

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

До друку дозволяю



проректор Руслан МИГУЩЕНКО

ДОВОЗВОЛЯЮ
з кафедр
ARush
23. липня 2023р.

«Лопатеві гідравлічні машини та передачі»

Методичні вказівки

для студентів 145 спеціальності

«Відновлювальні джерела енергії та гідроенергетика»

ПЕРЕВІРЕНО ОРИГІНАЛ-МАКЕТ
Автор *Евгень*

ПЕРЕВІРЕНО
Зав. РВВ *Евгень* Єфремова М. П.

Затверджено редакційно-видавничою
радою НТУ «ХПІ»
Зав. РВВ *Евгень* Єфремова М. П.

Рекомендовано

редакційно-видавничою

радою університету,

протокол № 2 від 28.06.23 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт

з курсу «Лопатеві гідравлічні машини та передачі»

для студентів спеціальності

145 «Відновлювальні джерела енергії та гідроенергетика»,

Затверджено

редакційно-видавничою

радою університету,

протокол №2 від 28.06.23 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2023

Методичні вказівки до виконання контрольних завдань з курсу «Лопатеві гідравлічні машини та передачі» для студентів спеціальності 145 «Відновлювальні джерела енергії та гідроенергетика» / уклад. Ю. М. Кухтенков. – Харків : НТУ «ХПІ». – 22 с.

Укладач Ю. М. Кухтенков

Рецензент К. А. Миронов

Кафедра гідравлічних машин ім. Г. Ф. Проскури

Лабораторна робота 1

ВИПРОБУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ МУФТИ

Мета роботи – експериментальне визначення зовнішніх характеристик гідромуфти [1–3].

Гідромуфта (ГМ) призначена для передачі механічної енергії від двигуна до приводного механізму без жорсткого зв'язку між ведучим та веденим її валами і являє собою гранично зближені в одному корпусі насосне та турбінне колесо.

Передача енергії від насосного колеса до турбінного відбувається за допомогою рідини (мінеральні масла, вода), що заповнює проточну порожнину. В ГМ крутні моменти на насосному та турбінному валах на усіх режимах роботи рівні по величині та протилежні по знаку.

ГМ використовується у багатьох машинах та механізмах при необхідності:

- 1) регулювання частоти обертання приводів (вентиляторів, турбоповітрядувів, живлячих насосів теплових електростанцій, шахто-під'ємних машин та ін.);
- 2) розгін великих махових мас (у приводі центрифуги, при запуску газових турбін, для розворота та розгону ротора гвинтокрила, у тепловозах та ін.);
- 3) підсумовування потужностей та реверса (в судових установках).

Цим, звісно, не обмежується область використання ГМ. Їх встановлення, як правило, полегшує управління машинами, підвищує їх економічність, надійність та довговічність[1–3].

На нафтопромислах, поряд з турбобурами, широко використовуються гідропередачі – гідротрансформатори та ГМ для регулювання частоти обертання бурильної колони

За даними випробувань отримують зовнішню характеристику ГМ, яка може бути представлена як розмірна, приведена, відносна та універсальна, рис.1.1–1.4 [5].

Зовнішня характеристика (розмірна) ГМ являє собою залежність крутного моменту M , потужності насосного N_1 та турбінного N_2 колеса та ККД η від частоти обертання n_2 турбінного колеса при постійній частоті обертання насосного колеса. n_1 , рис. 1.1.

