



**Кафедра ОПХВ
імені професора Ф.Ю. Ялпачика**

Лабораторна робота №5

БАЛАНСУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ОБЛАДНАННЯ

Методичні вказівки до виконання
лабораторної роботи з дисципліни
«Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання»
Модуль 2 «Ремонт обладнання»
спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
Ступінь вищої освіти БАКАЛАВР

Балансування робочих органів обладнання Методичні вказівки для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». Освітній рівень БАКАЛАВР – Таврійський державний агротехнологічний університет, кафедра ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика. Оновлена редакція 2019р - 14 с.

Розробники: к.т.н., доцент Буденко С.Ф.

к.т.н., доцент Олексієнко В.О.

ст. викл. Циб В.Г.

Рецензент:

к.т.н., доцент, завідувач кафедри інформаційних технологій проектування ім. В.М. Найдиша Мацулевич О.Є.

Розглянуто і затверджено на засіданні кафедри ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика

Протокол № 10 від 03.01.2019р.

Рекомендовано методичною комісією факультету «ІКТ»

Протокол № 6 від 31.01 2019 р.

ЗМІСТ

1 ВКАЗІВКИ З ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ.....	4
1.1 Завдання для самостійної підготовки.....	4
1.2 Питання для самопідготовки.....	4
1.3 Література для самопідготовки.....	4
2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	5
2.1 Програма роботи.....	5
2.2 Короткі відомості з теорії.....	5
2.3 Обладнання робочих місць.....	12
2.4 Інструкція з охорони праці.....	12
2.5 Вказівки по виконанню роботи.....	13
3 ЗВІТНІСТЬ ПО РОБОТІ.....	14
4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	14
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	15

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ТЕМА РОБОТИ: Балансування робочих органів обладнання.

МЕТА РОБОТИ: Закріплення знань по методиці визначення дисбалансу робочих органів обладнання переробної і харчової галузі. Одержання практичних навичок статичного та динамічного балансування окремих видів деталей та вузлів обладнання.

Час проведення лабораторної роботи: 2 год.

1 ВКАЗІВКИ З ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Під час підготовки до роботи проглянути конспект лекцій, учебову літературу та систематизувати об'єм знань з причин виникнення явища незбалансованості робочих органів, що обертаються, наслідків цього явища і методів боротьби з ним. Уявити, у яких випадках для балансування деталей та вузлів застосовують методи статичного або динамічного балансування.

1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 Назвіть машини, робочі органи яких на вашу думку, потребують ретельного балансування.

1.2.2 Перерахуйте основні причини виникнення незбалансованості деталі або вузла при його виготовленні або ремонті.

1.2.3 За яких причин робочий орган або інша деталь (вузол), що обертається, може втратити своє балансування – розбалансуватись?

1.2.4 Перелічіть основні ознаки, за якими можна визначити, що робочий орган обладнання розбалансувався.

1.2.5 Чим відрізняються поняття статичного і динамічного балансування деталей та вузлів?

1.2.6 Дайте визначення наступним поняттям: статична невірноваженість ротора, статичний момент невірноваженості, коефіцієнт статичної невірноваженості.

1.2.7 Якими методами можна відновити врівноваженість деталі (вузла) після його балансування?

1.3 Література для самопідготовки

1. Рудик Ф.Я. Монтаж, експлуатація и ремонт оборудования перерабатывающих предприятий. / Ф.Я. Рудик. СПб.: ГИОРД. - 287 с.

2. Ялпачик В.Ф. Монтаж, експлуатація і ремонт машин та обладнання переробних підприємств: Навчальний посібник: Практикум. / В.Ф. Ялпачик [та ін.] - Мелітополь, 2013. - 234 с.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма роботи

- відповісти на питання викладача, одержати допуск до роботи;
- ознайомитись з теоретичними відомостями про процеси статичного і динамічного балансування;
- розглянути конструкції та уявити принцип дії лабораторних установок для статичного та динамічного балансування, відпрацювати методику замірів дисбалансу;
- відрегулювати установку для статичного балансування, провести заміри дисбалансу дослідного зразка ротора, поновити роботоздатність зразка шляхом балансування;
- встановити дослідний ротор на установку для динамічного балансування, провести необхідні заміри і усунути дисбаланс;
- зробити висновки по роботі;
- відповісти на контрольні запитання;
- зарахувати лабораторну роботу у викладача.

