг/м<sup>3</sup>;

$$\rho_B = 7,82 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3;$$

$E$  – модуль подовжньої пружності, Па;

$$E = 2,06 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

$$f = \frac{7,82 \cdot 10^3 \cdot 376,8^2 \cdot 0,3^2}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11}} = 1,62 \cdot 10^{-4}$$

Приведена безрозмірна маса валу

$$\bar{m}_{B_{i\delta}} = 0,5 \quad (3.2.19)$$

Лінійна маса валу

$$m_B = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \rho_B, \quad (3.2.20)$$

де  $d$  – еквівалентний діаметр валу, м;

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}, \quad (3.2.21)$$

де  $S$  – еквівалентна площа валу, мм<sup>2</sup>

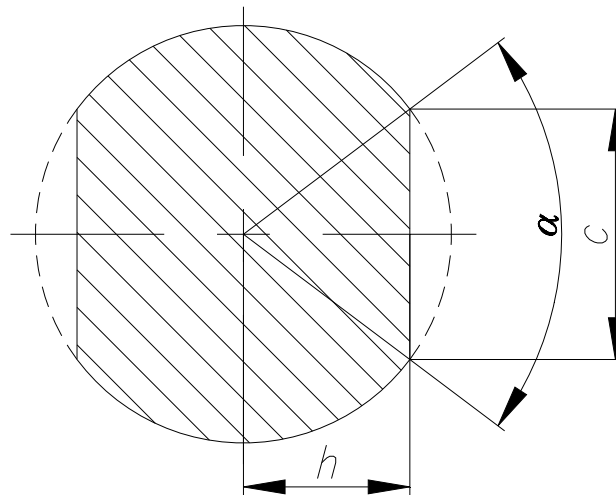


Рисунок 3.2.15 –

Перетин валу

$$S = S_K - 2 \cdot S_{сег},$$

(3.2.22)

де  $S_K$  – площа кола, мм<sup>2</sup>

$$S_e = \frac{\pi \cdot D^2}{4},$$

де  $D$  – діаметр валу, мм;

$$D = 50 \text{ мм}$$

$$S_e = \frac{3,14 \cdot 50^2}{4} = 1962,5 \text{ мм}^2$$

$S_{сег}$  – площа сегменту, мм<sup>2</sup>

$$S_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{a}} = S_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}} - S_{\tilde{o}}, \quad (3.2.23)$$

де  $S_{сек}$  – площа сектора,  $\text{мм}^2$

$$S_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}} = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot \alpha}{360^\circ}, \quad (3.2.24)$$

де  $\alpha$  – половина центрального кута, який містить дугу колового сегменту;

$$\alpha = 73,74^\circ$$

$$S_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}} = \frac{3,14 \cdot 25^2 \cdot 73,74^\circ}{360^\circ} = 401,99 \text{ мм}^2$$

$S_m$  – площа трикутника,  $\text{мм}^2$

$$S_{\tilde{o}} = \frac{1}{2} \cdot \tilde{n} \cdot h,$$

де  $c$ ,  $h$  – геометричні розміри трикутника,  $\text{мм}$ ;

$$c = 30 \text{ мм};$$

$$h = 20 \text{ мм}$$

$$S_{\tilde{o}} = \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 20 = 300 \text{ мм}^2$$

$$S_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{a}} = 401,99 - 300 = 101,99 \text{ мм}^2$$

$$S = 1962,5 - 2 \cdot 101,99 = 1758,52 \text{ мм}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1758,52}{3,14}} = 47,33 \text{ мм}$$

$$m_B = \frac{3,14}{4} \cdot (47,33 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7,82 \cdot 10^3 = 13,75 \text{ г/л}$$

Відносна сумарна маса дебаланса



$$\bar{m}_{i\delta} = \frac{m_{i\delta}}{m_B \cdot L} \quad (3.2.25)$$

Безрозмірна критична кутова швидкість

$$\bar{\omega}_1 = \frac{9,8}{\sqrt{1 + 2 \cdot \bar{m}_{i\delta}}} \quad (3.2.26)$$

$$\bar{\omega}_1 = \frac{9,8}{\sqrt{1 + 2 \cdot 2,24}} = 4,19$$

Перша критична кутова швидкість

$$\omega_1 = \frac{\bar{\omega}_1 \cdot d}{4 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho_B}} \quad (3.2.27)$$

$$\omega_1 = \frac{4,19 \cdot 47,33 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 0,3^2} \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^{11}}{7,82 \cdot 10^3}} = 2827,34 \text{ рад/с}$$

Умова вібростійкості

$$\frac{\omega}{\omega_1} \leq 0,7 \quad (3.2.28)$$

$$\frac{376,8}{2827,34} = 0,13$$

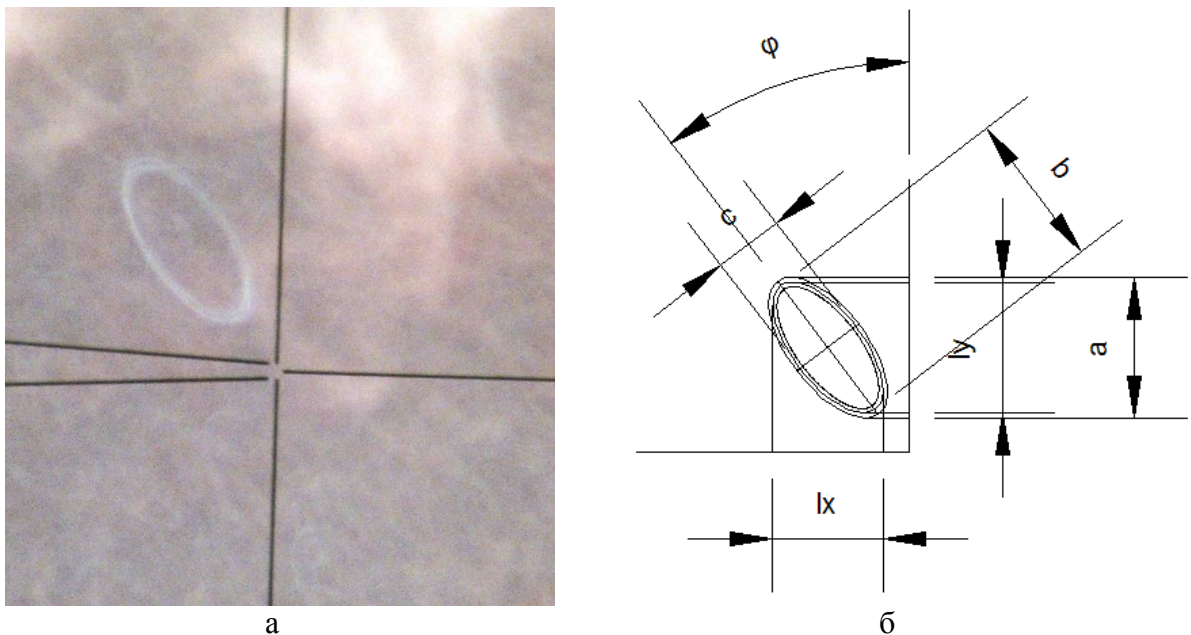
$$0,13 < 0,7$$

Умова виконується

## 4 Методика проведення експериментів і вимірювань.

### 4.1 Методика вимірювань параметрів коливань модельного вібраційного змішувача.

Як показали попередні дослідження траєкторія коливання центру тяжіння модельного змішувача є еліпсом (рис.4.1.1). Фотографію отримуємо таким чином: на кришку модельного змішувача необхідно наклеїти шматочок наждачного паперу, і провести вимір за допомогою катетометра КМ-8 відрізка  $a$ , далі через оптичну систему катетометра фотоапаратом виконати фотографію вимірюваного еліпса коливань (рис. 4.1.1а). Знімок можна обробити в редакторах CorelDraw та AutoCad. Потім обчислюється масштаб і по знімку знаходяться розміри  $l_x$ ,  $l_y$ ,  $b$ ,  $c$  та кут  $\varphi$ .



а- фотографія вимірюваного еліпса коливань, б- необхідні геометричні розміри.

Рисунок 4.1.1 – Еліпс коливань

Щоб визначити амплітудно-частотною характеристику коливань центру тяжіння модельного змішувача будується діаграма. Для її побудови еліпс ділиться на 12 частин (рис. 4.1.2), а також указуються максимальні і мінімальні відхилення від центру.

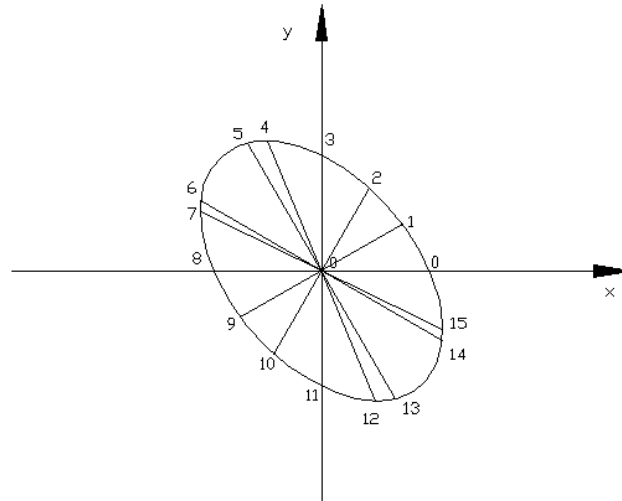


Рисунок 4.1.2 – Точки для побудови еліпса коливань

Знаючи амплітуду коливань знаходиться відносне прискорення  $\Delta$

$$\Delta = \frac{A \cdot \omega}{g}, \quad (4.1.1)$$

де  $A$  – амплітуда коливань, *мм*;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$\omega$  – кутова швидкість, *рад/с*.

$$\omega = 2\pi f, \quad (4.1.2)$$

де  $f$  – частота коливань, *Гц*.

#### 4.2 Методика вимірювання якості змішування.

В результаті процесу перемішування в змішувачі відбувається взаємне переміщення часток різних компонентів, що знаходяться до перемішування окремо або в неоднорідному упорядкованому стані. У процесі, що ідеалізується, ми повинні отримати таку суміш, коли в будь-якій її точці до кожної частинки одного з компонентів примикають частки інших компонентів в кількостях, визначуваних заданим співвідношенням компонентів. Так, якщо змішуються три компоненти, маси яких відносяться як цілі числа  $p:q:t$ , то в будь-якому малому об'ємі, узятому в довільній крапці, маси після ідеального змішування теж повинні відноситися як  $p:q:t$ .

Проте таке розташування часток, що ідеалізується, насправді не спостерігається, оскільки діє дуже велике число чинників, які впливають на їх взаємні переміщення і від яких зрештою залежить ступінь змішування. Ці чинники можна розділити на три групи:

1) методи змішування (розпилювання, пересипання, перелопачування, нашаровування компонентів, змішування компонентів в «киплячому» шарі і т. ін.);

2) конструктивні особливості змішувачів і їх режими роботи (ступінь заповнення, швидкість і характер циркуляції матеріалу всередині змішувача, конструкція змішуючого органу, швидкість обертання цього органу і т. д.);

3) фізико-механічні характеристики суміші компонентів (співвідношення компонентів, їх гранулометричний склад, об'ємні маси, коефіцієнт внутрішнього тертя і т. ін.).

У перемішуваній суміші, в її мікрооб'ємах можлива нескінченна різноманітність взаємного розташування часток компонентів. У цих умовах співвідношення компонентів в довільних точках суміші — величина випадкова. Тому більшість сучасних методів оцінки якості суміші (ступені змішення) засновані на методах статистичного аналізу.

З математичної статистики бачимо, що найбільш просто статистичний матеріал аналізується по одній випадковій величині (закони для систем декількох випадкових величин значно складніші, і на практиці до них прибігають тільки в разі крайньої необхідності).