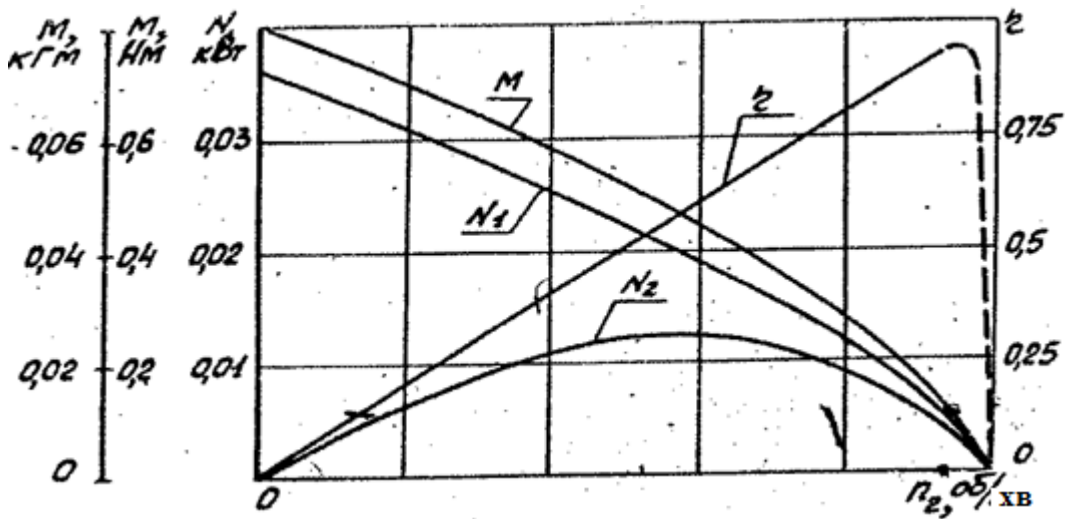


Рисунок 1.1 – Зовнішня характеристика ГМ

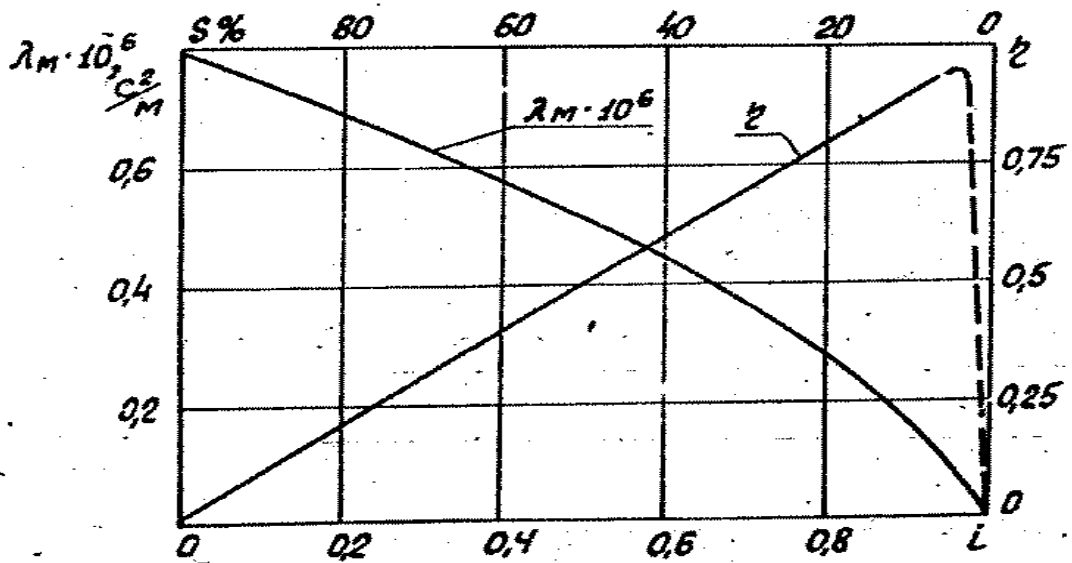


Рисунок 1.2 – Приведена характеристика ГМ

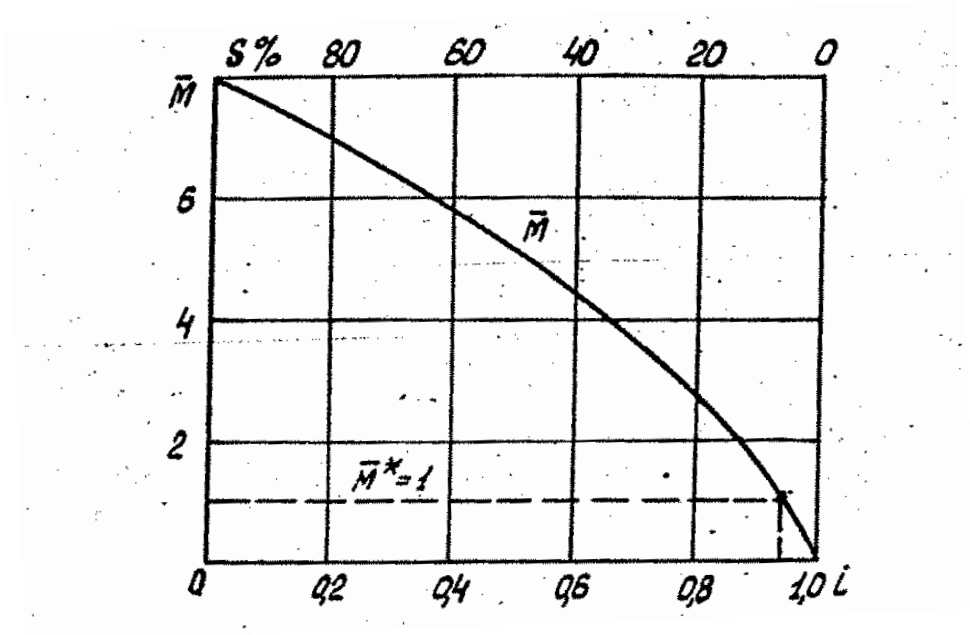


Рисунок 1.3 – Відносна характеристика ГМ

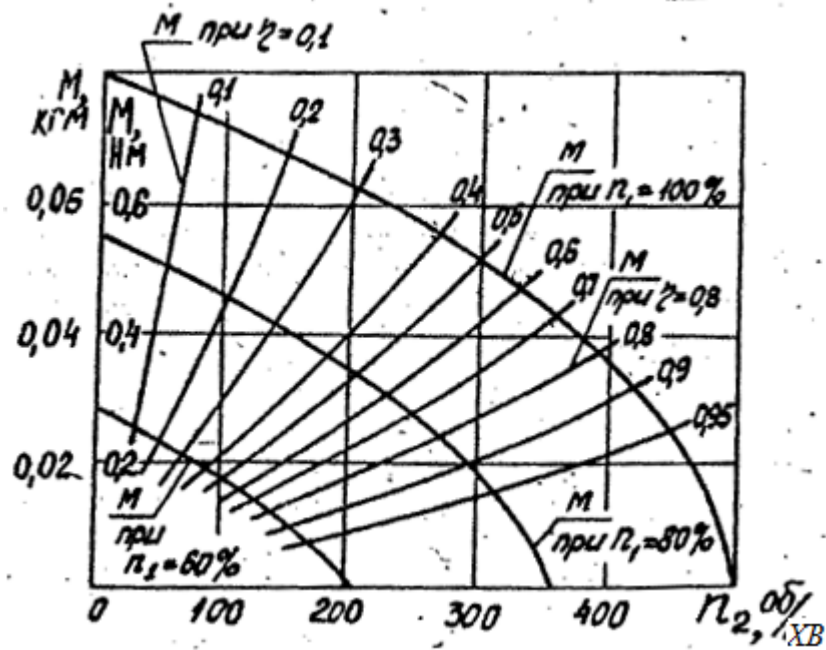


Рисунок 1.4 – Універсальна характеристика ГМ

Часто при побудові зовнішньої характеристики обмежуються нанесенням залежностей $M = f(n_2)$ та $\eta = f(n_2)$.

ККД ГМ при постійній частоті обертання насосного колеса n_1 змінюється залежно від n_2 або i , близько до лінійного закону, оскільки

$$\eta = i = \frac{n_2}{n_1},$$

за винятком режимів, правіше оптимального.

Приведена характеристика ГМ являє собою залежність коефіцієнта моменту λ_m та ККД η від передатного відношення i або ковзання, рис. 1.2

$$S = 1 - \frac{n_2}{n_1} = 1 - i.$$

Відносна характеристика являє собою залежність $\bar{M} = f(i)$ або $\bar{M} = f(s)$, де \bar{M} – відношення поточного моменту обертання до моменту при оптимальному передатному відношенні i^* або ковзанні S^* ; звичайно S^* знаходиться у межах 0,02-0,05, рис.2.27. Ця характеристика безрозмірна. Ковзання може бути виражено також у процентах. В цьому випадку $S^* = 2-5\%$.