2.2 Короткі відомості з теорії

Обертальний рух є в сучасній техніці одним з домінуючих. При такому виді руху, як відомо, завжди мають місце сили інерції, тому що обертання того чи іншого елемента машини обов'язково відбувається із прискоренням.

Такі деталі та вузли, як шків, маховики, робочі органи дробарок, центрифуг, сепараторів та інші, які, як правило, мають достатньо велику масу і габарити та обертаються з великими швидкостями, повинні бути добре врівноважені щоб уникнути биття, вібрації, порушення центрування та підвищення навантаження на опорні деталі.

Причиною невірноваженості (незбалансованості) деталей і вузлів можуть бути неоднорідність матеріалу, з якого виготовлені деталі, неточність їх виготовлення, погрішності в заготовках і обробці, неправильна посадка на вал, нерівномірне зношування у процесі експлуатації. Виникаюча при цьому невірноваженість зміщає центр ваги від геометричної осі обертання деталі, вузла. При обертанні невірноваженість викликає значні відцентрові сили, що ведуть до вібрацій і підвищеного зношування всіх деталей, що сполучаються.

Для запобігання цих явищ із метою підвищення довговічності та надійності машин необхідно проводити перевірочне балансування як окремих деталей після їх обробки, так і зібраних вузлів та роторів.

Поняття і терміни у області балансування тіл, що обертаються, регламентовані, діючим державним стандартом [1]. Він називає всі тіла, що обертаються в опорах незалежно від їх призначення терміном – ротор.

У машинобудуванні більшість роторів є жорсткими, їх швидкість обертання не перевищує критичного значення:

$$\omega_{\text{крит}} = \sqrt{\tilde{n}/\delta} \quad (1)$$

де c - жорсткість вала ротора; m - маса ротора.

Жорсткий ротор розглядається як тверде тіло, при його дослідженні застосовують закони механіки твердого тіла і розрахунки по рівноваженості проводять методами кінестатики.

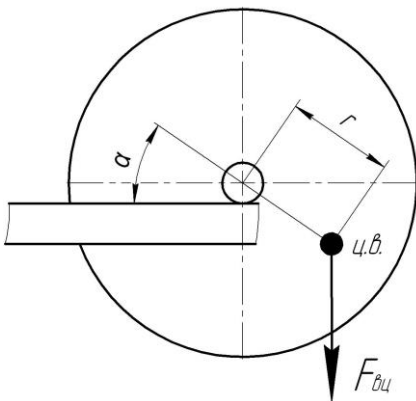
Розрізняють три види невідновженості:

- невідновженість, викликана зміщенням центру ваги деталі відносно осі обертання, при якій сили інерції приводяться до однієї рівнодіючої відцентрової сили. Така невідновженість характерна для деталей з незначною осьовою довжиною в порівнянні з діаметром (маховики, шків, зубчасті колеса) і усувається статичним (одноплосинним) балансуванням;

- невідновженість, при якій сили інерції приводяться до рівнодіючої пари сил, яка створює відцентровий момент інерції відносно осі обертання;

- невідновженість, при якій сили інерції приводяться до рівнодіючої сили і пари сил

Другий і третій види невідновженості характерні для роторів, які мають значну довжину у порівнянні з діаметром (барабани, вальці тощо) і усуваються динамічним (двохплосинним) балансуванням.



Статичний дисбаланс викликається зміщенням центру ваги від осі обертання (рисунок 1).

