

## **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ЧЕРВ'ЯЧНОГО РЕДУКТОРА**

*Мета роботи: ознайомитися з теоретичним і одним з експериментальних методів визначення коефіцієнту корисної дії черв'ячного редуктора.*

### **1. ВКАЗІВКИ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ**

#### **1.1. Завдання з самостійної підготовки до роботи**

Студент має знати поняття: сталий режим руху, робота рушійних сил і сил шкідливого опору, коефіцієнти корисної дії і витрат і межі їх зміни, формули для визначення ККД окремих типових механізмів і з'єднань механізмів, шляхи підвищення ККД.

#### **1.2. Питання для самоперевірки**

1. Що таке коефіцієнт корисної дії механізму.
2. Назвіть методи визначення ККД.
3. При якому режимі роботи машинного агрегату визначається ККД?
4. Як впливає робота шкідливих сил опору на коефіцієнти витрат?
5. Чому дорівнює ККД при холостому ході машини?
6. Чи може бути ККД від'ємним, тобто  $\eta < 0$ , якщо так, то в якому випадку?

### 1.3. Рекомендована література

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М.: 1988, §64,65; стр.304...324.

2. Артоболевский И.И. Сборник задач по теории механизмов и машин. М., 1975; стр.175...181.

1. Конспект лекцій.

## 2. ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

### 2.1. Програма роботи

*Визначити коефіцієнт корисної дії черв'ячного редуктора аналітичним і експериментальним (при різних навантаженнях і числах обертів) методами і порівняти результати.*

### 2.2. Теоретичні відомості

#### Загальні відомості

ККД одна з найважливіших динамічних характеристик машинного агрегату, визначається при сталому режимі роботи машинного агрегату

$$\eta = \frac{A_{\text{ко}}}{A_{\text{р}}} = \frac{N_{\text{ко}}}{N_{\text{р}}}, \quad (1)$$

де  $A_{\text{ко}}, N_{\text{ко}}$  - відповідно робота і потужність сил виробничих (корисних) опорів за розглянутий проміжок часу

$A_{\text{р}}, N_{\text{р}}$  - відповідно робота і потужність рушійних сил за той же проміжок часу.

Величина ККД може змінюватися в межах:

$$0 \leq \eta \leq 1,$$

ККД машини - величина не постійна і залежить від навантаження машини.

До визначеної величини навантаження ККД машини росте, потім падає.

ККД машини - величина не постійна і залежить від її навантаження.

ККД машинного агрегату залежить від типу з'єднання механізмів, що входять у його склад.

Механізм, призначений для зменшення кутової швидкості і збільшення крутячого моменту, називається *редуктором*. Найбільш поширені редуктори (рядні, планетарні, черв'ячні) з евольвентними зубчастими передачами.

В редукторах робота витрачається на подолання сил тертя, на перемішування масла, вентиляцію тощо.

ККД може бути визначений аналітично і експериментально. Для більшості механізмів розроблені аналітичні методи визначення ККД, однак відхилення в якості обробки поверхонь деталей у термічній обробці матеріалів, в умовах змащення дають ряд додаткових факторів, врахувати вплив яких на величину втрат не завжди є можливим і отже, аналітичний метод визначення ККД є недостатньо точним. Тому важливе місце в оцінці ККД механізмів займають експериментальні методи дослідження.

#### Аналітичне визначення ККД черв'ячного редуктора

Теоретично ККД редуктора може бути розрахований по відомим параметрам черв'ячного зачеплення і наступним формулам.

Кут підйому витка (середньої гвинтової лінії) черв'яка визначається по формулі

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{z_1 \cdot P}{\pi \cdot d} = \frac{z_1 \cdot \pi \cdot m}{\pi \cdot d} = \frac{z_1 \cdot m}{d}, \quad (2)$$

де  $z_1$  – число заходів черв'яка,  $z_1=2$ ;

$P$  – крок черв'яка;

$m$  – осьовий модуль,  $m=3$ ;

$d$  – діаметр ділильного циліндру черв'яка, мм,  $d=36$ .