Універсальна характеристика являє собою залежність крутних моменті $M_{ст.}$ частоти обертання турбінного колеса n_2 при різних частотах обертання насосного колеса, рис 1.4. Кожна з кривих $M = f(n_2)$ відповідає визначеній частоті обертання насосного колеса, що виражена у процентах від максимальної. Тут же наносять криві моментів при однакових значеннях ККД. Для побудови універсальної характеристики ГМ проведемо випробування ГМ з визначенням зовнішніх (розмірних) характеристик при трьох значеннях n_1 .

1.1 Опис експериментального стенда

Експериментальний стенд складається з приводного електродвигуна 1 постійного току потужністю $N = 6,8$ кВт та номінальної частоти обертання $n_1 = 460$ об/хв, прозорі ГМ 2 з активним діаметром $D_a = 0,2$ м, механічного тормозу 3 з важелем 4, вагами 5 для виміру крутного моменту, тахогенераторів 6, пульта управління 7, тахометрів 8 та 9 (на пульті управління) для виміру частоти обертання n_1 (насосного валу) та n_2 (турбінного валу) рис.1.5.

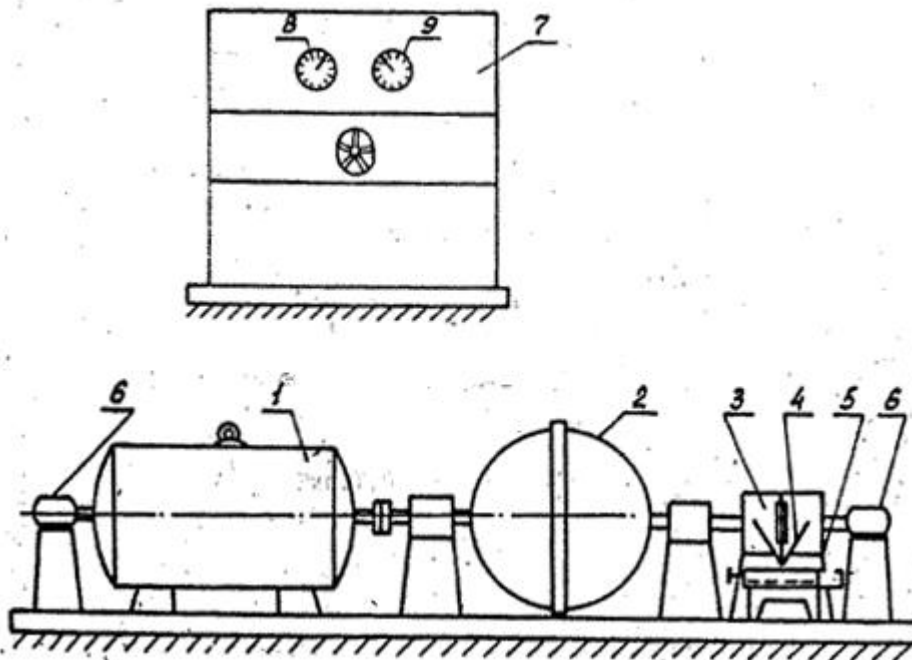


Рисунок 1.5– Експериментальний стенд для випробування ГМ

1.2 Проведення випробувань та вимірів

Перед запуском електродвигуна 1 перевірити ступінь заповнення рідиною робочої порожнини гідромуфти

$$q = \frac{W_{ж}}{W_n} 100 \%,$$

де $W_{ж}$ – об'єм рідини, залита в гідромуфту, W_n – об'єм проточної порожнини ГМ.

Виміряти початкове показання ваг P_0 . Пуск здійснюється при малій частоті обертання n_1 , яка поступово збільшується до робочої.

Зміна режиму роботи гідромуфти (зміна M та n_2) здійснюється за допомогою механічного тормоза. Всього знімають 8–10 вимірів, починаючи з режиму холостого ходу до режиму загальмованої турбіни (відповідає 100 % ковзанню) при $n_1 = 500$ об/хв.

Для побудови універсальної характеристики проведемо аналогічні випробування ще при $n_2 = 400$ об/хв та $n_3 = 300$ об/хв.