Невідновжена відцентрова сила $F_{\text{бц}}$ виникаюча при обертанні визначається за виразом:

$$F_{\text{бц}} = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (2)$$

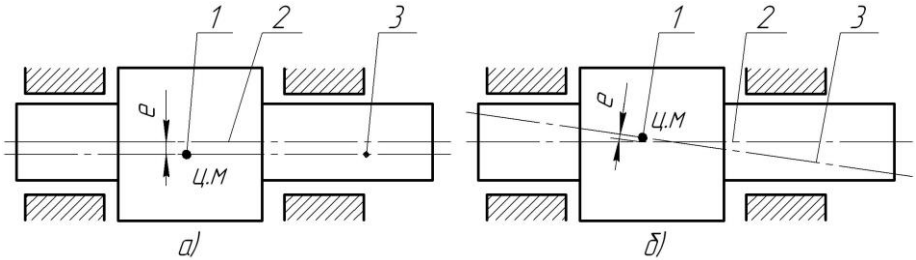
де m - маса деталі, Н;

r - радіус зміщення центру ваги від осі обертання деталі, м;

ω - кутова швидкість обертання деталі, рад/с.

Рисунок 1 – Розрахункова схема

Якщо неврівноважені маси ротора можна привести до однієї маси центр ваги якої не лежить на осі обертання і створює відцентрову силу, то такий ротор називають статично неврівноваженим (рисунок 2).



1 - центр мас; 2 - вісь обертання; 3 - вісь центру мас.

Рисунок 2 – Розташування неврівноважених мас у просторі

Відстань e від осі обертання ротора до зміщеного центра мас називають ексцентриситетом.

Наприклад, якщо у процесі експлуатації молотки дробарки зношувалися нерівномірно і неврівноважена маса досягла 100 г (0,1 кг) та центр мас перемістився на 100 мм (0,1 м), то при частоті обертання ротора 1000 об/хв. (104,7 рад/с) відцентрова сила буде складати 109,7 Н, а вже при 3000 об/хв. її величина досягне 987 Н, що може викликати досить суттєві вібрації машини.

Балансування – це технологічний процес приведення центру мас (центру інерції) ротора до його осі обертання. Це означає приведення (зменшення дисбалансів ротора до допустимої величини, тому що задача зведення дисбалансів до нуля є практично недосяжною і її вирішення можливе тільки теоретично.

Допустимі значення дисбалансу того чи іншого ротора признається, як правило, підприємством-виробником на підставі вимог міжнародних стандартів та галузевих нормативів.

Система класів точності балансування жорстких роторів встановлена міжнародним стандартом [2], який передбачає 13 степенів точності – з нульового по дванадцятий.

Формули розрахунків для визначення дисбалансів, а також допустимі дисбаланси при розробці та доводці механізмів наводяться у стандарті [3]. До цього міжнародного стандарту входять також методичні вказівки по балансуванню жорстких роторів, які включають як теоретичні основи та відомості, так і рекомендації для конструктора, розрахувача, технолога.

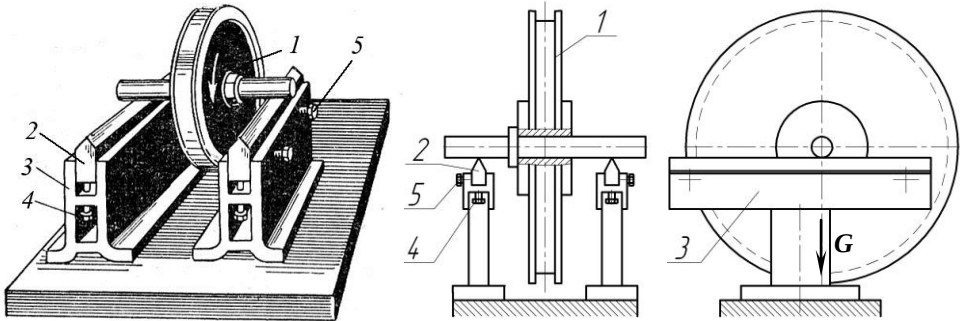
Допустимий дисбаланс виражають у частках (1...5 %) від сили ваги ротора G і визначають за виразом:

$$\delta \cdot r \cdot \omega^2 \leq (0,01...0,05) \cdot G \quad (3)$$

де m - допустима невірноважена маса.