Як критерій оцінки якості змішування використовуватимемо коефіцієнт неоднорідності (варіації)  $V_c$  [10].

$$V_c = \frac{S \cdot 100}{\bar{c}} \%, \quad (4.2.1)$$

де  $\bar{c}$  - середнє арифметичне значення концентрації ключового компонента в пробах %;

$S$  - середнє квадратичне відхилення

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2} \quad (4.2.1)$$

$c_i$  – значення концентрації ключового компонента в  $i$ -той пробі %;

$n$  – число проаналізованих проб.

У змішувач завантажуються два компоненти, скляний бісер і поліетилен, в співвідношенні по масі 7:3 відповідно. Процес змішування проводиться періодично. Проби необхідно відбирати пробовідбірником (рис. 4.2.1) через проміжки часу рівні 20 секундам в перебігу 4 хвилин, по 5 проб(рис. 4.2.2) в кожному досліді. На аналітичних вагах вимірюється вага проби. Далі за допомогою сита відділяють бісер від поліетилену і визначають вагу бісеру. Експериментальні дані заносяться в таблиці.



Рисунок 4.2.1 – Конструкція пробовідбірника.

Проводяться досліди в декілька серій. Перша - в апараті без мішалки при вібрації, друга - в апараті з мішалкою при вібрації, третя - в апараті з мішалкою без вібрації.

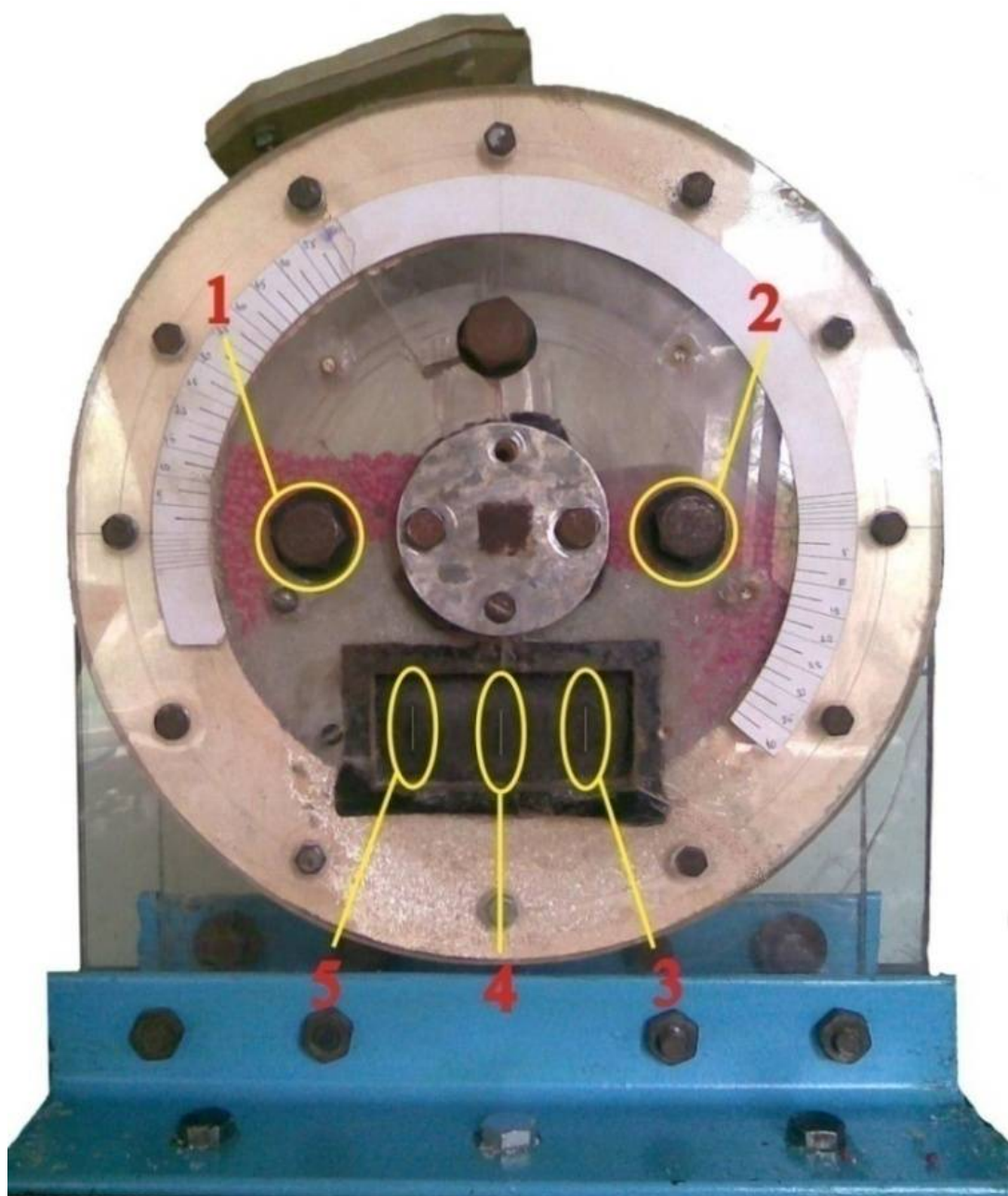


Рисунок 4.2.2 – Місця для відбору проб.

Як показали попередні досліді на модельних матеріалах (скляний бісер + поліетилен гранульований) при відборі проб спостерігалось висипання значної кількості суміші з апарату. Тому була запропонована наступна конструкція, представлена на рисунку 4.2.3.

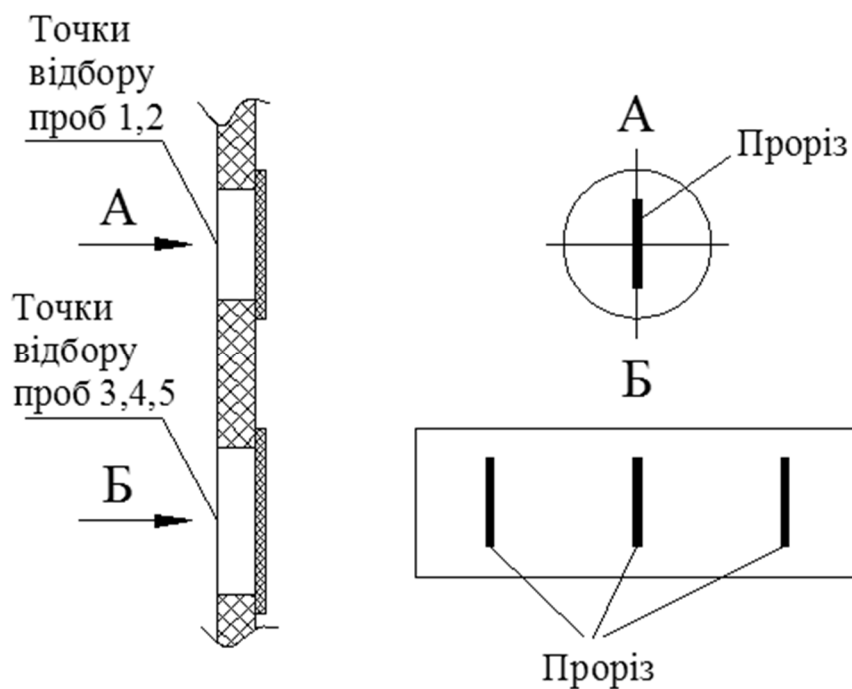


Рисунок 4.2.3 – Конструктивне оформлення отворів для відбору проб

На кришку модельного апарату зсередини в місцях відбору проб наклеюється гума завтовшки в 3 мм. На гумі робляться прорізи. Таким чином, гума утримує суміш і дає можливість відібрати проби з найменшими втратами.

#### **4.3 Методика визначення фізико-механічних властивостей матеріалів.**

Фізико-механічними властивостями сипких матеріалів є кут природного укосу, насипна вага та середній розмір часток.

Кут природного укосу - кут, утворений вільною поверхнею рихлої гірської маси або іншого сипкого матеріалу з горизонтальною плоскістю. Інколи може бути використаний термін «кут внутрішнього тертя».

Частки матеріалу, насипи, що знаходяться на вільній поверхні, випробовують стан критичної (граничного) рівноваги. Кут природного укосу пов'язаний з коефіцієнтом тертя і залежить від шорсткості зерен, ступеня їх зволоження, гранулометричного складу і форми, а також від питомої ваги матеріалу.

Для визначення кута природного укосу пропонується на горизонтальну поверхню з воронки насипати певну кількість сипкого матеріалу. На поверхні буде утворюватися конус. Необхідно визначити висоту конуса та його радіус. Для скляного бісеру конус буде усічений, тому необхідно ще вичислити верхній радіус. Далі розглядаємо прямокутний трикутник та маючи два катета знаходимо кут природного укосу.

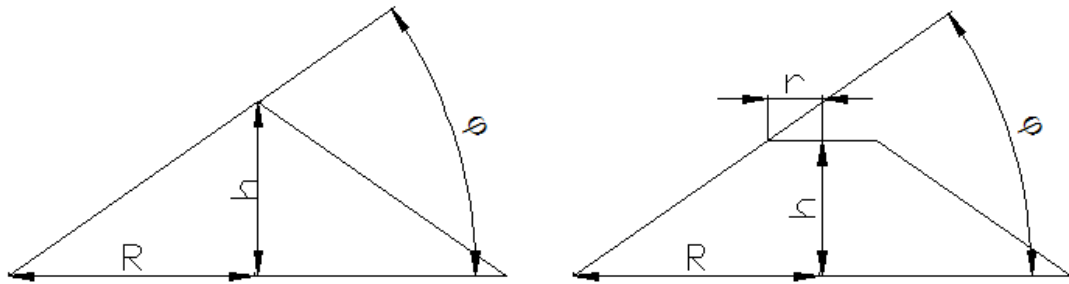


Рисунок 4.3.1 – Кут природного укосу

Насипна вага (об'ємна насипна вага) - це вага сипкого матеріалу в одиниці об'єму разом з порожнечами. Виражається насипна вага в ньютонках на кубічний метр ( $\text{H}/\text{m}^3$ ) і обчислюється за формулою

$$P_n = m/V \quad (4.3.1)$$

Масу  $m$  визначають зважуванням, об'єм  $V$  визначають в судині (ящику), вільно заповненій сипким матеріалом.

Насипна вага - величина непостійна, така, що змінюється від багатьох чинників (ступені ущільнення, вологості, форми зерен і ін.). Вільно висипаний щебінь має меншу насипну масу, чим ущільнений. Пісок сухий і злегка зволожений має різні насипні маси. У даних випадках на насипну масу робить вплив порожнистість сипкого матеріалу. Чим вище порожнистість, тим менше насипна маса.

Для визначення насипної ваги в досліді використовується скляна колба, яка заповнюється до мітки 500 мл. Зважування слід проводити по хоча б по 10 разів на кожен матеріал, після береться середнє арифметичне і визначається насипна вага.



Що стосується розміру часток, в першу чергу необхідно звернути увагу на їх форму. Скляний бісер має форму кулі та частки за розміром однакові, тому їх середній розмір вимірюється штангенциркулем и сягає 0,8 мм.