Звідси

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{z_1 \cdot m}{d}, \quad (3)$$

Приведений коефіцієнт тертя при стандартному куті зачеплення  $\alpha=20^\circ$  (зуб черв'яка має трапецеїдальний профіль, тому тертя тут роздивляється як тертя клинчастого повзуна).

$$f' = \frac{f}{\sin(90 - \alpha)} = \frac{f}{\cos \alpha}, \quad (4)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя сталюого черв'яка і бронзового колеса в залежності від швидкості обертання, температури та змащення може бути взятий в межах:

при  $\omega = 142$  рад/с -  $f = 0,03 \dots 0,04$ ;

при  $\omega = 278$  рад/с -  $f = 0,023 \dots 0,03$ .

Тоді приведений кут тертя дорівнює

$$\varphi' = \operatorname{arctg} f', \quad (5)$$

За аналогією з ККД похилої поверхні при підйомі клинчастого повзуна горизонталь-діючою силою, ККД черв'ячної передачі при передачі руху від вала черв'яка до черв'ячного колеса (прямий хід) дорівнює

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \varphi')}, \quad (6)$$

ККД механізму при передачі обертання від вала черв'ячного колеса до вала черв'яка (зворотній хід) дорівнює

$$\eta = \frac{\operatorname{tg}(\gamma - \varphi')}{\operatorname{tg} \gamma}, \quad (7)$$

Експериментальне визначення ККД черв'ячного редуктора

Коефіцієнтом корисної дії редуктора (ККД) називається відношення потужності  $N_2$ , яка знімається з його вихідного вала (під'єданого до виробничої машини), до потужності  $N_1$ , що підводиться до його вхідного вала (що приєднується до двигуна):

$$\eta = \frac{N_2}{N_1}, \quad (8)$$

Через те, що

$$N = \frac{Mn}{716,2}, \text{ к.с.},$$

де  $M$  – момент на валу;  $n$  – число обертів вала, і передаточне відношення механізму є сталою величиною (що має місце в черв'ячній передачі), то

$$\eta = \frac{M_2 \omega_2}{M_1 \omega_1} = \frac{M_2}{M_1 U_{12}} \quad (9)$$

де  $M_1$  і  $M_2$  – відповідно моменти на вхідному і вихідному валах редуктора або моменти рушійних сил і сил опорів;

$\omega_1$  і  $\omega_2$  – кутові швидкості ведучого і відомого ланок;

$U_{12}$  - передаточне відношення редуктора.

З виразу (2) виходить, що для визначення ККД редуктора треба знати крутячі моменти  $M_1$  і  $M_2$ , а також передаточне відношення  $U_{12}$ .

## 2.3. ОСНАЩЕННЯ РОБОЧОГО МІСЦЯ

### 2.3.1. Устаткування і прилади

Установа для визначення ККД черв'ячного редуктора ТММ-39.

### 2.3.2. Опис установки ТММ-39

Основними частинами лабораторної установки (**рис.1**) є електродвигун, черв'ячний редуктор **2** і навантажувальний пристрій **3**, електромагнітне порошкове гальмо серії НТ6У. Статор двигуна встановлений у шарикопідшипникових опорах таким чином, що може обертатися навколо загальної осі з ротором. Пальцем **4** статор упирається в плоску пружину **5** жорстко укріплену на чавунній підставі установки. Пружина **5** обмежує можливість обертання статора. Черв'ячний редуктор складається з західного черв'яка **6** і черв'ячного колеса **7** з 40 зубами. З віссю черв'ячного колеса з'єднаний навантажувальний пристрій **3**. Регулювання гальмового моменту проводиться зміною струму збудження в котушках гальма. Корпус гальма пальцем **8** упирається в плоску пружину, що як і пружина **5** жорстко укріплена на чавунній підставі установки, При пуску двигуна **1**, обертання ротора через вал **10** і черв'ячну пару **6** і **7** передаються гальмовому пристрою в якому створюється гальмовий момент. Про величину гальмового моменту можна судити за вказівкою індикатора **11** (попередньо треба протарирувати пружину **9**). У той же час, реактивний момент, що виникає в електродвигуні, прагне повернути статор у зворотному обертанню ротора напрямку. Величина реактивного моменту двигуна визначається за показаннями індикатора **12** (з попередньо протарированою пружину **5**). Тарувальні графіки пружин **5** і **9**

представлені на **рис 2 і 3**. Для одержання стабільних результатів у визначенні ККД експеримент необхідно робити при встановленій температурі підшипників.