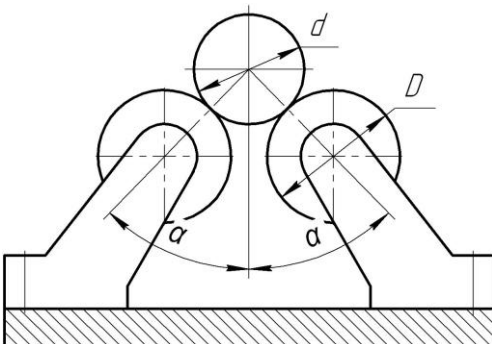
Статичне або силове балансування засноване на використанні статичного невірноваженого моменту, під дією якого деталь повертається доти, поки найбільш важка частина не встановиться вертикально під віссю обертання деталі і з'явиться можливість здійснити балансування шляхом установки додаткових вантажів на діаметрально протилежній стороні деталі або ж шляхом полегшення найбільш важкої частини деталі.

В умовах одиничного і дрібносерійного виробництва та в процесі ремонту обладнання статичну невірноваженість визначають шляхом установки деталі на призмах (рисунок 3), опорах, що обертаються (рисунок 4), вагах або ж безпосередньо на місці установки деталі.



1- ротор; 2- призми; 3- стійки; 4- гвинт регулювальний;
5- гвинт стопорний.

Рисунок 3 – Загальний вид та схема балансування на призмах



При необхідності деталь попередньо закріплюють на оправці. Балансувальні призми і ролики, опор установок повинні бути виготовлені з великою точністю із якісної сталі з загартуванням і шліфуванням.

Рисунок 4 – Схема встановлення ротора на опорах, що обертаються

Призми та роликові опори встановлюють на балансувальному пристрої паралельно і горизонтально з точністю до 0,02 мм/м.

Процес балансування складається із двох операцій.

Перша операція полягає в усуненні основного дисбалансу. Для цього окружність торця деталі, яку балансують ділять на 6...8 частин і, повертаючи деталь на призмах на 45° , раз за разом знаходять і відмічають нижню точку, тобто найбільш важку частину. Якщо при цьому нижнє положення буде займати та сама точка, то через неї проводять діаметр і, підбираючи вантаж на його протилежному кінці, компенсують дисбаланс, тобто досягають рівноваги. Вантажем може служити замазка або невеликі шматочки металу, що приклеюються до деталі. Потім тимчасові вантажі замінюють постійними, міцно закріплюючи їх до деталі в потрібному місці, і контролюють правильність балансування. Іноді, навпаки, більш важкі частини деталі полегшують, висвердлюючи невеликі поглиблення.

Друга операція полягає у визначенні залишкового дисбалансу внаслідок наявності сил тертя між призмами (роликами) і оправкою тобто усуненні так званої невиявленої невірноваженості; при цьому на кожному з розмічених поділів по черзі в горизонтальній площині фіксують вантажі у точках, однаково віддалених від центру, поки деталь не почне обертатися на призмах. Маса пробних вантажів заносять у таблицю, і на її підставі будують криву, яка фіксує крайні точки, які відповідають найбільшій різниці вантажів (рисунк 5).

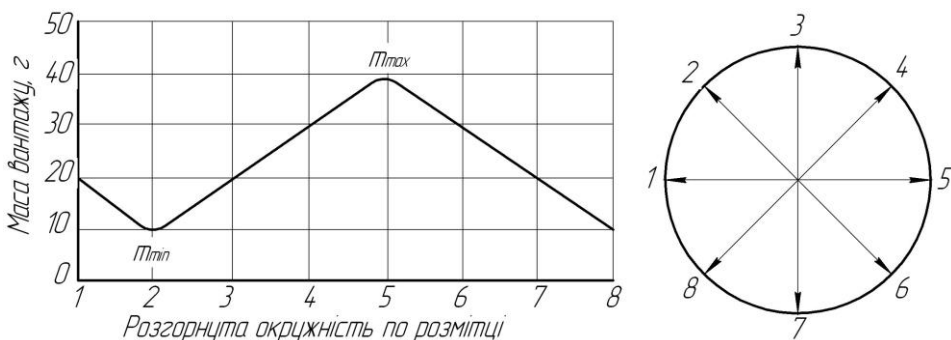


Рисунок 5 – Діаграма контролю балансування

Нижча точка кривої відповідає найбільш важкому місцю деталі. Вантаж, який остаточно врівноважує деталь, необхідно встановити у діаметрально протилежному місці.