Форма поліетилену складна, тому пропонується середній розмір обчислювати за формулою

$$a_{\text{ср}} = \sqrt[3]{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3}, \text{ мм} \quad (4.3.2)$$

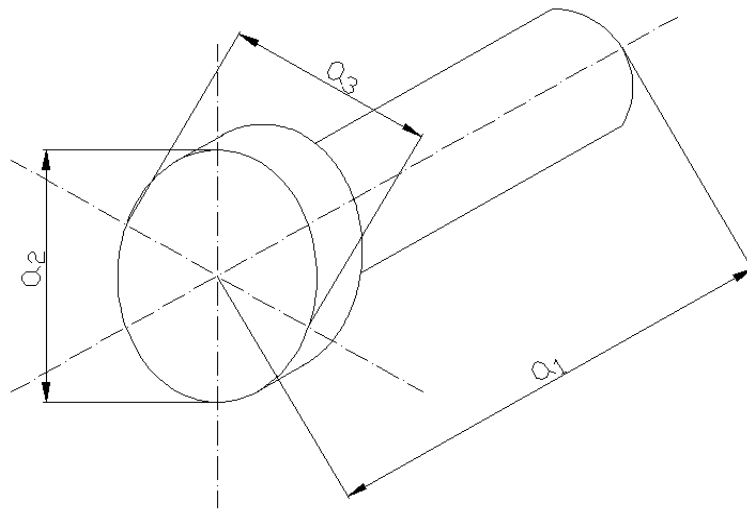


Рисунок 4.3.1 – Вимірювальні розміри поліетилену.

#### 4.4 Методика визначення похибки вимірювань.

Для визначення похибки вимірювання необхідно провести хоча б 10 вимірювань. Знаходять середнє арифметичне  $M$ . Потім вираховують відхилення  $\alpha$ -кожного вимірювання від  $M$ , не звертаючи уваги на знаки. Підносять у квадрат –  $\alpha^2$  і знаходять суму квадратів відхилення –  $\Sigma\alpha^2$ . Величину квадратичної похибки визначають за формулою [10]

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma\alpha^2}{n-1}}, \quad (4.4.1)$$

де  $n$  – число вимірювань.

Якщо  $n > 30$ , то від  $n$  не віднімають одиницю; Якщо  $n \leq 10$ , то одиницю віднімають обов'язково.

## 5 Експериментальна частина

Згідно вище розробленим методикам експериментальні і оброблені дані зводяться в таблицях та будуються відповідні залежності.

### 5.1 Визначення параметрів коливань модельного вібраційного змішувача.

Таблиця 5.1.1 – Геометричні розміри еліпса

	$b$ (мм)	$c$ (мм)	$l_x$ (мм)	$l_y$ (мм)	$\varphi$ (мм)	$a$ (мм)	$\mu$ (мм)
25 Гц	1,7091	0,7707	1,2060	1,4348	40°44′	1,5420	0,46155
30 Гц	1,6784	0,8177	1,2324	1,4012	34°58′	1,5840	0,48851
35 Гц	1,7528	0,9022	1,2921	1,4885	36°31′	1,5780	0,42538
40 Гц	1,6754	0,8504	1,2204	1,4284	37°46′	1,5560	0,40155
50 Гц	1,6600	0,8683	1,2412	1,4025	44°47′	1,5720	0,40371
60 Гц	1,6725	0,8708	1,2650	1,3972	40°23′	1,5420	0,39105

Таблиця 5.1.2 – Координати точок для побудови коливань

	25 Гц		30 Гц		35 Гц		40 Гц		50 Гц		60 Гц	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0	0,4589	0,0000	0,4893	0,0000	0,5310	0,0000	0,4987	0,0000	0,5136	0,0000	0,5210	0,0000
1	0,3360	0,1940	0,3556	0,2053	0,3935	0,2272	0,3705	0,2139	0,3792	0,2190	0,3813	0,2201
2	0,2050	0,3551	0,2159	0,3759	0,2378	0,4125	0,2254	0,3904	0,2281	0,3951	0,2276	0,3942
3	0,0000	0,5459	0,0000	0,5568	0,0000	0,6119	0,0000	0,5838	0,0000	0,5805	0,0000	0,5754
4	-0,3944	<b>0,7175</b>	-0,3760	<b>0,7012</b>	-0,3711	<b>0,7443</b>	-0,3539	<b>0,7143</b>	-0,3457	<b>0,7014</b>	-0,3647	<b>0,6989</b>
5	-0,4137	0,7167	-0,4040	0,6998	-0,4269	0,7394	-0,4094	0,7091	-0,4026	0,6973	-0,4020	0,6963
6	<b>-0,6032</b>	0,4599	<b>-0,6162</b>	0,4187	<b>-0,6460</b>	0,4317	-0,6102	0,4156	-0,6206	0,4044	-0,6328	0,3970
7	-0,5897	0,3405	-0,6114	0,3530	-0,6439	0,3717	<b>-0,6071</b>	0,3505	<b>-0,6197</b>	0,3578	<b>-0,6319</b>	0,3648
8	-0,4589	0,0000	-0,4893	0,0000	-0,5310	0,0000	-0,4987	0,0000	-0,5136	0,0000	-0,5210	0,0000
9	-0,3360	-0,1940	-0,3556	-0,2053	-0,3935	-0,2272	-0,3705	-0,2139	-0,3792	-0,2190	-0,3813	-0,2201
10	-0,2050	-0,3551	-0,2159	-0,3759	-0,2378	-0,4125	-0,2254	-0,3904	-0,2281	-0,3951	-0,2276	-0,3942
11	0,0000	-0,5459	0,0000	-0,5568	0,0000	-0,6119	0,0000	-0,5838	0,0000	-0,5805	0,0000	-0,5754
12	0,3944	<b>-0,7175</b>	0,3760	<b>-0,7012</b>	0,3711	<b>-0,7443</b>	0,3539	<b>-0,7143</b>	0,3457	<b>-0,7014</b>	0,3647	<b>-0,6989</b>
13	0,4137	-0,7167	0,4040	-0,6998	0,4269	-0,7394	0,4094	-0,7091	0,4026	-0,6973	0,4020	-0,6963
14	<b>0,6032</b>	-0,4599	<b>0,6162</b>	-0,4187	<b>0,6460</b>	-0,4317	<b>0,6102</b>	-0,4156	<b>0,6206</b>	-0,4044	<b>0,6328</b>	-0,3970
15	0,5897	-0,3405	0,6114	-0,3530	0,6439	-0,3717	0,6071	-0,3505	0,6197	-0,3578	0,6319	-0,3648

Таблиця 5.1.3 – Відносне прискорення центра тяжіння модельного апарату

$f$ (Гц)	$\omega$ (рад/с)	$A$ (мм)	$\Delta$
25	157	0,7175	1,803
30	188,4	0,7012	2,537
35	219,8	0,7443	3,666
40	251,2	0,7143	4,595
50	314	0,7014	7,049
60	376,8	0,6989	10,115

## 5.2 Визначення якості змішення

Таблиця 5.2.1 – Вага проб в експерименті з дією однієї вібрації

$t$ (сек)	№ Проби									
	1		2		3		4		5	
	Вага загальна (зг) та вага скляного бісеру (б) (гр.).*									
	зг	б	зг	б	зг	б	зг	б	зг	б
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
25 Гц										
20	8,425	7,315	7,082	5,243	13,272	12,492	12,914	12,876	13,580	13,580
40	4,755	3,816	7,968	5,877	11,384	9,628	12,610	11,889	14,488	14,468
60	10,431	9,605	8,670	7,564	11,449	9,805	11,456	10,329	11,844	11,267
80	7,199	6,246	7,876	6,590	11,197	9,816	10,658	9,237	7,822	7,143
100	6,453	4,426	6,868	5,637	11,852	10,132	11,553	9,922	12,054	11,168
120	7,359	6,294	8,126	7,654	11,571	10,441	11,981	10,709	11,606	10,774
140	9,453	8,616	9,587	9,135	12,256	10,585	12,188	10,486	12,647	11,698
160	10,480	10,080	8,753	7,081	11,946	10,441	12,283	10,702	11,554	10,545
180	9,487	8,542	7,103	4,946	15,426	10,921	12,135	10,323	11,336	10,475
200	8,450	6,533	7,840	5,807	12,305	10,668	11,616	9,915	12,036	10,910
220	7,224	5,581	6,674	4,966	12,873	11,098	12,006	10,568	12,563	11,289
240	7,995	6,878	5,054	3,093	12,130	10,525	10,818	9,132	13,077	11,741
30 Гц										
20	11,379	11,187	10,318	9,531	12,341	11,341	11,029	9,669	11,394	10,565
40	10,399	9,946	9,172	8,069	12,205	11,263	12,303	10,943	11,047	9,264
60	7,918	6,294	7,392	5,256	11,767	10,819	10,964	9,621	9,972	7,989
80	8,698	6,86	6,218	3,742	11,134	10,025	10,231	8,916	9,823	8,186
100	7,763	6,19	6,333	4,369	11,032	9,93	10,274	8,958	9,894	8,464
120	5,273	2,862	7,927	6,738	10,784	9,722	10,475	9,149	9,519	8,999
140	10,518	9,634	9,004	7,421	10,988	9,954	10,84	9,384	9,835	8,242

## Продовження таблиці 5.2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
160	8,929	7,933	6,802	4,769	11,134	9,904	10,995	9,431	9,665	8,029
180	7,24	5,395	6,678	4,543	11,981	10,843	10,243	8,828	9,957	8,21
200	8,547	7,298	7,697	5,985	10,878	9,701	11,273	9,975	10,313	8,753
220	9,367	8,375	8,345	7,363	13,291	12,19	11,161	9,975	10,808	9,181
240	7,246	5,37	7,711	5,773	10,851	9,722	9,703	8,321	10,529	8,754
35 Гц										
20	11,440	10,913	10,162	9,479	11,997	11,139	11,790	11,104	11,821	11,094
40	7,246	4,398	9,931	7,327	12,770	12,100	12,855	12,487	11,396	10,058
60	8,798	7,668	9,343	8,576	12,590	11,878	12,259	11,518	11,169	9,872
80	6,191	4,696	8,217	6,746	10,828	9,928	12,305	11,403	10,412	9,061
100	9,277	8,066	9,047	7,645	11,739	10,940	11,297	10,455	9,112	7,364
120	6,759	4,929	6,625	4,883	12,045	11,124	11,817	10,865	10,950	9,450
140	8,954	7,710	8,796	7,864	11,904	10,987	11,325	10,603	9,678	8,811
160	8,078	6,406	7,572	5,725	12,888	12,221	11,056	10,528	10,612	10,327
180	6,220	4,213	8,539	7,290	11,949	11,348	12,023	11,408	9,864	8,688
200	6,982	5,095	8,842	7,908	11,260	10,773	11,107	10,746	8,201	7,503
220	7,192	5,753	6,108	3,755	11,989	11,011	11,575	10,380	10,402	8,710
240	7,794	6,063	5,993	4,045	11,444	10,636	11,774	10,705	9,683	8,311
40 Гц										
20	10,258	9,298	12,122	11,148	11,007	10,199	11,345	10,569	11,660	11,418
40	8,446	6,700	9,336	8,735	11,107	10,614	11,277	10,547	10,948	10,082
60	8,612	7,155	8,616	7,801	11,513	10,753	10,902	10,112	10,383	9,142
80	7,375	5,611	8,241	6,847	11,068	10,493	10,690	9,879	10,432	9,180
100	7,757	6,124	8,227	7,221	10,688	9,932	10,382	9,317	9,808	8,418
120	6,402	3,837	7,597	6,504	10,479	9,659	10,183	9,170	9,550	8,110
140	7,168	5,268	6,064	3,522	10,205	9,354	10,357	9,289	9,785	8,350
160	6,370	4,425	5,963	4,535	10,595	9,835	10,194	9,105	9,824	8,246
180	7,948	6,484	8,396	7,292	10,720	9,819	10,185	9,017	9,678	9,193
200	7,012	5,811	7,881	6,796	10,953	10,138	10,306	9,390	9,924	8,403
220	6,840	4,979	7,549	6,237	10,911	9,909	10,256	9,213	9,542	8,163
240	6,473	4,882	7,925	7,737	11,191	10,420	10,598	9,632	8,552	7,184
50 Гц										
20	7,359	5,451	9,551	8,372	9,602	8,334	9,589	8,351	10,528	8,108
40	5,638	2,856	8,420	7,351	9,655	8,439	9,356	8,029	9,303	7,725
60	6,054	3,687	8,950	7,847	9,591	8,927	9,079	7,662	8,786	7,325
80	5,867	3,435	7,974	7,048	9,752	8,621	9,804	8,660	8,953	7,657
100	6,622	4,161	7,981	6,710	9,994	7,009	9,779	8,624	9,173	7,838
120	6,072	3,499	8,276	6,808	10,111	9,112	10,031	8,961	9,759	8,317
140	5,361	2,390	6,917	5,313	10,114	8,948	10,125	8,960	10,188	8,797
160	6,387	3,688	8,485	7,266	11,138	10,187	10,156	9,225	9,764	8,338