Теоретичні залежності пружин **5 і 9** наступні

$$M_1 = \frac{h_1}{204}, \quad (9)$$

$$M_2 = \frac{h_2}{51}, \quad (10)$$

де  **$h_1, h_2$**  – відповідно, показники індикаторів на електродвигуні та гальмовому пристрої.

Момент рушійних сил  **$M_1$**  та момент сил опору  **$M_2$**  можна визначити також за допомогою тарировочного графіка індикатора електродвигуна та тарировочного графіка індикатора гальм (**див. рис. 2 і 3**).

### **2.3.2. Основні параметри установки**

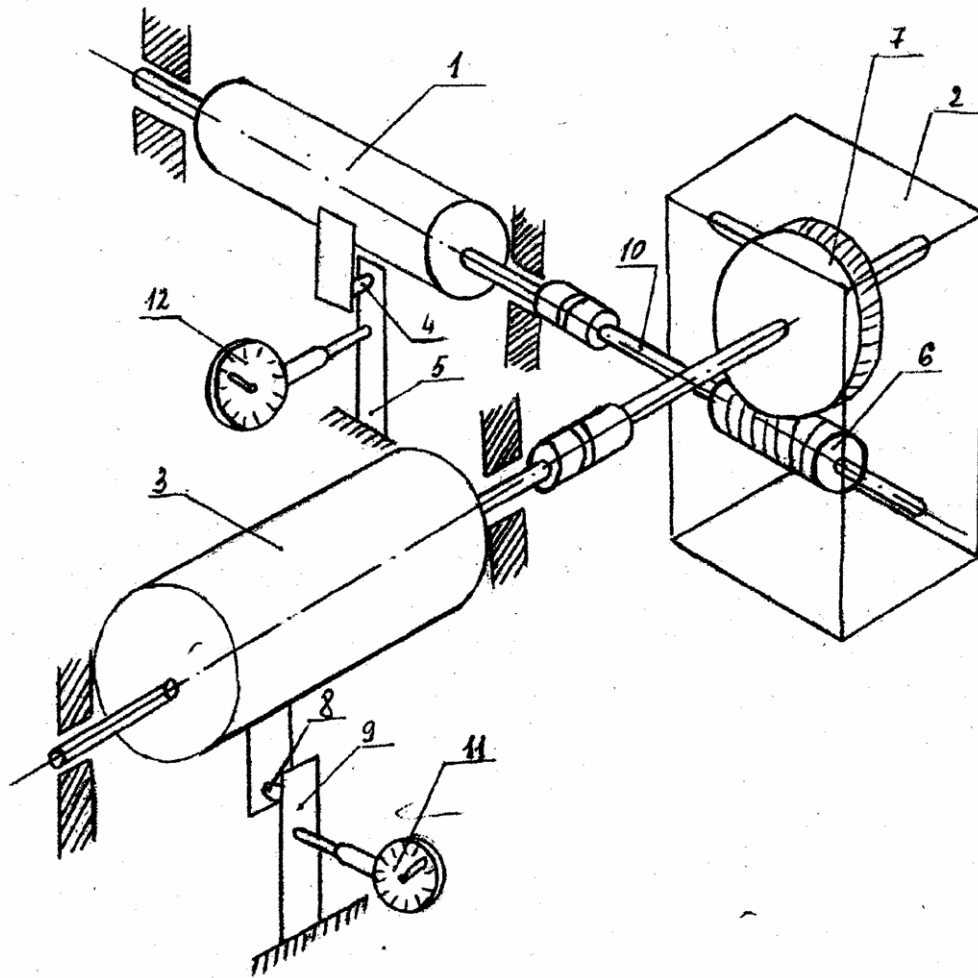
1. Потужність електродвигуна - 1-1,4 кВт. Швидкість обертання рад/с: 142 і 278. Електроживлення від мережі 3-х фазного перемінного струму - 380 В, 50 Гц.

2. Редуктор черв'ячного типу: тип черв'яка – архимедов; число заходів черв'яка – **2**; модуль  **$m$** = 3 мм, число зубів колеса  **$z$** = 40; передаточне відношення  **$U$** =20.

3. Найбільший гальмовий момент, що крутить, НМ-100 (10 кГн).

4. Габарити в мм : 740, 530, 465.

2. Маса, кг – 165.