Величину вантажу визначають за формулою:

$$Q = (m_{\max} - m_{\min}) / 2 \quad (4)$$

де Q - величина вантажу; $m_{\max}$ і $m_{\min}$ - відповідно максимальна і мінімальна маса вантажів, розташованих на одному діаметрі.

Додатковий вантаж закріплюють на деталі у місці, що відповідає найвищій точки кривої, і роблять остаточну перевірку, визначаючи залишкову неврівноваженість. Допустима величина статичної неврівноваженості залежить від конструкції машини і режиму її роботи. Точність статичного балансування на призмах дозволяє виявити залишкове зміщення центру ваги деталі від осі обертання на 0,03...0,05 мм, а на балансувальних вагах до 5 мкм.

Динамічна неврівноваженість спостерігається у об'єктів, довжина яких значно перевищує розмір діаметра. Динамічна неврівноваженість статичним методом невизначена, тому що вона спостерігається тільки при обертанні деталі.

Динамічне балансування звичайно виконують на машинобудівних заводах, тому що в умовах монтажу і ремонту у майстерних підприємств харчової промисловості її технічно важко здійснити.

При обертанні статично збалансованої деталі (центр ваги лежить на осі обертання) в місцях знаходження надлишкових мас m_1 і m_2 утворюється пара відцентрових сил на плечі $l_{\text{дв}}$, яка утворює відносно осі деталі згинаючий момент подвійного вигину. Реакції від моменту навантажують підшипники силами F_{R1} і F_{R2} (рисунок 6).

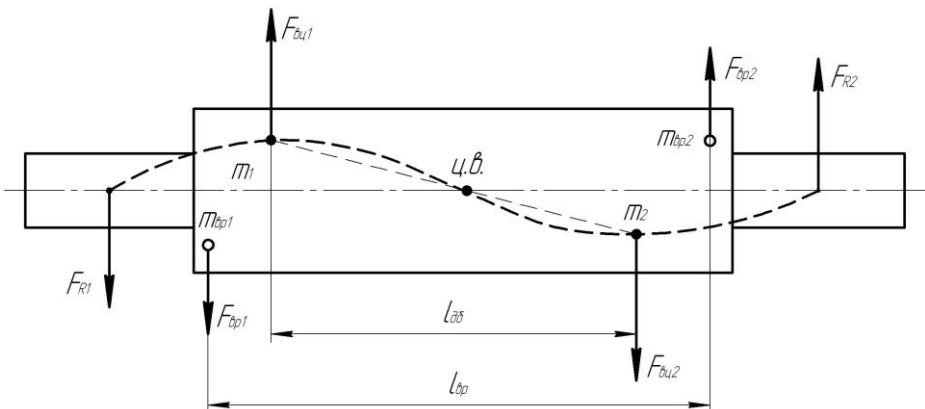


Рисунок 6 – Динамічна неврівноваженість ротора

Крім підвищеного зношування підшипників, динамічний дисбаланс, при співпадінні частоти коливань від надлишкових мас і частоти власних коливань деталі, викликає небезпечні резонансні явища, які крім підвищених вібрацій можуть привести до підвищених зносів і поломки деталей, що сполучаються.

Неврівноважений момент пари сил дорівнює:

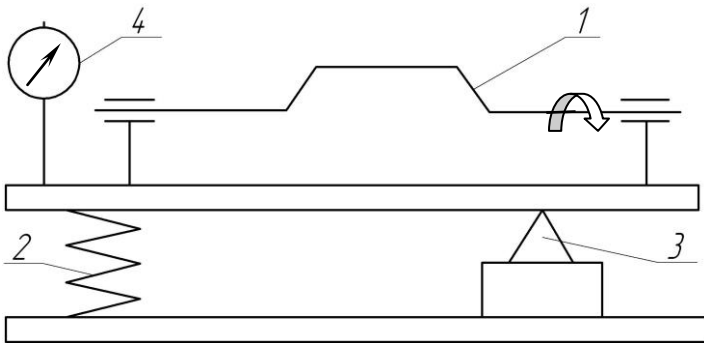
$$M_{\ddot{a}\ddot{a}} = \ddot{\phi} \cdot r \cdot \omega^2 \cdot l_{\ddot{a}\ddot{a}} \quad (5)$$

де m - маса однієї з невірноважених мас.