Продовження таблиці 5.2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
180	5,156	2,625	7,753	7,415	11,313	10,313	10,785	9,778	10,377	8,977
200	5,677	3,186	8,601	6,523	10,922	10,017	10,894	10,094	10,451	9,095
220	6,197	4,439	7,914	6,641	10,916	10,127	10,929	9,854	10,165	8,769
240	4,760	2,224	6,300	4,914	10,759	9,855	10,433	9,338	10,143	8,707
60 Гц										
20	6,152	3,714	9,333	8,560	10,061	8,996	10,212	9,164	10,437	9,378
40	7,792	5,046	8,581	7,026	9,925	8,571	9,900	8,686	8,653	7,342
60	7,780	5,868	7,968	6,311	10,466	9,154	9,599	8,196	9,926	8,292
80	8,773	7,581	8,583	7,418	9,749	8,381	9,420	7,895	9,473	7,846
100	7,701	6,183	9,132	8,102	9,529	8,243	9,903	8,370	9,720	8,132
120	8,727	7,367	8,597	7,518	10,052	8,645	10,292	8,869	9,191	7,743
140	7,496	5,449	8,322	7,185	9,618	8,208	9,189	7,656	9,902	8,182
160	8,139	6,285	8,418	6,850	9,936	8,623	9,293	7,864	9,063	7,308
180	9,056	7,540	9,264	8,158	10,168	8,683	9,810	8,387	9,281	7,749
200	8,375	6,964	9,351	8,082	9,959	8,504	9,315	7,817	10,058	8,613
220	7,876	6,141	7,638	5,811	10,212	8,669	9,461	7,765	10,156	8,614
240	8,372	6,609	8,105	6,433	12,587	10,886	9,569	7,782	13,127	10,778

Таблиця 5.2.2 – Визначення коефіцієнту неоднорідності  $V_c$  в експерименті з дією однієї вібрації

$t$ (сек)	№ Проби					$S$	$V_c$ (%)
	1	2	3	4	5		
	Концентрація бісеру (%)						
1	2	3	4	5	6	7	8
25 Гц							
20	0,845	0,684	0,935	0,997	1,000	0,252	36,042
40	0,731	0,688	0,827	0,936	0,998	0,201	28,764
60	0,910	0,851	0,839	0,889	0,945	0,213	30,490
80	0,840	0,806	0,861	0,849	0,897	0,171	24,471
100	0,610	0,781	0,838	0,842	0,918	0,159	22,712
120	0,825	0,931	0,890	0,881	0,920	0,216	30,855
140	0,898	0,946	0,848	0,844	0,917	0,217	31,071
160	0,957	0,777	0,859	0,857	0,902	0,202	28,788
180	0,885	0,631	0,682	0,833	0,915	0,161	22,947
200	0,733	0,691	0,852	0,836	0,896	0,142	20,317
220	0,725	0,685	0,847	0,866	0,887	0,146	20,850
240	0,834	0,483	0,852	0,824	0,887	0,186	26,572

## Продовження таблиці 5.2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
30 Гц							
20	0,981	0,913	0,910	0,861	0,918	0,246	35,130
40	0,950	0,861	0,914	0,877	0,818	0,212	30,259
60	0,756	0,652	0,910	0,862	0,772	0,142	20,311
80	0,753	0,501	0,888	0,853	0,809	0,168	24,024
100	0,758	0,613	0,887	0,854	0,834	0,148	21,166
120	0,399	0,822	0,889	0,856	0,937	0,235	33,598
140	0,905	0,796	0,894	0,848	0,814	0,176	25,100
160	0,870	0,633	0,875	0,839	0,805	0,154	21,983
180	0,692	0,606	0,894	0,843	0,799	0,138	19,772
200	0,829	0,734	0,878	0,870	0,828	0,154	21,971
220	0,878	0,861	0,908	0,880	0,830	0,194	27,700
240	0,687	0,700	0,882	0,836	0,809	0,126	18,040
35 Гц							
20	0,948	0,923	0,920	0,935	0,931	0,259	37,014
40	0,524	0,700	0,942	0,968	0,868	0,218	31,095
60	0,850	0,905	0,937	0,933	0,869	0,226	32,229
80	0,697	0,789	0,906	0,918	0,852	0,174	24,865
100	0,849	0,820	0,924	0,916	0,777	0,187	26,666
120	0,667	0,675	0,915	0,910	0,845	0,168	23,996
140	0,838	0,876	0,914	0,928	0,897	0,216	30,881
160	0,755	0,707	0,943	0,946	0,970	0,221	31,555
180	0,596	0,828	0,944	0,943	0,863	0,208	29,668
200	0,670	0,877	0,951	0,963	0,899	0,226	32,297
220	0,757	0,515	0,909	0,884	0,815	0,179	25,590
240	0,735	0,589	0,921	0,898	0,837	0,174	24,795
40 Гц							
20	0,893	0,910	0,917	0,923	0,977	0,253	36,077
40	0,757	0,926	0,950	0,927	0,911	0,231	32,933
60	0,802	0,889	0,926	0,918	0,864	0,207	29,595
80	0,712	0,800	0,941	0,914	0,864	0,188	26,823
100	0,749	0,856	0,920	0,883	0,837	0,178	25,495
120	0,501	0,828	0,911	0,886	0,826	0,194	27,759
140	0,678	0,471	0,905	0,883	0,832	0,191	27,251
160	0,620	0,696	0,919	0,878	0,816	0,158	22,521
180	0,781	0,845	0,905	0,869	0,942	0,198	28,303
200	0,791	0,836	0,916	0,899	0,824	0,179	25,605

Продовження таблиці 5.2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
60 Гц							
20	0,502	0,904	0,879	0,883	0,885	0,212	30,356
40	0,580	0,788	0,844	0,860	0,823	0,144	20,618
60	0,707	0,753	0,858	0,832	0,811	0,120	17,123
80	0,841	0,841	0,839	0,813	0,802	0,143	20,496
100	0,764	0,869	0,845	0,823	0,812	0,143	20,369
120	0,818	0,853	0,840	0,842	0,817	0,151	21,547
140	0,672	0,839	0,831	0,807	0,801	0,121	17,344
160	0,731	0,781	0,849	0,822	0,775	0,112	15,999
180	0,806	0,862	0,833	0,834	0,809	0,146	20,807
200	0,802	0,843	0,833	0,814	0,836	0,141	20,195
220	0,738	0,714	0,828	0,793	0,827	0,103	14,753
240	0,752	0,756	0,850	0,785	0,802	0,107	15,308

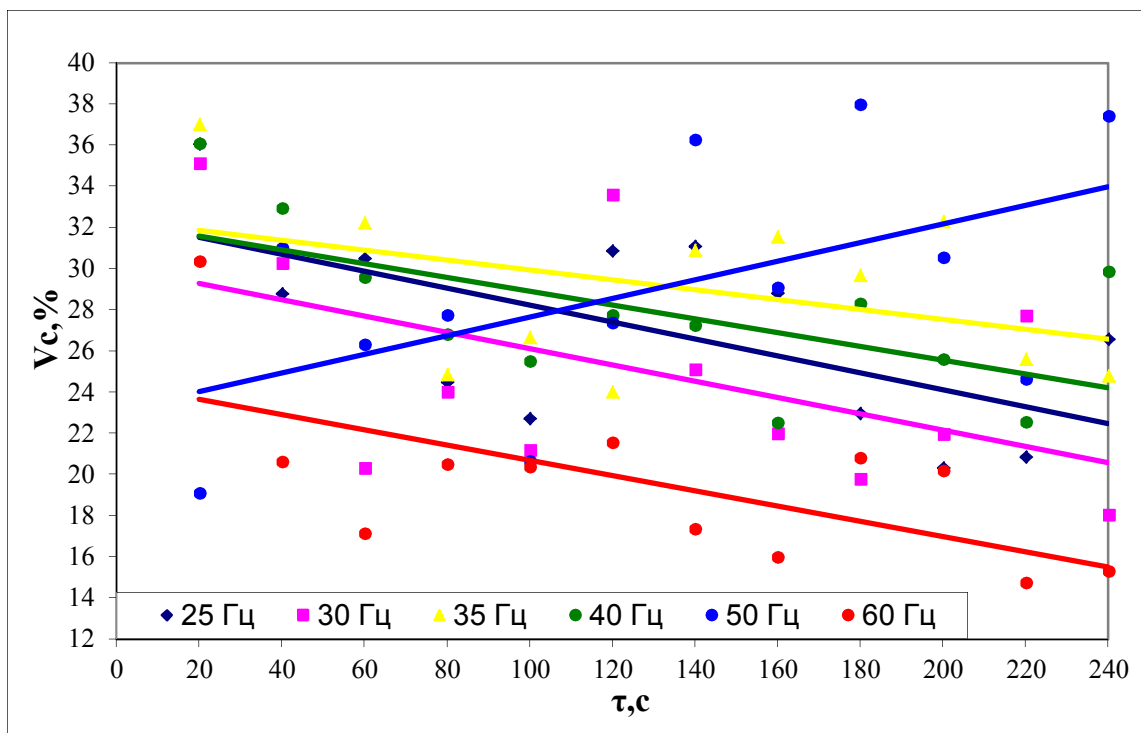


Рисунок 5.2.1 – Залежність коефіцієнта неоднорідності від часу змішування для всіх експериментальних частот (діє тільки вібрація).