*1 – електродвигун, 2- редуктор, 3 – порошкові гальма, 4, 8 – упорні пальці, 5,9 – пружинні динамометри, 6 – черв'як, 7 – черв'ячне колесо, 10 - вал, 11,12 – індикатори.*

**Рис.1.** *Схема установки для визначення коефіцієнту корисної дії черв'ячного редуктора.*

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

### **2.4.1. Порядок виконання роботи**

1. Накреслити схему установки, підготувати вихідні дані, потрібні для розрахунків.
2. Перевірити щупом рівень масла в редукторі.
2. Перевірити рівень магнітної суміші в розширювальній ємності гальма, при необхідності долити мастило.



3. Обертанням рукоятки «Швидкість» установити задану швидкість обертання електродвигуна.

4. Включити електродвигун.

5. Відліки індикаторів установити на нуль.

6. Обертанням рукоятки «Навантаження» послідовно створити ряд гальмових моментів на валу черв'ячного колеса, для кожного з яких зняти відліки з індикаторів.

7. Після вимірів у відповідності з тарировочними графіками (*дивись рис.2 і 3*) або формулам (9) і (10) вичислити значення ККД редуктора для різних навантажень.

8. Визначити ККД аналітично по формулам (2...7) і результат порівняти з його експериментальним значенням.

9. Проаналізувати залежність ККД від величини навантаження, швидкості обертання, пояснити розбіжність у визначенні ККД експериментальним і розрахунковим шляхом.

