*Лабораторна робота №11*

**ЗРІВНОВАЖУВАННЯ ОБЕРТОВИХ ЛАНОК З ВІДОМИМ РОЗТАШУВАННЯМ НЕЗРІВНОВАЖЕНИХ МАС**

**Мета роботи**: *набути навичок зрівноваження (балансування)* *ротора на основі*

*проведених розрахунків за умови заданого розташування*

*незрівноважених мас.*

1. **Вказівки з підготовки до роботи**

**1.1 Завдання з самостійної підготовки до роботи**

У машинобудуванні застосовується велика кількість різних ланок, що здійснюють обертовий рух. Кутові швидкості цих ланок бувають дуже значними. Тому зрівноваження відцентрових сил інерції обертових мас має велике значення і відноситься до найбільш актуальних задач сучасного машинобудування.

Треба знати причини не зрівноваженості обертових мас і методи їх усунення. Необхідно ознайомитися з питанням зрівноваження обертових мас, методами статичного і динамічного балансування.

* 1. **Рекомендована література**

1 Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М., 1975.; с. 39…69.

2 Артоболевский И.И., Эдельштейн Б.В. Сборник задач по теории механизмов

и машин. М., 1975.; с.7…16.

3 Установкадля уравновешивания вращающихся масс. Тип ТММ35м: Паспорт

ТММ35м ПС/ Министерство высшего и среднего специального образования

Спец. констр. бюро.– Москва, 1967.– 7 с.

1. **ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

**2.1 Програма роботи**

*Провести статичне та динамічне зрівноваження ротора із закріпленими на ньому кількома незрівноваженими дисками розміщенням в його опорних перерізах противаг, масу і розташування яких визначити з умови статичної та динамічної рівноваги обертових мас у векторній формі*.

**2.2 Стислі теоретичні відомості**

*Ротором* у теорії балансування (зрівноважування) називається будь-яке обертове тіло. Тому ротором називається якір електродвигуна, колінчастий вал компресора, шпиндель токарного верстата, баланс годинників і т.п.

З теоретичної механіки відомо, що тиск обертального тіла на його опори у загальному випадку складається з двох складових: *статичної*, викликаною дією заданих сил (сил тяжіння тіла й ін.), і *динамічної*, зумовленої прискореним рухом матеріальних часток, з яких складається обертальне тіло, (тобто ротор).

Якщо маса ротора розподілена так, що головна вісь його інерції не співпадає з віссю обертання, то ротор при обертанні створює крім статичного додатковий динамічний тиск на опори. Такий ротор називається *незрівноваженим*. Технологічний процес, за допомогою якого досягається зрівноваженість обертової ланки, називається *балансуванням.*

Розрізняють статичну та динамічну незрівноваженість.

*Статична незрівноваженість* виникає тоді, коли центр мас *S* обертового тіла (ротора) не лежить на вісі обертання *O.*

*Динамічна незрівноваженість* виникає тоді, коли вісь обертання ротора не збігається з однією з трьох головних осей інерції, хоча вона й може проходити через центр мас ротора *S* .

Для усунення цих незрівноваженостей застосовують *балансування ротора*, яке може бути *статичним* та *динамічним*

При статичному балансуванні центр мас *S* ротора зміщують на вісь обертання для виконання умови зрівноваженості.

При динамічному балансуванні одну з головних осей інерції ротора суміщають з віссю обертання для виконання умови зрівноваженості.

Поняття незрівноваженості зручно пояснити, скориставшись теоремою про зведення сил до заданого центру, яка розглядається в теоретичній механіці.