Таблиця 5.2.3 – Вага проб в експерименті з дією однієї мішалки

<i>t</i> (сек)	№ Проби									
	1		2		3		4		5	
	Вага загальна (зг) та вага скляного бісеру (б) (гр.)*									
	зг	б	зг	б	зг	б	зг	б	зг	б
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
20	11,682	10,471	8,931	7,295	10,189	9,061	9,913	8,672	10,651	9,450
40	9,720	8,425	9,119	7,836	10,344	9,095	10,191	9,215	10,634	9,611
60	10,139	9,175	7,486	5,633	10,844	9,718	10,468	9,462	10,268	9,230
80	10,210	9,242	6,757	4,462	10,823	9,785	10,754	9,813	10,349	9,390
100	10,852	9,736	6,286	3,721	10,486	9,281	10,410	9,322	10,251	9,308
120	10,744	9,653	6,680	4,485	11,320	10,601	11,665	10,975	10,900	10,046
140	10,108	9,114	6,366	4,092	11,223	10,481	11,240	10,732	10,868	9,890
160	10,275	9,180	6,875	5,245	10,638	9,425	10,479	9,533	10,502	9,394
180	10,525	9,400	6,018	3,592	10,576	9,491	10,851	9,921	10,733	9,584
200	10,383	9,258	7,678	5,884	10,619	9,734	11,463	10,767	12,023	10,931
220	9,936	8,691	8,310	7,000	10,833	9,678	11,177	10,252	10,202	9,131
240	10,283	8,917	4,379	2,729	9,989	8,728	10,625	9,746	9,838	8,866

Таблиця 5.2.4 – Визначення коефіцієнту неоднорідності  $V_c$  в експерименті з дією однієї мішалки

<i>t</i> (сек)	№ Проби					<i>S</i>	$V_c$ (%)
	1	2	3	4	5		
	Концентрація бісеру (%)						
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
20	0,884	0,787	0,874	0,857	0,872	0,177	25,319
40	0,847	0,837	0,863	0,891	0,891	0,187	26,682
60	0,891	0,702	0,883	0,891	0,885	0,187	26,775
80	0,892	0,583	0,891	0,901	0,895	0,203	29,054
100	0,884	0,490	0,869	0,881	0,895	0,211	30,093
120	0,885	0,595	0,929	0,934	0,911	0,222	31,684
140	0,888	0,555	0,926	0,949	0,898	0,228	32,618
160	0,879	0,710	0,871	0,897	0,880	0,182	26,003
180	0,879	0,490	0,884	0,903	0,879	0,214	30,534
200	0,877	0,721	0,905	0,932	0,899	0,204	29,191
220	0,857	0,814	0,879	0,907	0,880	0,190	27,195
240	0,849	0,471	0,856	0,906	0,887	0,210	29,964



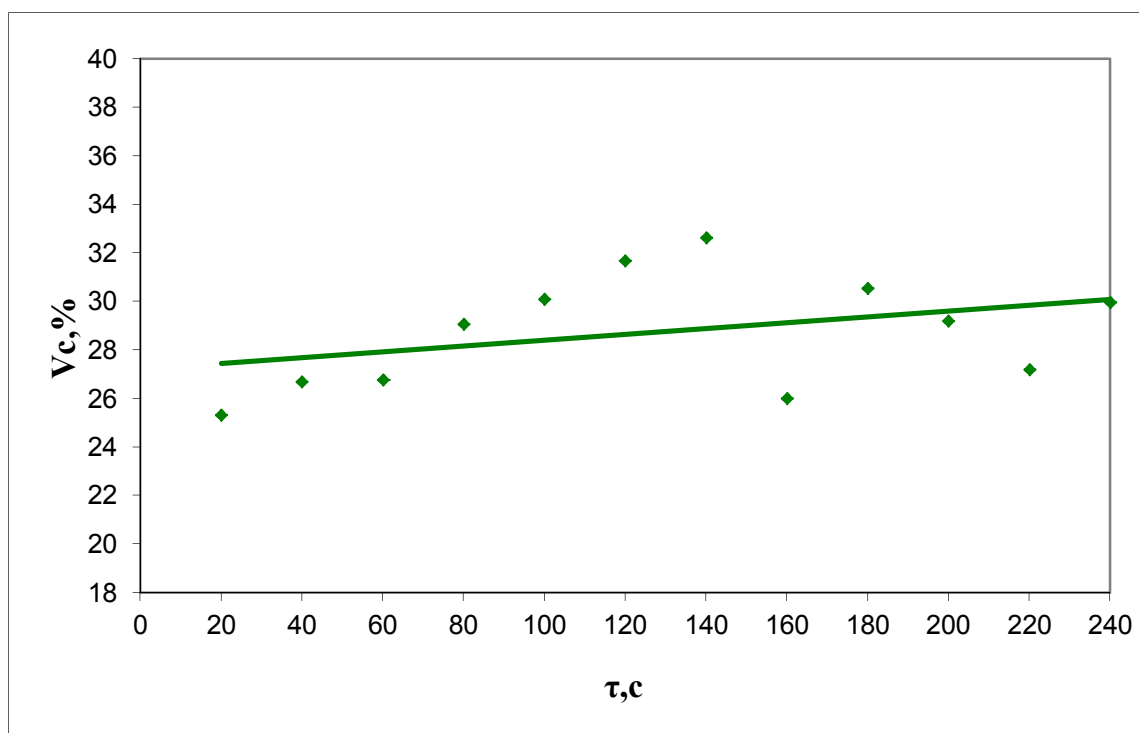


Рисунок 5.2.2 – Залежність коефіцієнта неоднорідності від часу змішування з дією однієї мішалки

Таблиця 5.2.5 – Вага проб в експерименті з дією вібрації та мішалки

t (сек)	№ Проби									
	1		2		3		4		5	
	Вага загальна (зг) та вага скляного бісеру (б) (гр.)*									
	зг	б	зг	б	зг	б	зг	б	зг	б
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
25 Гц										
20	10,767	10,013	8,519	7,356	10,938	10,073	10,872	10,201	12,588	11,638
40	11,419	10,837	11,553	11,284	10,18	9,455	11,168	10,463	10,621	9,829
60	10,992	10,405	10,088	9,326	10,749	10,152	11,404	10,976	11,568	10,979
80	11,057	10,429	8,036	6,743	11,336	10,832	11,244	10,64	11,299	10,656
100	10,506	9,749	6,511	4,578	10,911	10,344	10,723	10,399	10,745	10,131
120	10,508	9,77	10,224	9,845	10,704	10,077	10,446	9,827	10,958	10,178
140	10,232	9,547	9,529	8,665	10,141	9,36	11,371	10,939	11,267	10,301
160	11,464	10,872	7,629	6,03	10,591	9,837	10,429	9,87	10,245	9,28
180	10,382	9,724	8,639	7,352	10,137	9,422	10,757	9,895	10,533	9,657
200	9,612	8,723	8,21	6,771	10,042	9,23	10,276	9,476	10,142	9,297
220	10,048	9,411	9,523	8,895	10,128	9,133	10,297	9,48	9,881	8,931
240	9,99	9,299	6,235	3,474	10,173	9,246	10,437	9,69	10,363	9,473

\* Вага загальна та вага скляного бісеру разом з вагою вимірювального пластикового стаканчика (m=1,258 гр.)

## Продовження таблиці 5.2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
30 Гц										
20	9,933	9,226	10,745	10,381	11,098	10,323	10,633	9,921	10,642	9,958
40	11,476	10,872	10,893	10,619	10,539	9,807	10,514	9,904	11,131	10,443
60	10,775	10,231	10,665	10,432	10,662	9,969	11,077	10,735	10,982	10,298
80	10,991	10,441	8,987	7,977	11,156	10,436	10,738	10,150	10,678	10,031
100	10,951	10,302	9,228	8,409	10,757	9,878	10,786	9,968	10,423	9,366
120	10,072	9,280	5,387	5,060	11,158	10,383	11,387	10,731	10,258	9,478
140	12,083	11,429	10,136	9,324	10,315	9,401	10,604	9,724	10,542	9,690
160	9,973	9,317	10,076	9,299	10,073	9,178	10,585	9,810	11,282	10,438
180	10,368	9,394	9,747	8,828	10,370	9,577	10,056	9,199	10,192	9,203
200	9,452	8,703	9,359	8,433	10,796	9,830	10,549	9,526	9,757	8,639
220	10,054	9,018	8,917	7,860	10,843	9,910	10,894	9,932	10,467	9,482
240	9,975	8,836	9,405	8,485	10,190	9,189	10,371	9,469	10,461	9,345
35 Гц										
20	10,344	9,520	11,491	11,170	10,632	9,862	10,990	10,168	10,204	9,365
40	9,733	9,014	9,844	9,262	10,700	10,030	11,113	10,526	10,581	9,849
60	10,453	9,634	10,206	9,595	10,311	9,507	10,830	9,887	10,644	9,646
80	9,836	8,910	10,836	10,491	10,756	9,781	11,020	10,277	10,132	9,378
100	9,991	9,111	9,165	8,467	10,009	9,094	10,920	10,088	11,314	10,437
120	9,609	8,630	9,874	9,072	9,715	8,668	9,634	8,348	10,001	9,210
140	11,108	10,085	10,043	9,251	9,774	8,143	9,637	8,489	9,565	8,103
160	9,814	8,839	10,281	9,705	10,110	9,113	9,803	8,355	9,599	8,273
180	10,140	8,788	9,638	9,028	9,485	8,275	10,130	8,789	9,838	8,279
200	9,806	8,825	10,280	9,704	10,005	9,008	9,799	8,350	9,596	8,130
220	9,741	8,724	10,261	9,574	9,961	8,489	9,359	8,085	9,675	8,045
240	10,286	8,917	9,856	9,328	9,554	8,137	9,606	8,083	9,827	8,628
40 Гц										
20	10,804	10,137	11,892	11,472	10,201	9,123	10,131	8,857	10,175	9,015
40	9,995	9,196	8,946	7,820	9,803	8,477	9,850	8,758	10,261	9,260
60	9,781	8,977	11,157	10,963	10,778	10,031	9,816	8,425	10,399	9,388
80	10,143	9,201	10,562	10,174	10,053	8,729	10,323	8,838	9,782	8,456
100	10,105	9,075	10,829	10,410	10,182	8,833	9,751	8,370	9,910	7,778
120	11,065	10,207	11,240	11,081	9,542	8,029	9,887	8,364	9,959	8,681
140	9,906	8,996	10,124	9,468	10,170	8,943	9,983	8,556	10,085	8,574
160	9,093	7,725	10,516	10,147	9,801	8,313	9,864	8,449	9,873	8,321
180	9,582	8,795	8,561	7,671	10,248	8,791	10,102	8,649	9,672	8,234
200	8,526	7,089	10,999	10,170	9,805	8,095	9,945	8,381	10,385	8,937
220	9,998	9,092	10,070	9,663	10,114	8,661	11,062	9,998	9,631	8,244
240	10,116	9,284	10,719	10,267	10,591	9,402	9,922	8,316	9,895	8,447

## Продовження таблиці 5.2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
50 Гц										
20	10,113	9,334	9,537	8,891	10,661	9,447	9,978	8,595	9,440	7,918
40	9,443	8,412	10,209	9,358	10,397	9,402	10,414	8,967	10,729	9,603
60	10,010	9,093	10,004	9,482	9,703	8,542	10,352	9,163	10,104	9,103
80	9,825	8,965	10,776	10,452	10,239	8,816	9,870	8,372	10,424	9,285
100	9,936	8,930	10,855	10,460	9,771	8,334	10,054	8,638	10,123	8,782
120	9,983	9,030	6,524	4,656	10,298	9,356	9,835	8,582	10,427	9,314
140	10,648	9,766	10,253	9,293	10,871	9,858	10,934	10,022	10,377	9,161
160	11,041	9,922	11,456	11,036	10,441	9,084	10,344	8,976	10,334	9,155
180	10,489	9,275	10,208	9,309	10,501	9,304	9,866	8,387	10,332	8,978
200	10,178	9,021	10,581	10,232	10,147	8,793	10,010	8,447	10,305	8,924
220	10,329	9,303	10,735	9,938	10,442	8,999	10,719	9,281	11,488	9,845
240	10,104	9,069	10,145	9,245	10,502	9,153	10,532	8,946	10,835	9,447
60 Гц										
20	10,144	8,793	9,807	8,830	9,503	7,874	10,718	9,330	9,867	8,310
40	9,752	8,939	10,155	9,319	9,881	8,215	10,180	8,881	10,065	8,546
60	9,629	8,493	9,872	8,643	9,879	8,266	9,965	8,427	10,702	9,257
80	10,316	9,118	9,060	7,958	9,873	8,561	10,187	8,751	10,243	8,540
100	9,750	8,508	10,445	9,865	9,875	8,393	10,060	8,655	10,216	8,663
120	9,455	8,188	9,944	8,803	10,070	8,396	9,996	8,423	10,210	8,717
140	10,037	8,917	9,705	8,570	9,827	8,142	10,171	8,662	10,055	8,403
160	9,957	8,901	9,198	7,858	9,710	8,118	9,600	7,980	9,909	8,441
180	9,043	7,603	9,847	8,737	10,350	8,847	10,128	8,774	9,867	8,313
200	9,360	8,253	9,736	8,850	9,434	7,664	10,288	8,663	10,469	8,934
220	9,511	8,449	10,177	8,980	9,982	8,611	10,475	8,864	10,404	8,530
240	10,102	8,750	10,450	9,875	9,103	7,480	10,200	8,881	10,213	8,670