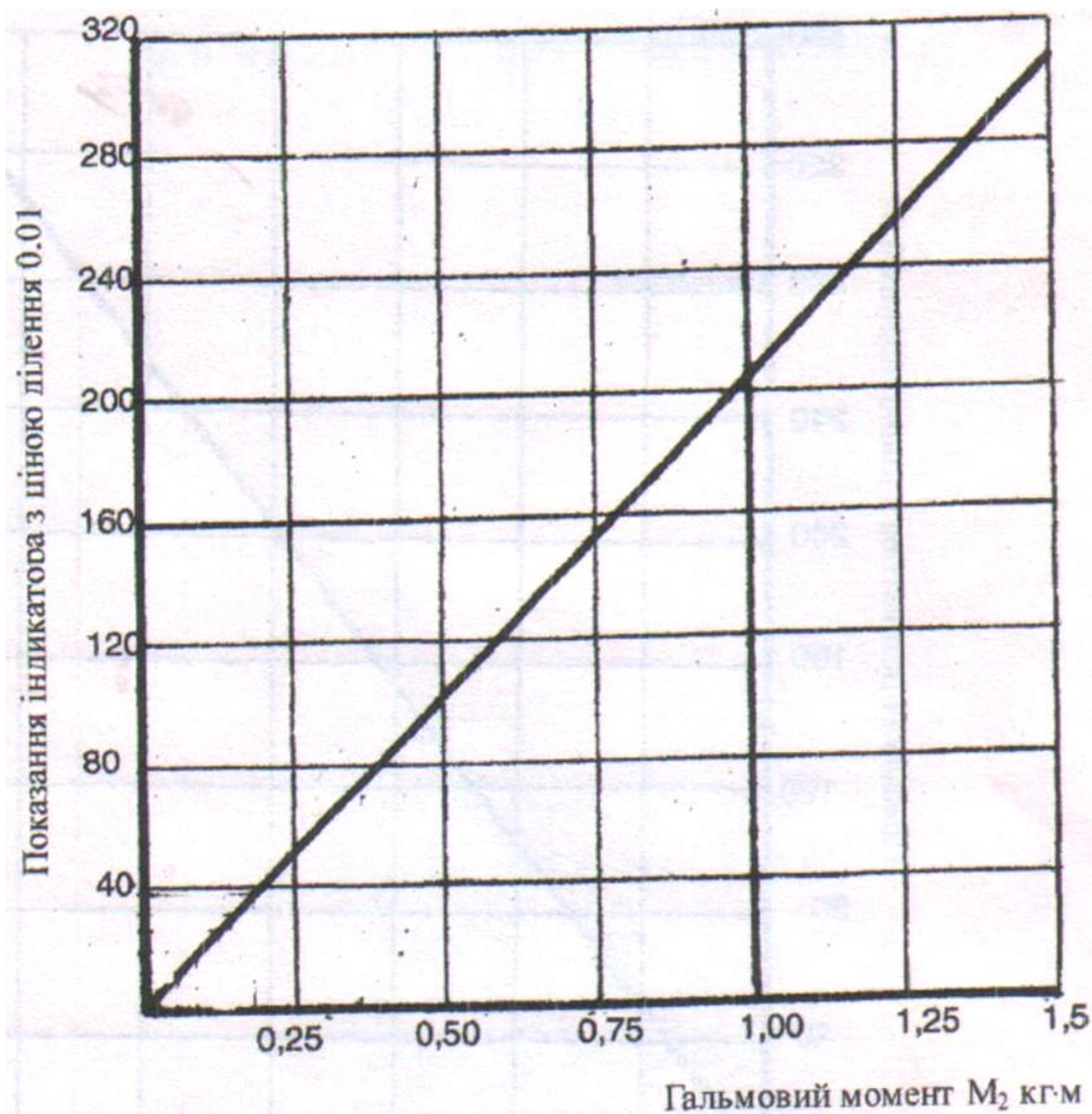


Рисунок 2 – Тарировочний графік індикатора електродвигуна

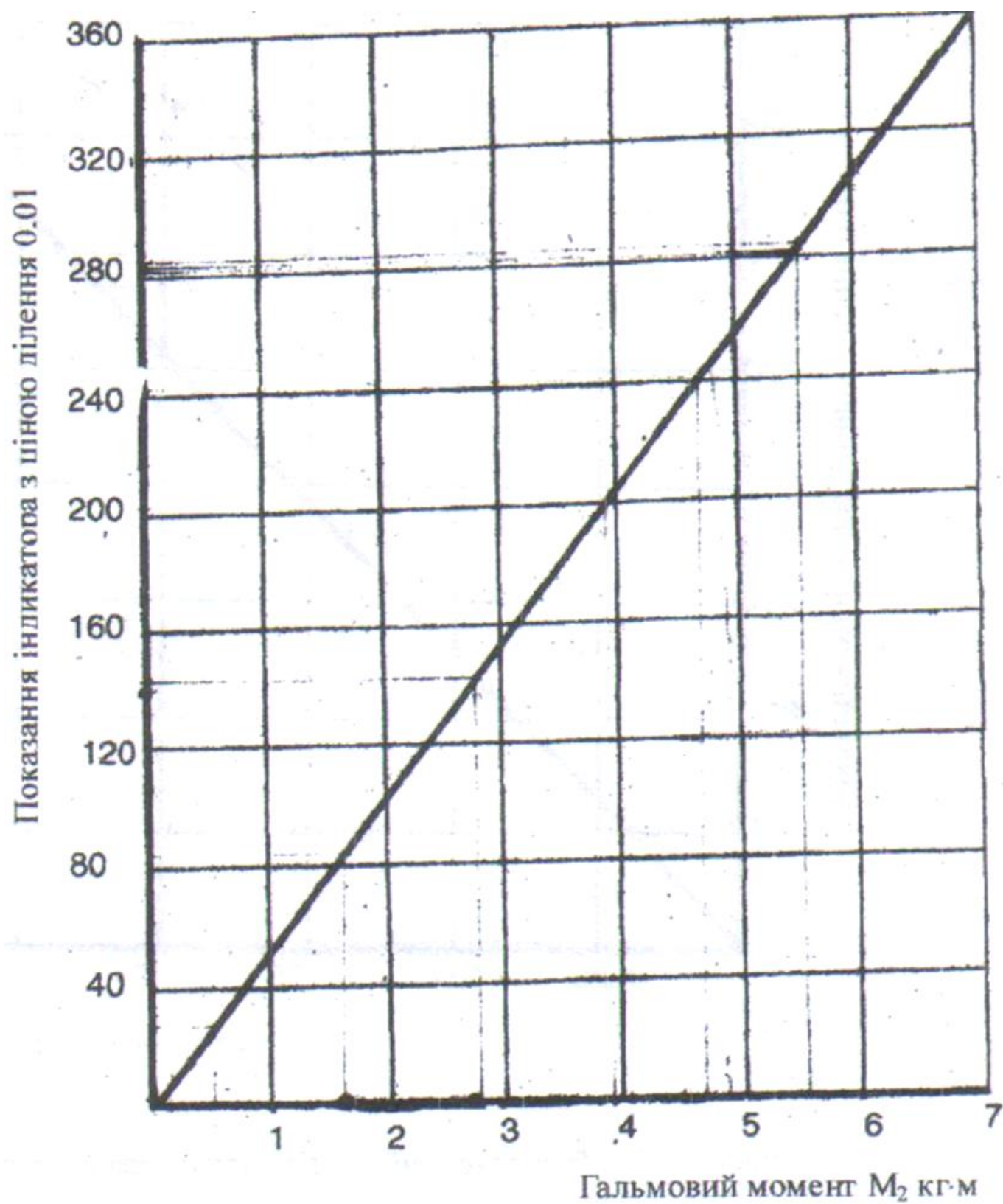


Рисунок 3 – Тарировочний графік індикатора гальм

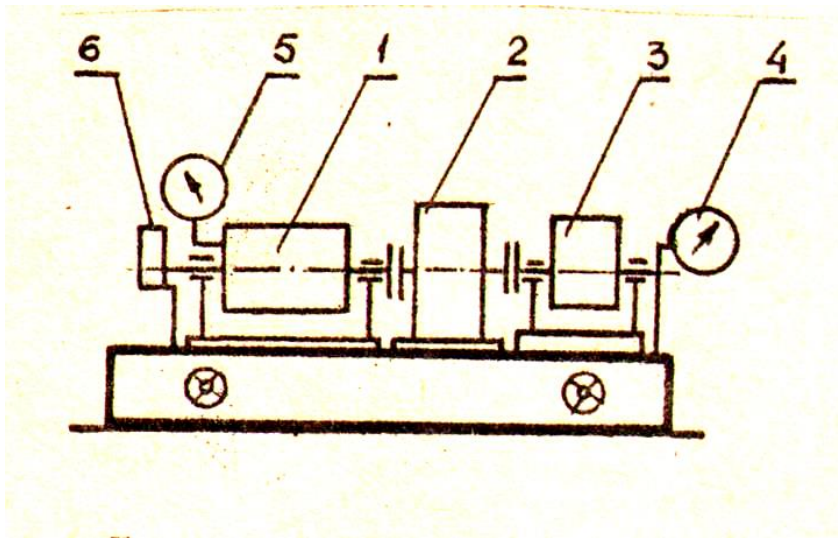
## 2.4.2. Форма звіту

### Лабораторна робота №10

Тема роботи: **Визначення к.к.д. черв'ячного редуктора**

Мета роботи:

#### 1. Схема установки



- 1 – електро двигун постійного струму; 2 - редуктор (черв'ячний); 3 - електромагнітні порошкові гальма; 4 – індикатор моменту гальм; 5 – індикатор крутячого моменту електродвигуна; 6 - тахометр.

#### 2. Характеристика редуктора:

число заходів черв'яка –  $z_1=2$

модуль –  $m= 3$  мм

число зубів колеса – 40

передаточне відношення  $U=20$

матеріал: 1) черв'яка – сталь

. 2) черв'ячного колеса – бронза.

### 3. Визначення ККД редуктора за відліками по індикатору

Визначення величини		Позначення	Навантаження				
			1	2	3	4	5
Двигун	Показник індикатора	$h_1$					
	Реактивний момент	$M_1$					
	Момент, що приведений до гальм	$M_1 U_1$					
Гальма	Показник індикатора	$h_2$					
	Гальмовий момент	$M_2$					
	ККД редуктора	$\eta$					

### 4. Розрахунок ККД аналітичним методом:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \rho'_1)}, \quad \rho' = \operatorname{arctg} f$$

### 5. Висновок:

Роботу виконав: \_\_\_\_\_ Дата „ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_  
 Роботу прийняв: \_\_\_\_\_

### 2.5. Питання до самоконтролю

1. Що таке механічний ККД?
2. У яких межах змінюється механічний ККД?
3. Чому дорівнює ККД при послідовному з'єднанні?
4. Чому дорівнює ККД при паралельному з'єднанні?

5. Перелічити шляхи підвищення ККД механізму.

6. Як впливає характер з'єднання механізмів машини на її загальний ККД?

7. Робота яких сил завжди позитивна?

8. Робота яких сил може бути як позитивною, так і негативною?

9. робота яких сил завжди негативна?