Розглянемо ротор (рис.1, а) із закріпленими на його валу масами **m1**, **m2**, **m3** положення яких задано координатами ***ai*** *,****ri*** ***αi****.*Припустимо, що маси незрівноважені, тобто головний вектор і головний момент сил інерції системи не дорівнюють нулю. Зрівноважити такий ротор можна, розмістивши в двох довільних площинах, перпендикулярних до його осі, компенсуючі маси **mзр1** та **mзр2**, які разом із заданими масами задовольняли б такі умови:

; (1)

; (2)

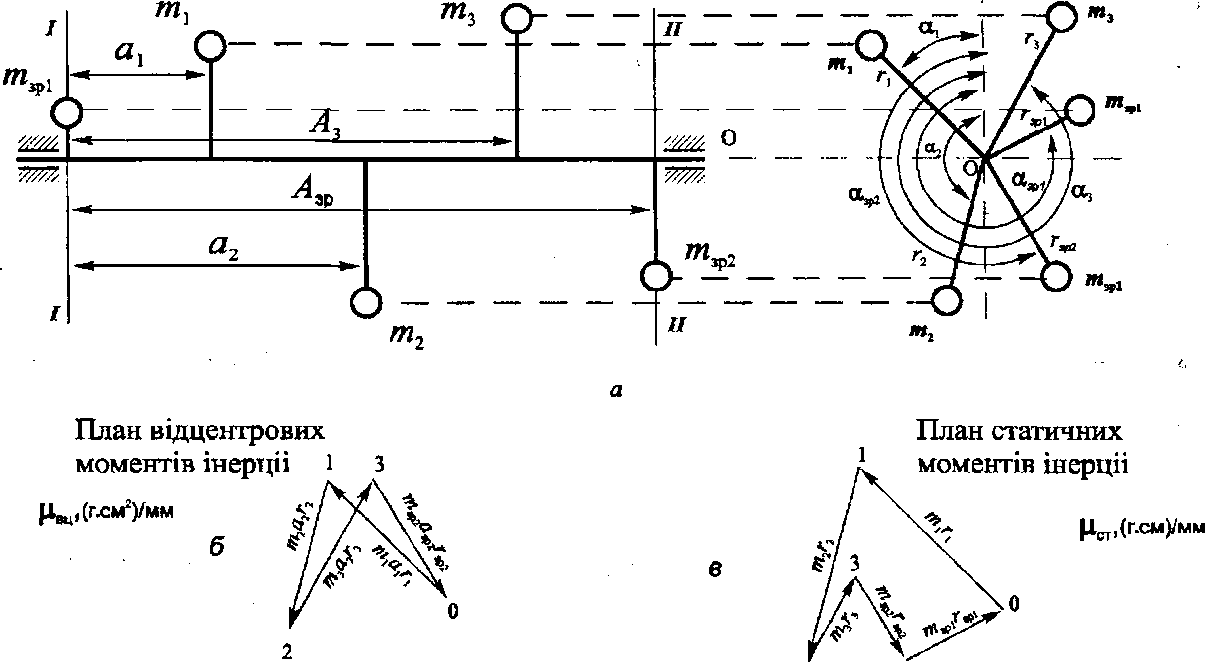
де вектор *m11* - статичний момент маси відносно осі **О-O**, спрямований уздовж

радіуса **1**;

вектор *m11a1* - відцентровий момент інерції цієї маси відносно осі **О-O** в

площині, перпендикулярній до неї, і спрямований

перпендикулярно до радіуса **i**.





***Рис.1*** *Схема балансування незрівноваженого ротора*

Для прикладу, який показано на рис.1. а, маємо:

(1)

(2)

Значення компенсуючих мас **mзр1** та **mзр2**знаходимо за планами статичних моментів, побудованими за рівнянням (1), та планами відцентрових моментів інерції, побудованими за рівнянням (2). Спочатку будуємо план відцентрових моментів, оскільки в рівнянні (2) одна невідома, причому вектори відцентрових моментів інерції повертаємо на **90°**, тобто кожний вектор ***m11a1*** направлений паралельно радіусу **і**. На рис.1.б у масштабі ***μвц***  (г⋅см2)/мм, побудовано план відцентрових моментів, з якого, задаючись розміром ***азр***, знаходимо числове значення вектора, г⋅см:

(3)

а його напрям визначаємо за напрямом вектора () на плані.