Таблиця 5.2.6 – Визначення коефіцієнту неоднорідності  $V_c$  в експерименті з дією вібрації та мішалки

$t$ (сек)	№ Проби					$S$	$V_c$ (%)
	1	2	3	4	5		
	Концентрація бісеру (%)						
1	2	3	4	5	6	7	8
25 Гц							
20	0,921	0,840	0,911	0,930	0,916	0,230	32,915
40	0,943	0,974	0,919	0,929	0,915	0,265	37,833
60	0,940	0,914	0,937	0,958	0,943	0,267	38,118
80	0,936	0,809	0,950	0,940	0,936	0,247	35,220
100	0,918	0,632	0,941	0,966	0,935	0,243	34,730

## Продовження таблиці 5.2.6

1	2	3	4	5	6	7	8
120	0,920	0,958	0,934	0,933	0,920	0,261	37,241
140	0,924	0,896	0,912	0,957	0,903	0,245	35,054
160	0,942	0,749	0,919	0,939	0,893	0,225	32,203
180	0,928	0,826	0,919	0,909	0,906	0,225	32,096
200	0,894	0,793	0,908	0,911	0,905	0,210	29,951
220	0,928	0,924	0,888	0,910	0,890	0,233	33,289
240	0,921	0,445	0,896	0,919	0,902	0,245	35,052
30 Гц							
20	0,918	0,962	0,921	0,924	0,927	0,258	36,903
40	0,941	0,972	0,921	0,934	0,930	0,269	38,367
60	0,943	0,975	0,926	0,965	0,930	0,278	39,705
80	0,943	0,869	0,927	0,938	0,931	0,250	35,696
100	0,933	0,897	0,907	0,914	0,885	0,232	33,213
120	0,910	0,921	0,922	0,935	0,913	0,246	35,204
140	0,940	0,909	0,899	0,906	0,908	0,238	33,975
160	0,925	0,912	0,898	0,917	0,916	0,239	34,137
180	0,893	0,892	0,913	0,903	0,889	0,222	31,645
200	0,909	0,886	0,899	0,890	0,868	0,213	30,465
220	0,882	0,862	0,903	0,900	0,893	0,211	30,122
240	0,869	0,887	0,888	0,901	0,879	0,207	29,566
35 Гц							
20	0,909	0,969	0,918	0,916	0,906	0,251	35,886
40	0,915	0,932	0,929	0,940	0,921	0,255	36,389
60	0,911	0,932	0,911	0,901	0,894	0,235	33,570
80	0,892	0,964	0,897	0,924	0,915	0,246	35,129
100	0,899	0,912	0,895	0,914	0,913	0,231	33,023
120	0,883	0,907	0,876	0,846	0,910	0,208	29,676
140	0,896	0,910	0,808	0,863	0,824	0,185	26,362
160	0,886	0,936	0,887	0,831	0,841	0,202	28,786
180	0,848	0,927	0,853	0,849	0,818	0,182	26,049
200	0,885	0,936	0,886	0,830	0,824	0,198	28,310
220	0,880	0,924	0,831	0,843	0,806	0,181	25,880
240	0,848	0,939	0,829	0,818	0,860	0,184	26,251
40 Гц							
20	0,930	0,961	0,879	0,856	0,870	0,227	32,448
40	0,909	0,854	0,845	0,873	0,889	0,196	27,992
60	0,906	0,980	0,922	0,837	0,889	0,237	33,864
80	0,894	0,958	0,849	0,836	0,844	0,204	29,110
100	0,884	0,956	0,849	0,837	0,754	0,189	27,034
120	0,913	0,984	0,817	0,823	0,853	0,211	30,163

## Продовження таблиці 5.2.6

1	2	3	4	5	6	7	8
140	0,895	0,926	0,862	0,836	0,829	0,194	27,717
160	0,825	0,960	0,826	0,836	0,820	0,182	25,948
180	0,905	0,878	0,838	0,836	0,829	0,179	25,559
200	0,802	0,915	0,800	0,820	0,841	0,159	22,699
220	0,896	0,954	0,836	0,891	0,834	0,210	29,979
240	0,906	0,952	0,873	0,815	0,832	0,204	29,148
50 Гц							
20	0,912	0,922	0,871	0,841	0,814	0,198	28,249
40	0,874	0,905	0,891	0,842	0,881	0,201	28,728
60	0,895	0,940	0,863	0,869	0,887	0,216	30,791
80	0,900	0,966	0,842	0,826	0,876	0,211	30,084
100	0,884	0,959	0,831	0,839	0,849	0,200	28,530
120	0,891	0,645	0,896	0,854	0,879	0,183	26,080
140	0,906	0,893	0,895	0,906	0,867	0,217	30,954
160	0,886	0,959	0,852	0,849	0,870	0,210	29,955
180	0,868	0,900	0,870	0,828	0,851	0,185	26,384
200	0,870	0,963	0,848	0,821	0,847	0,198	28,230
220	0,887	0,916	0,843	0,848	0,839	0,189	27,038
240	0,883	0,899	0,854	0,829	0,855	0,185	26,476
60 Гц							
20	0,848	0,886	0,802	0,853	0,819	0,162	23,097
40	0,904	0,906	0,807	0,854	0,828	0,184	26,311
60	0,864	0,857	0,813	0,823	0,847	0,159	22,735
80	0,868	0,859	0,848	0,839	0,810	0,163	23,334
100	0,854	0,937	0,828	0,840	0,827	0,182	25,938
120	0,845	0,869	0,810	0,820	0,833	0,153	21,880
140	0,872	0,866	0,803	0,831	0,812	0,156	22,305
160	0,879	0,831	0,812	0,806	0,830	0,150	21,399
180	0,815	0,871	0,835	0,847	0,819	0,155	22,191
200	0,863	0,895	0,784	0,820	0,833	0,161	23,042
220	0,871	0,866	0,843	0,825	0,795	0,160	22,808
240	0,847	0,937	0,793	0,852	0,828	0,178	25,380

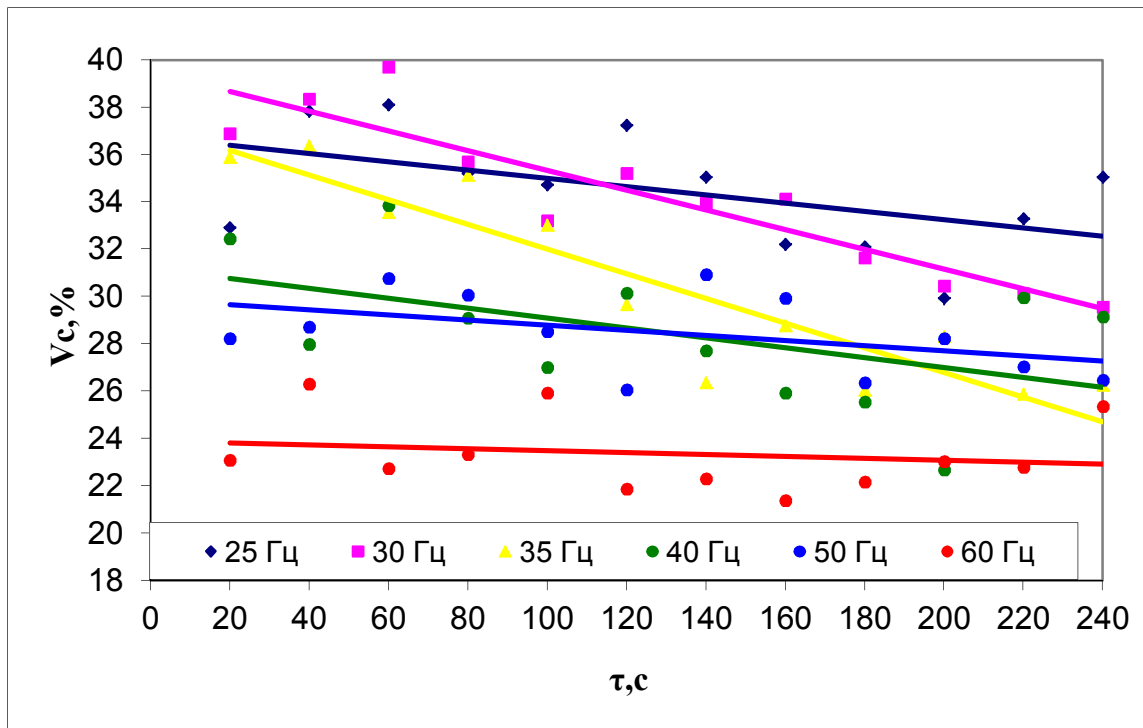


Рисунок 5.2.3 – Залежність коефіцієнта неоднорідності від часу змішування для всіх експериментальних частот з дією вібрації і мішалки.

На рисунках 5.2.1 - 5.2.3 прямими вказані лінії якими апроксимовані дані по методу найменших квадратів відповідно до рівняння:

$$V_c = m \cdot \tau + b \quad (5.2.1)$$

де  $m$  - кут нахилу;

$b$  - координата перетину ординати.

Ці прямі лінії дозволяють графічно відображувати тенденції даних і прогнозувати їх подальші зміни. Подібний аналіз називається також регресійним аналізом.

Далі в таблиці 5.2.7 приводяться рівняння прямих.

Таблиця 5.2.7 – Рівняння апроксимованих даних

	вібрація	вібрація + мішалка	мішалка
25	$V_c = -0,0412 \cdot \tau + 32,349$	$V_c = -0,0175 \cdot \tau + 36,747$	$V_c = 0,0012 \cdot \tau + 27,198$
30	$V_c = -0,0396 \cdot \tau + 30,074$	$V_c = -0,0417 \cdot \tau + 39,499$	
35	$V_c = -0,0241 \cdot \tau + 32,355$	$V_c = -0,0522 \cdot \tau + 37,234$	
40	$V_c = -0,0335 \cdot \tau + 32,258$	$V_c = -0,021 \cdot \tau + 31,199$	
50	$V_c = 0,0453 \cdot \tau + 23,124$	$V_c = -0,0108 \cdot \tau + 29,867$	
60	$V_c = -0,0372 \cdot \tau + 24,407$	$V_c = -0,0041 \cdot \tau + 23,895$	

## Визначення похибки вимірювання

Для визначення похибки вимірювання дослід з мішалкою для 120 секунд повторюємо ще 9 раз. Дослідні данні зводяться у таблиці та розраховуємо похибку.

Таблиця 5.2.8 – Вага проб в експерименті з дією мішалки при  $t=120$  сек.

	№ Проби									
	1		2		3		4		5	
	Вага загальна (зг) та вага скляного бісеру (б), гр.									
	зг	б	зг	б	зг	б	зг	б	зг	б
1	10,123	9,000	11,106	9,825	10,494	9,144	10,649	9,356	10,847	9,409
2	9,434	8,440	9,411	8,313	9,810	8,430	10,000	8,796	10,369	8,965
3	9,289	8,228	9,916	9,077	10,117	8,936	9,111	7,344	9,488	8,039
4	10,007	8,991	10,097	9,467	10,186	8,915	10,030	8,804	10,388	9,119
5	10,223	9,260	9,900	8,930	10,447	9,171	10,498	9,435	10,111	8,735
6	10,744	9,653	6,680	4,485	11,320	10,601	11,665	10,975	10,900	10,046
7	9,955	8,771	8,910	7,474	9,619	8,102	10,075	8,630	9,906	8,349
8	9,440	8,446	9,500	8,415	9,901	8,430	9,898	8,631	10,701	9,511
9	10,323	9,359	9,925	8,523	10,512	9,221	10,405	9,387	10,365	9,026
10	10,212	9,198	9,667	8,555	10,157	8,893	9,998	8,902	10,487	9,224

Таблиця 5.2.9 – Визначення коефіцієнту неоднорідності  $V_c$  в експерименті з дією мішалки при  $t=120$  сек.