Для усунення реакцій на опорах пару невірноважених сил необхідно врівноважити іншою парою сил $F_{\ddot{a}\ddot{a}1}$ і $F_{\ddot{a}\ddot{a}2}$, прикладених до вала і діючих у тій же площині.

Дана пара сил урівноважує реакції в опорах за рахунок усунення подвійного вигину. У процесі балансування в місцях прикладання сил $F_{\ddot{a}\ddot{a}1}$ і $F_{\ddot{a}\ddot{a}2}$ закріплюються, вантажі, що врівноважують або у протилежних місцях деталі (при можливості) висвердлюються отвори з масами видаленого матеріалу, що дорівнюють надлишковим масам.

Динамічне балансування виконується на спеціальних стендах з опорами, що коливаються (рисунок 7).



1 - деталь; 2 - пружина; 3 - жорстка призма; 4 - прилад

Рисунок 7 – Схема стенда для динамічного балансування

При обертанні деталі на пружних опорах стенда під дією відцентрових сил від надлишкових мас і їх моментів опора 2 починає коливатися; максимальна амплітуда на одній частині деталі замірюється приладом 4. У місцях протилежних максимальній амплітуді закріплюються пробні вантажикі і їх підбором усувають коливання опори. Деталь перевертається і з другою частиною проводиться та ж операція.

2.3 Обладнання робочих місць

Роботи по балансуванню виконуються на лабораторному столі, оснащеному установкою для балансування (рисунок 8), комплектом приладів, інструменту і натурних зразків об'єктів для балансування.

Комплект документів і наочних посібників включає в себе: методичні вказівки, плакати, опис комплектності робочого місця, правила техніки безпеки.



Рисунок 8

2.4 Інструкція з охорони праці

При проведенні робіт потрібно дотримуватися правил техніки безпеки за вимогами ГОСТ 12.4.113-82 ССБТ Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.

2.4.1 Загальні вимоги

До лабораторної роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж по техніці безпеки, про що був зроблений відповідний запис у реєстраційному журналі.

2.4.2 При підготовці до лабораторної роботи:

- до початку лабораторної роботи кожен студент зобов'язаний ознайомитися з правилами безпеки при виконанні роботи;
- не починати виконання експериментальної частини роботи без відповідного розпорядження викладача або лаборанта.

2.4.3 Під час виконання роботи:

- не тримати на робочому місці сторонні предмети;
- не переходити самовільно на інші робочі місця і не пересуватися без потреби, по лабораторії;
- перед настроюванням пристрою для балансування зняти з нього ротор, який балансується і встановити його на спеціальну підставку;
- перед встановленням ротора на установку для балансування упевнитись у надійності запобіжних пристроїв;
- не скупчуватись навколо робочого місця, дбати про вільні проходи до аптечки та інвентарю пожежогасіння;

2.4.4 Після закінчення експериментальної частини роботи:

- прибрати та здати робоче місце лаборанту або викладачу.

2.4.5 У разі виникнення пожежі необхідно негайно проінформувати викладача або лаборанта, подзвонити по номеру 101.

2.5 Вказівки по виконанню роботи

2.5.1 Вивчити теоретичний розділ 2.2, оглянути ротор, який балансується, намітити місця установки коригувальних вантажів і способ їх кріплення до тіла ротора.

2.5.2 Протерти чистою ганчіркою поверхні балансувальних паралелей (роликів) і вал (оправку) ротора.

2.5.3 Виставити паралельно балансувальні паралелі-призми (роликові опори), забезпечити за допомогою рівня їх розташування у горизонтальній площині.

2.5.4 Установити ротор на паралелі-призми так, щоб вісь обертання ротора була перпендикулярна паралелям.

2.5.5 Зробити балансування явної невірноваженості ротора, для чого кілька раз повернути ротор на 90° і відпустити, визначити напрямок важкого місця – ротор установиться важким місцем униз, нанести по цьому напрямкові крейдою риску.