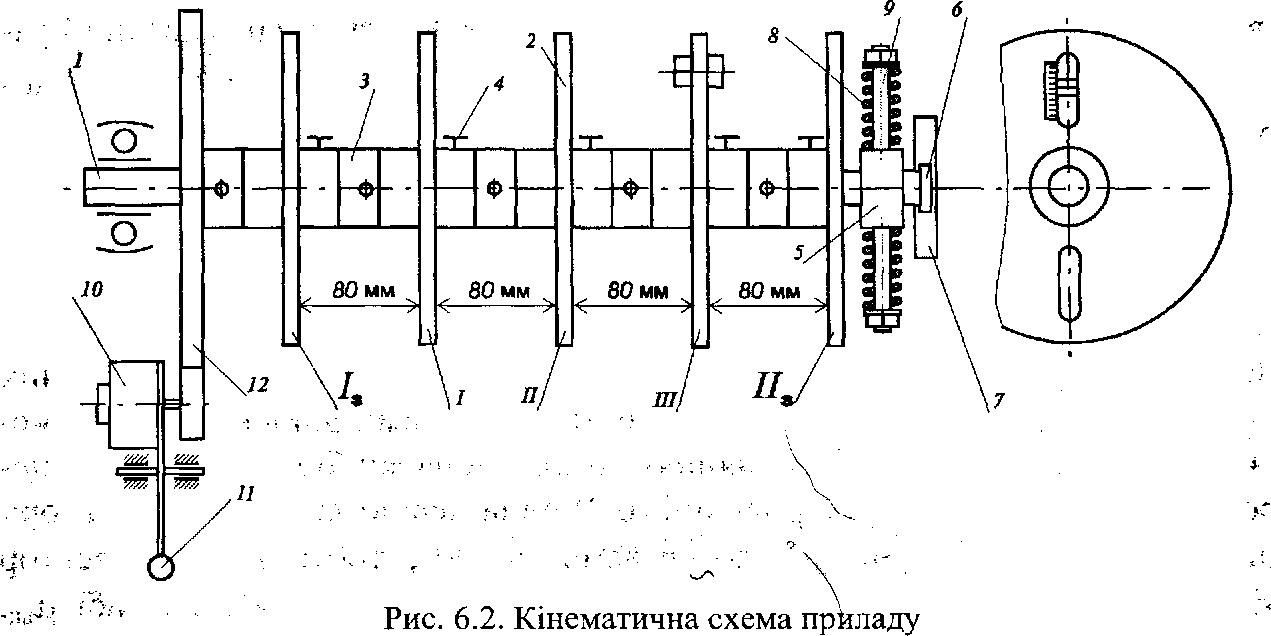
Далі за формулою (1) у масштабі ***μст***, (г⋅см)/мм будуємо план статичних моментів (рис.1.в), з якого визначаємо числове значення вектора:

(4)

Задаючи маси вантажів ***mзр1*** та ***mзр2***, знаходимо за величинами ***m зр*1 *зр*1** і ***m зр*2 *зр*2** значення радіусів ***rзр*1** і ***rзр*2**або навпаки, задаючи ***rзр*1** і ***rзр*2**, знаходимо компенсуючі маси ***mзр1*** та ***mзр2*** . Далі з центру **О** (рис.1.а) проводимо радіус ***rзр*1** паралельно відрізку **4-0** (рис.1.в) і радіус ***rзр*2***r* паралельно відрізку **0-3** (рис .1.б) і знаходимо кутові координати ***αзр1*** і ***αзр2***(див. рис.1.а). Ці кути відраховуємо від нульової позначки лімба, і вони визначатимуть положення компенсуючих мас у площинах ***І***і ***ІІ*** *.*