№ досліду	№ Проби					S	$V_c$ (мм)
	1	2	3	4	5		
	Концентрація бісеру (%)						
1	0,873	0,870	0,854	0,862	0,850	0,181	25,895
2	0,878	0,865	0,839	0,862	0,846	0,177	25,355
3	0,868	0,903	0,867	0,775	0,824	0,172	24,557
4	0,884	0,929	0,858	0,860	0,861	0,202	28,800
5	0,893	0,888	0,861	0,885	0,845	0,196	27,977
6	0,885	0,595	0,929	0,934	0,911	0,222	31,684
7	0,864	0,812	0,819	0,836	0,820	0,147	21,000
8	0,879	0,868	0,830	0,853	0,874	0,181	25,837
9	0,894	0,838	0,860	0,889	0,853	0,188	26,857
10	0,887	0,868	0,858	0,875	0,863	0,190	27,206

Таблиця 5.2.10 – Визначення похибки при проведенні дослідів для вимірювання коефіцієнта неоднорідності

№ досліду	$V_c$ (%)	M	$\alpha$	$\alpha^2$	$\Sigma\alpha^2$	$\sigma$ (%)
1	25,895	26,517	0,622	0,387	71,110	2,811
2	25,355		1,162	1,350		
3	24,557		1,960	3,842		
4	28,800		-2,283	5,212		
5	27,977		-1,460	2,132		
6	31,684		-5,167	26,698		
7	21,000		5,517	30,437		
8	25,837		0,680	0,462		
9	26,857		-0,340	0,116		
10	27,206		-0,689	0,475		



### 5.3 Визначення фізико-механічних властивостей

Таблиця 5.3.1 – Кут природного укосу  $\varphi$

	Поліетілен				Скляний бісер				
	$R$ (мм)	$h$ (мм)	$\varphi$	$\varphi_{cp}$	$R$ (мм)	$r$ (мм)	$h$ (мм)	$\varphi$	$\varphi_{cp}$
1	66,5	31	24,99	26,322	73,5	39	19	28,84	30,247
2	66,5	31	24,99		72,5	39	22	33,29	
3	66	32	25,87		75	41	20	30,47	
4	63,5	34	28,17		76	40	20	29,05	
5	64	35	28,67		74,5	40	19	28,84	
6	65	31	25,5		75	41	20	30,47	
7	66,5	32	24,99		74	40	20	30,47	
8	66	32	25,87		75	41	20	30,47	
9	64	35	28,67		75,5	41	20	30,1	
10	65	31	25,5		75	41	20	30,47	

Визначення похибки вимірювання

Таблиця 5.3.2 – Визначення похибки при проведенні дослідів вимірювання кута природного укосу

	Поліетілен				Скляний бісер			
	$\varphi$	$M$ (мм)	$\alpha^2$	$\sigma$ (%)	$\varphi$	$M$ (мм)	$\alpha^2$	$\sigma$ (%)
1	24,99	26,322	1,774	1,546	28,84	30,247	1,980	1,288
2	24,99		1,774		33,29	30,247	9,260	
3	25,87		0,204		30,47	30,247	0,050	
4	28,17		3,415		29,05	30,247	1,433	
5	28,67		5,513		28,84	30,247	1,980	
6	25,5		0,676		30,47	30,247	0,050	
7	24,99		1,774		30,47	30,247	0,050	
8	25,87		0,204		30,47	30,247	0,050	
9	28,67		5,513		30,1	30,247	0,022	
10	25,5		0,676		30,47	30,247	0,050	

Таблиця 5.3.3 – Насипна вага

	Поліетілен			Скляний бісер		
	$m$ (кг)	$m_{cp}$ (кг)	$P_n$ (Н/м <sup>3</sup> )	$m$ (кг)	$m_{cp}$ (кг)	$P_n$ (Н/м <sup>3</sup> )
1	0,280	0,282	5527,2	0,782	0,775	15194,9
2	0,285			0,772		
3	0,280			0,767		
4	0,285			0,772		
5	0,280			0,767		
6	0,280			0,770		
7	0,280			0,787		
8	0,285			0,782		
9	0,280			0,777		
10	0,285			0,777		

Таблиця 5.3.4 – Визначення середнього розміру часток поліетилену

	$a_1$ (мм)	$a_2$ (мм)	$a_3$ (мм)	$a$ (мм)	$a_{cp}$ (мм)
1	4,4	2,9	2,8	3,29	3,24
2	4,2	2,9	2,7	3,20	
3	3,8	3,0	2,7	3,13	
4	4,3	3,1	2,9	3,38	
5	5,3	3,0	2,5	3,41	
6	4,3	3,3	2,5	3,29	
7	4,2	2,7	2,8	3,17	
8	4,5	2,8	2,7	3,24	
9	3,8	3,0	2,5	3,05	
10	3,6	3,2	2,8	3,18	

#### 5.4 Аналіз результатів досліджень

Отримані експериментальні дані дають можливість наочно оцінити характер (тенденцію) якості змішення протягом часу, а також залежність коефіцієнта неоднорідності від зміни параметрів коливання.

1. Дослідження показали, що при дії на модельну суміш однією вібрацією (рисунок 5.2.1) коефіцієнт неоднорідності трохи зменшується, але потім зростає. Особливо наочно це видно при частоті 50 Гц. Таке явище можна пояснити тим, що в апараті одночасно відбувається два процеси змішування і розділення. При таких параметрах коливань в апараті переважає процес

розділення. А при частоті 60 Гц, процес змішування вирівнюється і показує вельми добрий результат протягом часу.

2. При дії на суміш перемішуючого пристрою з часом спостерігається збільшення коефіцієнта неоднорідності (рисунок 5.2.2). Пояснюється це конструктивним фактором – між лопатями мішалки і модельним апаратом є якийсь простір, де в процесі матеріал скупчується і погано перемішується.

3. Порівнюючи рисунки 5.2.1 та 5.2.3, можна зробити висновок, що експериментальні дані мають менший розкид, криві мають ефект «згладжування». Прямі лінії мають менший кут нахилу, тобто інтенсивність до збільшення якості змішення зменшується. Цікавим є випадок при частоті коливань модельного апарату 35 Гц. Спостерігається дуже швидкий темп зниження коефіцієнта неоднорідності. Випадок необхідно випробувати на проміжку часу більше 4 хв.

4. Аналізуючи рівняння апроксимованих даних можна твердити, що коефіцієнт  $m$  указує швидкість змінення коефіцієнту неоднорідності в досліджуваному діапазоні та в першому приближенні може розглядатися як інтенсивність процесу перемішування (при  $m < 0$ ) та розділення (при  $m > 0$ ).

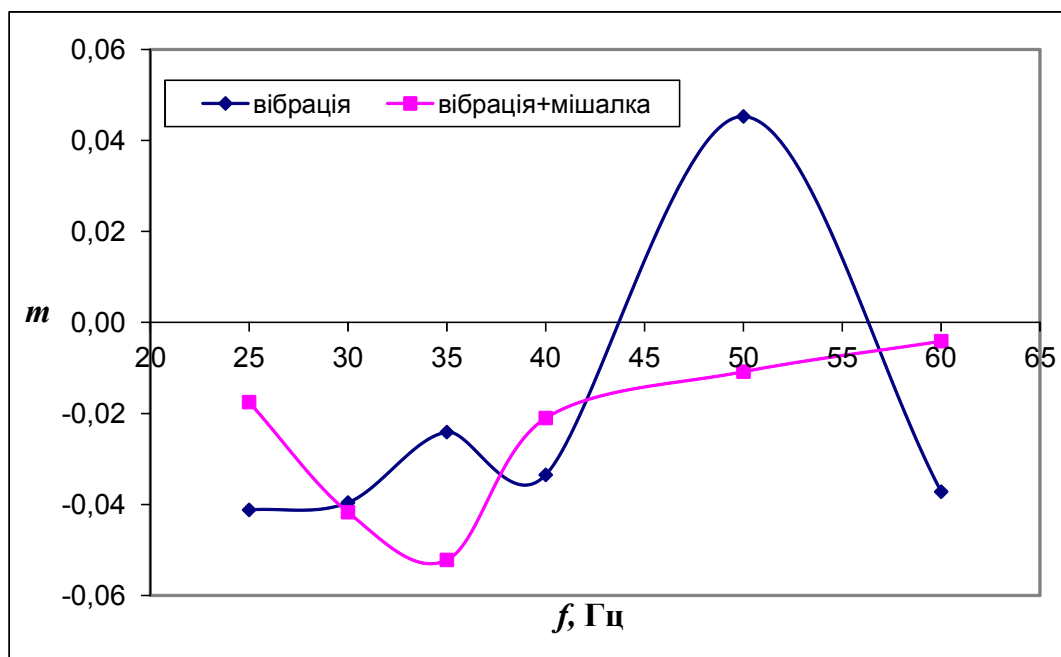


Рисунок 5.4.1 - Зміна коефіцієнта  $m$  від зміни частоти коливань.

З рисунку 5.4.1 добре видно які області дослідження мають інтенсивну поведінку. Також можна побачити що вібраційна крива має дуже змінний характер і це характерно для вібрації. Крива спільної дії вібрації та мішалки має більш чітку та стабільну поведінку.

5. Коефіцієнт  $b$  впливає на абсолютні значення коефіцієнту неоднорідності, тобто відповідає за якість змішування. Якщо подивитись на рисунок 5.3.1-5.3.3 то бачимо що  $b$  – це відправна координата процесу при будь-якій частоті коливань. На коефіцієнт впливає багато чинників – фізико-механічні властивості, конструктивні особливості апарату та інше. Саме вплив конструктивного фактору можна побачити на рисунку 5.4.2, де пряма вібрацію + мішалка розташована вище за пряму вібрації.

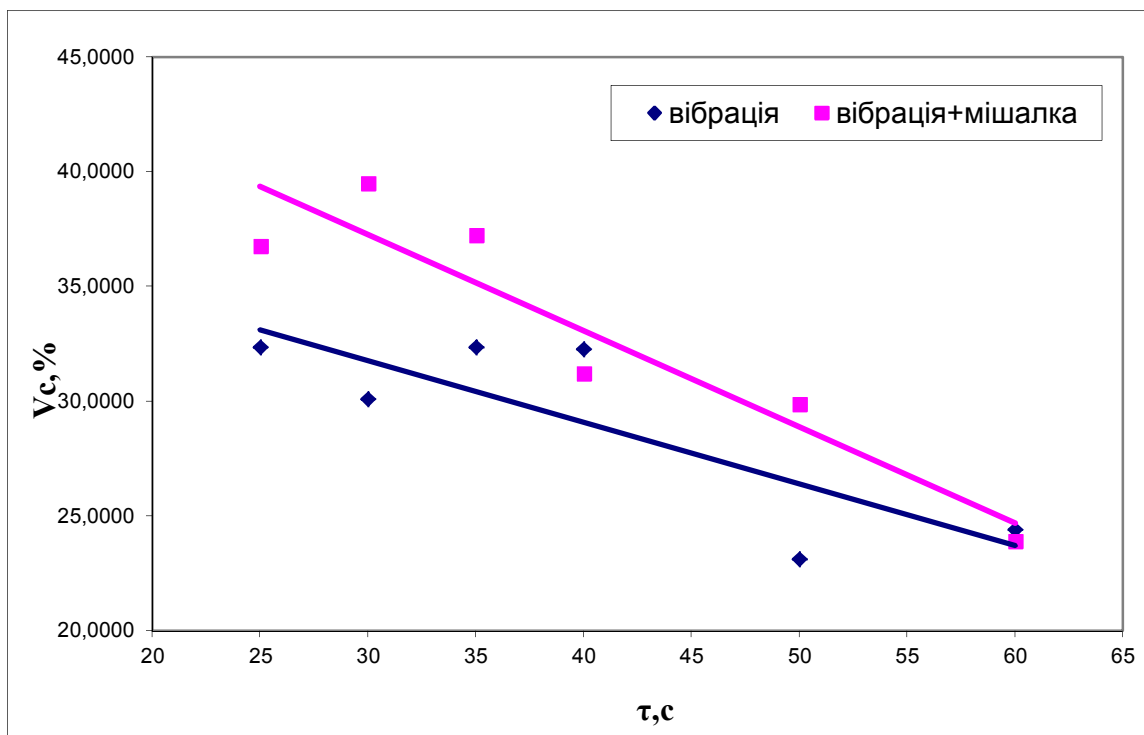


Рисунок 5.4.2 – Зміна коефіцієнта  $b$  від зміни частоти коливань.