2.5.6 Провернути ротор таким чином, щоб напрямок (радіус), на якому розташовано важке місце, виявилось в горизонтальній площині. У протилежному відносно важкого місця напрямку закріпити вантаж із пластиліну такої величини, щоб ротор зайняв нейтральне положення на паралелях. Провернути ротор кілька раз – щораз ротор повинен зупинятися в різному (нейтральному) положенні. Виміряти радіус прикладення вантажу, зважити вантаж і знову закріпити.

2.5.7 Зробити балансування неявно вираженої невірноваженості. Для визначення залишкового дисбалансу, (його причина – наявність сил тертя між валом ротора і поверхнею паралелей) торцеву поверхню ротора розділити на 6...8 частин через $45...60$ градусів (рисунком 5), нанести риси крейдою і пронумерувати.

2.5.8 Установити риску № 1 на роторі у горизонтальне положення, прикріпити до неї вантаж на радіусі r з вагою, що виводять ротор з рівноваги, і повертає його на невеликий кут. Зважити цей вантаж і занести вагу в таблицю 1.

2.5.9 Виконати операцію по п. 2.5.8 для кожної з рисок № 2...8, встановлених горизонтально на радіусі r , прикріплюючи вантаж з такою вагою, щоб щораз ротор повертався на той самий невеликий кут. Зважити підібрані вантажі, дані занести в таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати вимірів маси вантажів

Номер риси	1	2	3	4	5	6	7	8
Вага вантажу, г								

2.5.10 Побудувати графік згідно рисунка 5 і визначити найбільш важке і легке місця ротора, а також величину неврівноваженої маси за формулою 4.

2.5.11 Визначити та показати на роторі місце закріплення або видалення коригувальної маси для неявно вираженої неврівноваженості.

2.5.12 Привести лабораторну установку у вихідне положення, здати робоче місце лаборантові.

2.5.13 Оформити звіт з лабораторної роботи.

2.5.14 Пред'явити викладачеві оформлений звіт, пояснити результати, отримані при виконанні роботи.

3 ЗВІТНІСТЬ ПО РОБОТІ

Звіт з лабораторної роботи оформлюється у наступному порядку:

- тема лабораторної роботи;
- мета експериментального дослідження;
- оснащення лабораторної роботи установкою і приладами;
- методика проведення експерименту і реєстрація отриманих експериментальних даних;
- розрахунок параметрів необхідних для балансування ротора;
- загальні висновки по роботі.

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1 Мета врівноважування ланок механізму, що обертаються.
- 2 Умови статичного, динамічного і повного врівноважування ротора.
- 3 Яке тіло називають ротором?
- 4 Який ротор називається жорстким? Гнучким?
- 5 За рахунок яких факторів виникає неврівноваженість ротора?
- 6 Яке балансування ротора називається статичним? Чому?
- 7 Як називається вісь, що проходить через центр мас ротора?
- 8 У чому фізична суть статичного, моменту маси ротора?
- 9 На якому обладнанні проводиться статичне балансування? Основні вимоги до його конструкції.
- 10 Назвіть мінімальну кількість противаг, необхідних для статичного врівноважування однієї неврівноваженої маси ротора.
- 11 Коли при балансуванні роторів можна обмежитися замість повного врівноважування тільки статичним або тільки динамічним?
- 12 Чи буде ротор урівноважений статично одночасно врівноваженим динамічно? Або врівноважений динамічно – одночасно врівноваженим статично?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 19534-74 Балансировка вращающихся тел. Термины. Изд. стандартов. 1974. - 49 с.
2. ИСО 1940-1:2003 Международный стандарт. Вибрация – Требования к качеству балансировки жестких роторов. Ч.1 Определение допустимого остаточного дисбаланса. Изд. стандартов. 2005. - 30 с.
3. ГОСТ 22061-76* Машины и технологическое оборудование. Система классов точности балансировки. Изд. стандартов. 1984. - 135 с.
- 4 Илюхин В.В. Монтаж, наладка диагностика и сервис оборудования предприятий молочной промышленности [Текст] / В.В. Илюхин, И.М. Тамбовцев, М.Я. Бурлев - СПб.: ГИОРД, 2006 - 500 с.