**Опис приладу**

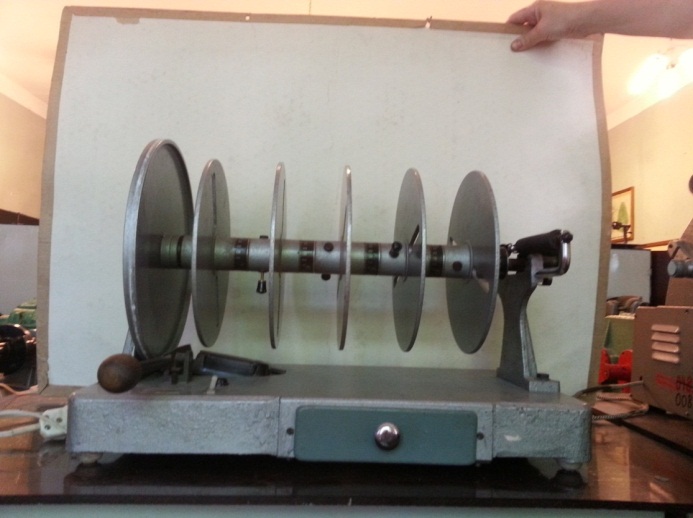
Роботу виконують за допомогою спеціального лабораторного приладу ТММ 35М (рис. 2).



***Рис.2*** *Кінематична схема приладу ТММ 35.*

Прилад складається з ротора, закріпленого шарнірними опорами на опорній плиті, і фрикційного механізму. Ротор містить вал **І**, диски **2**. В осьовому напрямі переміщення дисків обмежується кільцями **3**, які жорстко закріплені на валу. Кільця проградуйовані по бічній поверхні через **1°**, а на маточині диска є риска. Це дозволяє встановлювати диск під заданим кутом. Фіксуються диски гвинтами **4**. На дисках поруч з пазом для кріплення вантажу розміщено шкалу, за допомогою якої вантаж встановлюється на заданий радіус. Ротор змонтовано на двох стояках: лівий кінець вала опирається на сферичний підшипник, який дозволяє йому повертатися в горизонтальній площині на значний кут; правий кінець закріплений в радіальному кульковому підшипнику, який, в свою чергу, закріпленій у каретці **5**. Каретка за допомогою ролика б переміщується в напрямній 7 і утримується в центральному положенні пружинами 8, які регулюються гвинтами **9**. Ротор приводиться в обертання двигуном **10** через фрикційну передачу. Двигун змонтовано на хитному важелі **11**. Під важелем розташована кнопка подвійної дії. Коли важіль натискають донизу, фрикційний диск притискається до шківа **12** і вмикається електродвигун, який розганяє ротор. Коли рукоятка важеля відпускається, під дією власної ваги двигуна фрикційний диск відходить і двигун вимикається.

Прилад укомплектовано вантажами різної маси для створення дисбалансу та зрівноваження.



**2.3 Оснащення робочого місця**

Лабораторний прилад ТММ-35М з набором вантажів, креслярські приладдя.

**2.4 Рекомендації щодо виконання роботи й оформлення звіту**

* + 1. **Порядок виконання роботи**

2.4.1.1 Розрахункова частина роботи.

1 Отримати у викладача прилад і ознайомитися з його конструкцією.

2 Вибрати маси вантажів ***m1***, ***m2***, ***m3*** та їх координати ***r1***, ***r2***, ***r3*** і ***α1***, ***α2***, ***α3*** (див.

рис.1.а) і, узгодивши вибрані значення з викладачем, занести їх до табл.1

звіту.

3 Побудувати строго в масштабі схему незрівноважених мас, користуючись як

прикладом схемою, зображеною на рис.1.а.

4 Обчислити статичні моменти і відцентрові моменти інерції заданих мас і

занести їх значення до табл.2 звіту.

5 Вибрати масштаб та згідно з рівнянням (2) побудувати план відцентрових

моментів інерції (див. рис.1. б).

6 Визначити згідно з виразом (3) статичний момент зрівноваженої маси

***mзр2rзр2***тa занести знайдене значення до табл.3 звіту

7 Побудувати план статичних моментів за рівнянням (1) і згідно з виразом (4)

знайти значення статичного моменту ***mзр1rзр1***. Занести знайдене значення до

табл.3 звіту.

8 Задатись масами ***mзр1***та***mзр2*** та визначити радіуси ***rзр1***і ***rзр2***. Маси слід

вибирати з наявних вантажів, отриманих для виконання роботи, враховуючи,

що радіус на приладі можна змінювати в межах 40.. .90 мм.