Рисунок 5.4.2 наочно демонструє що з збільшенням частоти вплив фактора  $b$  зменшується.

## **6 Техніка безпеки при роботі в лабораторії**

До роботи з електроприладами допускаються особи, що проходили інструктажі, навчання і перевірку знань по питаннях охорони праці і що мають групу по електробезпеці не нижче 2.

Студенти, що беруть участь в НДРС, допускаються до виконання робіт тільки в присутності і під безпосереднім керівництвом викладача, ведучого НДРС.

Забороняється працювати в лабораторії в нетверезому стані, вживати алкогольні напої, наркотичні і токсичні речовини під час роботи і після закінчення роботи на території інституту.

Спецодяг і інші засоби індивідуального захисту повинні зберігатися в спеціально відведеному місці. Забороняється знаходитися в лабораторії у верхньому одязі і класти одяг на випробувальні установки, прилади і обладнання.

При роботі в лабораторії необхідно дотримувати правила особистої гігієни. Забороняється приймати їжу на робочому місці.

У лабораторії має бути аптечка для надання першої допомоги при порізі, опіку і інших нещасних випадках.

Для гасіння можливих загорянь і пожеж лабораторія має бути оснащена необхідними засобами пожежогасіння (вогнегасник, ящик з піском).

### **Вимоги безпеки перед початком роботи**

Перед початком роботи мають бути перевірені з'єднання обладнання з контуром захисного заземлення, справність електроприладів, інструменту, автоматичних вимикачів, розеток, вилок, освітлення, а також наявність первинних засобів пожежогасіння.

Заземлюючі контакти розеток мають бути надійно сполучені з контуром захисного заземлення.

Перед початком роботи переконатися в тому, що всі електроприлади, використовувані в експерименті, правильно підключені і надійно заземлені.

При експлуатації електроприладів необхідно керуватися правилами, викладеними в технічному паспорті.

При виявленні несправностей електроприладів, стендів, захисного заземлення повідомити про це науковому керівникові лабораторії, або зав. лабораторією.

#### Вимоги безпеки під час виконання робіт

Дозволяється працювати тільки із справними електроприладами.

При роботі з електроприладами можливі випадки ураження людей електричним струмом. Причинами цього можуть бути:

- одночасний дотик руками або металевим предметом до корпусу електроприладів і оголених проводів;
- робота з несправними електроприладами;
- порушення правил користування електроприладами.

Забороняється працювати з електроприладами і вимірювальними приладами при знятому кожусі.

Забороняється висмикувати штепсельні роз'єми, вилки узявшись за провід. Відключення проводити тільки узявшись за роз'єм, вилку, щоб уникнути короткого замикання і можливого при цьому нещасного випадку (опіку).

Забороняється працювати з електроприладами у вогкому одязі, вогкими руками, перекривати вентиляційні отвори, якщо вони є на приладах.

Куріння в лабораторії заборонене.

Забороняється залишати без спостереження, ремонтувати і переносити включені в мережу електроприлади.

Забороняється підключати декілька споживачів електроенергії до однієї штепсельної розетки.

Забороняється заміна згорілих запобіжників «жучками». Необхідно застосовувати запобіжники заводського виготовлення, що калібруються.

Забороняється захарашувати підступи до електричних пристроїв, а також відкривати їх.

При раптовому припиненні подачі електроенергії всі вимикачі і рубильники мають бути негайно вимкнені.

Не допускається залишати неізольованими оголені проводи, перевантажувати електромережу, користуватися розбитими вилками, розетками і вимикачами.

Електроприлади мають бути розташовані на відстані не менше 1 м від нагрівальних приладів і не повинні піддаватися дії прямих сонячних променів

Робоче місце утримувати в сухому і чистому стані, не допускати запилення електроприладів, вимірювальних приладів, стендів.

Забороняється проводити очистку від пилу і бруду включених в мережу 220V електроприладів, вимірювальних приладів, стендів.

При виявленні несправностей електроприладів, вимірювальних приладів, стендів, за відсутності їх заземлення, а також при появі іскріння або характерного запаху перегрітої ізоляції, негайно знеструмити їх. Повідомити про це науковому керівникові лабораторії або його заступникові.

Приступати до роботи дозволяється тільки після усунення відмічених несправностей електроприладів, вимірювальних приладів і стендів.

При проведенні профілактичних і ремонтних робіт дозволяється використовувати ізопропиловий або етиловий спирт.

Дозволяється зберігати запас легкозаймистих рідин, що не перевищує 0,5 літра. Зберігання запасу дозволяється в тарі, що не згоряє, з щільно закритою кришкою.

#### Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після закінчення роботи вимкнути електроприлади, вимірювальні прилади, стенди.

Вимкнути всі автоматичні вимикачі, відключити використовувані подовжувачі мережі 220 V.

Привести в порядок робоче місце, прибравши пил, що з'явилися і сміття.

При відході з приміщення лабораторії необхідно вимкнути всі споживачі електроенергії.

При виявлених під час роботи і після закінчення роботи несправностях і неполадках електроприладів повідомити наукового керівника лабораторії або його заступника.

#### Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

При роботі з електроприладами і вимірювальними приладами в лабораторії можливі наступні аварійні ситуації:

- загоряння горючих матеріалів;
- ураження електричним струмом.

Джерелами спалаху в лабораторії можуть бути вузли приладів, пристроїв електроживлення, електропаяльники, де в результаті різних порушень перегріваються електронні компоненти схем, проводи, утворюються електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

Співробітники і викладачі, що користуються електроприладами в лабораторії, зобов'язані знати розташування засобів пожежогасінні і уміти ними користуватися.

При пожежі:

- негайно знеструмити всі електроприлади спільним автоматичним вимикачем;
- негайно евакуювати в безпечне місце людей що були ушкоджені;
- повідомити по телефону 101 в пожежну команду;
- видалити в безпечне місце непошкоджені електроприлади;
- приступити до гасіння пожежі первинними засобами пожежогасінні;
- повідомити керівництво інституту про то, що сталося;
- електроприлади гасити вуглекислотними вогнегасниками, порошковими вогнегасниками або сухим піском;
- гасити електроприлади і дроти водою забороняється.



В разі ураження електричним струмом слід негайно знеструмити електроприлади і викликати швидку допомогу по телефону 103. Співробітники, що працюють в лабораторії, зобов'язані знати заходи надання першої допомоги людині, яка була ушкоджена при ураженні електричним струмом і уміти надати її при необхідності.

Негайно повідомити про нещасний випадок керівництво лабораторії, декана факультету.

#### Заходи по зниженню шуму від вібрації

Шум багатьох машин, механізмів і агрегатів можна понизити, закривши їх звукоізолюючими кожухами. Кожух може закривати машини повністю або її невелику галасливу частку. Застосування кожухів може вирішити завдання зниження шуму з найменшими витратами в порівнянні з іншими методами.

При облицюванні внутрішніх поверхонь кожуха звукопоглинальним матеріалом ефективність звукоізоляції кожуха збільшується.

При оцінці акустичної ефективності стінок кожуха необхідно враховувати, що обгороджування, які мають кривизну або циліндричну форму мають на 5-10 дБ більшу звукоізоляцію на низьких частотах, чим плоскі тієї ж товщини, і тому циліндричні кожухи ефективніші, ніж прямокутні[12].

У зв'язку з вище сказаним для зниження шуму вібростенда пропонується зробити кожух, який зміг би накрити весь вібростенд разом з модельним апаратом. Для спостереження, відбору проб і обслуговування пропонується на кожусі зробити люки. Для збільшення ефективності на внутрішню поверхню кожуха завтовшки 2 мм має бути нанесен шар мастики ВД 17-59 завтовшки 6-7 мм.

## Висновки

1. У даній роботі розроблена експериментальна установка періодичної дії для дослідження процесу вібраційного змішування сипких матеріалів в апараті з горизонтальною робочою камерою. Виконані розрахунки підтверджуючі працездатність установки.

2. Розроблена методика визначення якості змішення компонентів.

3. Проведені експериментальні дослідження процесу змішення модельної суміші ( скляного бісеру, поліетилену) в апараті без мішалки при вібрації, в апараті з мішалкою при вібрації, в апараті з мішалкою без вібрації для параметрів вібрації: амплітуда  $\approx \text{const}=0,7$  мм, при еліптичній траєкторії з частотою коливань від 25 до 60 Гц, час змішення 20...240 сек. Число оборотів мішалки 75 об/хв.

4. Аналіз експериментальних даних дозволив виявити вплив на якість змішення дослідженої суміші амплітудо-частотної характеристики вібраційного змішувача і наявність мішалки в робочій камері.

5. Опрацьовані питання охорони праці і техніки безпеки при роботі в науково-дослідній лабораторії. Запропоновані заходи по зниженню шуму.

6. Отримані дані можуть бути використані для проектування вібраційних змішувачів сипких матеріалів.

### Перелік джерел посилання

1. Баранцева Е.А., Мизонов В.Е., Хохлова Ю.В.. Процессы смешивания сыпучих материалов: моделирование, оптимизация, расчет / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», Иваново, 2008. – 116с.
2. L.T. Fan, S.J. Chen and C.A. Watson. Solids mixing / Industrial Engineering Chemistry, 1970, p. 62. Перевод – М. Мелентьева, редактор – С. Кошковский, г. Северодонецк, 1972. – 60с.
3. Мозгов Н.Н., Огурцов В.А. Моделирование процесса перемешивания дисперсных материалов. Рукопись деп. в ОНИИТЭхим, № 403 ХП-Д80.
4. Бахман Г.К. и др. Тр. Волгоградск. политехн. ин-та 1968, с. 119-124.
5. Мозгов Н.Н., Блиначев В.Н., Лысенко К.В. Исследование гидродинамики дисперсного материала в вибросмесителе. Рукопись деп. в ОНИИТЭхим, № 94 ХП-Д80.
6. И.И. Блехман. Вибрация «изменяет» законы механики, М., 2004. – 16с.
7. [http://www.vibrocom.ru/remarks/mix1\\_rem.htm](http://www.vibrocom.ru/remarks/mix1_rem.htm)
8. Wiaghart K. Some experiments in granular flow. – Archiwum Mehaniki Stosowanej, 1978, T30, № 6, pp. 837-843.
9. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Детали машин. Курсовое проектирование: Учебное пособие для машиностроительных специальностей. Техникумов. – М. Высшая школа, 1984. – 336 с.
10. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. М., «Машиностроение», 1973, с. 216.
11. Сопин Е.Ф., Виноградова Р.П. Основы биохимических методов исследования К., 1975, с. 244.
12. Погодин А.С. Шумоглушащие устройства. М., «Машиностроение», 1973, 176 с.