9 На плані незрівноважених мас (рис.З звіту) провести радіуси ***rзр1***і***rзр2***,

визначити кути ***αзр1*** і ***αзр2*** та зобразити на схемі положення зрівноважувальних

вантажів у площинах **І-І** та **II-ІІ**.

2.4.1.2 Експериментальна частина роботи.

1 Закріпити на валу приладу диски, ввімкнути двигун та, обертаючи вал

навколо осі, переконатися, що він зрівноважений.

2 Вимкнути двигун і переконатися, що ротор зрівноважений динамічно, тобто

правий кінець вала з кареткою займає стійке положення в горизонтальній

площині.

3 Закріпити вантажі заданих мас ***m1***, ***m2***, ***m3*** відповідно у пазах дисків **I**, **II**, **III**

на вибраних радіусах ***r1***, ***r2***, ***r3***. Установити та закріпити диски під заданими

кутами **α1**, **α2**, **α3** (див. табл. 1). Установлюючи диски, їх слід повертати в

одному і тому самому напрямі від нульової позначки на кільці на заданий кут.

4 Переконатися, що ротор незрівноважений як статично, так і динамічно за

допомогою методу, описаного в пп. **1** і **2**.

5 Вважаючи площинами зрівноважування крайні диски **I-І** та **II—II** (див.

рис.1), закріпити на диску **I-І** вантаж ***mзр1*** на радіусі ***rзр1***, а на диску **II-II-**

вантаж ***mзр2*** на радіусі ***rзр2***, і закріпити на валу диск **I** і диск **ІІ-ІІ** під кутами

***αзр1*** та ***αзр2*** відповідно.

6 Переконатися, що ротор зрівноважений статично і динамічно (у присутності

викладача).

Примітка. Для виконання цієї роботи студент повинен мати транспортир і два косинці.

**2.4.2 Зміст звіту**

*Лабораторна робота № 11.*

*Тема:* ***Зрівноважування обертових ланок з відомим розташуванням***

***незрівноважених мас***

*Мета роботи:*

1 Схема незрівноважених мас і плани відцентрових моментів інерції та

статичних моментів:

2 *Таблиця 1*- Маси вантажів та їх координати

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Маси незрівноважених вантажів, г | | | Радіуси прикладання вантажів, мм | | | Кути розташування радіусів, град | | | Відстань уздовж осі вала між вантажами, мм | | | |
| *m1* | *m2* | *m3* | *r1* | *r2* | *r3* | *α1* | *α2* | *α3* | *a1* | *a2* | *a3* | *aзр* |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

3 *Таблиця 2* - Статичні та відцентрові моменти заданих мас

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Статичні моменти мас, г·мм | | | Відцентрові моменти інерції, г⋅мм2 | | |
| *m1 r1* | *m2 r2* | *m3r3* | *m1r1a1* | *m2r2a2* | *m3r3a3* |
|  |  |  |  |  |  |

4 *Таблиця 3* - Параметри компенсуючих мас

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *mзр2 rзр2 aзр2,*  г·мм2 | *mзр2rзр2,*  г·мм | *mзр1rзр1,*  г·мм | *rзр1,*  мм | *rзр2,*  мм | α*зр1 ,*  град | α*зр2,*  град | *mзр1,* г | *mзр2,* г |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

*Висновок:*

*Роботу виконав \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Дата\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*

*Підпис викладача\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*

* 1. **Питання для самоконтролю**

1 Які причини викликають необхідність зрівноважування та віброзахисту

машин?

2 Задачі зрівноважування та віброзахисту машин.

3 Що називається ротором?

4 Умови зрівноважування обертової ланки.

5 Що називається статичним дисбалансом?

6 Що називається динамічним дисбалансом?

7 Що називається балансуванням?

8 Які види балансування існують?

9 Умови статичного балансування обертових мас.

10 Задача статичного балансування.

11 Задача динамічного балансування.

12 Сформулюйте умови повного зрівноважування машин.