На кожному режимі необхідно виміряти n_1 та n_2 тахометрами і навантаження P в кГ зважуванням та записати у протокол випробувань.

Вимір крутного моменту

В гідромуфті крутні моменти на насосному та турбінному валах практично однакові на усіх режимах її роботи, тому достатньо виміряти момент на одному з валів.

Моментом тертя у підшипниках та сальниках через його невеликий розмір нехтуємо.

Вимірний крутний момент в кГм

$$M'_{\text{вим}} = L(P - P_0),$$

де $L = 0,5$ м – довжина важелю; P_0 – початкове показання ваг в кг; P – поточне показання ваг в кг.

Вимірний крутний момент в Нм

$$M_{\text{вим}} = g M'_{\text{вим}}$$

де $g = 9,81$ м/с².

1.3 Обробка результатів випробування

1. При зміні потужності на турбінному валу та у зв'язку з коливаннями напруги у загальній електромережі частота обертання насосного вала може дещо змінюватись. Через те, що характеристика гідромуфти будується при $n_1 = \text{const}$, то необхідно виміряні значення $M_{\text{вим}}$ перерахувати до однієї постійної частоти обертання n_1 :

$$M = M_{\text{вим}} \left(\frac{n_1}{n_{1\text{вим}}} \right)^2$$

2. Перераховані для заданої частоти обертання насосного вала $n_1 = \text{const}$ частоти обертання турбінного вала визначають таким чином:

$$n_2 = n_{2\text{вим}} \left(\frac{n_1}{n_{1\text{вим}}} \right)$$

Значення коефіцієнтів моменту визначаємо в с²/м по формулі

$$\lambda_{\text{м.}} = \frac{M}{\gamma \cdot n_1^2 \cdot D_a^5},$$

де γ – питома вага робочої рідини в Н/м³; $D_a = 0,2$ м, активний діаметр ГМ.

4. Значення відносних моментів визначаємо по формулі

$$\bar{M} = \frac{M}{M^*},$$

де M^* – крутний момент при максимальному значенні ККД

Таблиця 1 – Протокол випробувань та розрахунків ГМ $q = 20 \%$, $L = 0,5$ м,
 $\gamma_1 = 1000$ кг/м³, $P_0=0$.

№ п/п	$n_{1\text{вим.}}$ об/хв	$n_{2\text{вим.}}$ об/хв	n_2 об/хв	$P-P_0$ кГ	$M'_{\text{вим.}}$ кГм	$M_{\text{вим.}}$ Н·м	M Н·м	λ с ² /м	i	S	$\eta \approx i$	\bar{M}
1	500	400	400	0,03								
2	500	330	330	0,04								
3	500	200	200	0,05								
4	500	150	150	0,075								
5	500	0	0	0,102								

1.4 Зміст звіту

- 1.Схема установки та її опис.
- 2.Методика випробувань та обробка дослідних даних
- 3.Протокол випробувань ГМ
4. Побудова графіків-зовнішньої розмірної, наведеної, відносної та універсальної характеристик ГМ, відповідно рис. 2.25-2.28

Контрольні запитання:

1. Пристрій та принцип роботи ГМ.
2. Область застосування ГМ.
- 3.Методика вимірювання крутного моменту та частоти обертання ГМ.
4. Як проводиться запуск ГМ?
5. За допомогою чого змінюється режим роботи ГМ?
6. Що таке зовнішня розмірна, наведена, відносна та універсальна характеристики ГМ?
7. Як проводити побудову зовнішніх характеристик за експериментальними даними?

Лабораторна робота 2

ВІЗУАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКУ У ГІДРОМУФТІ ПРИ ЧАСТКОВИХ НАПОВНЕННЯХ

Мета роботи: вивчення форми потоку в проточній частині ГМ при часткових наповненнях.

Одним із способів регулювання частоти обертання веденого (турбінного) вала ГМ при постійній частоті обертання ведучого (насосного) вала є зміна наповнення. Ступінь наповнення характеризується коефіцієнтом наповнення $q = \frac{W_{ж}}{W} 100\%$, де $W_{ж}$ – обсяг рідини залитої в ГМ, а W – обсяг проточної порожнини ГМ.

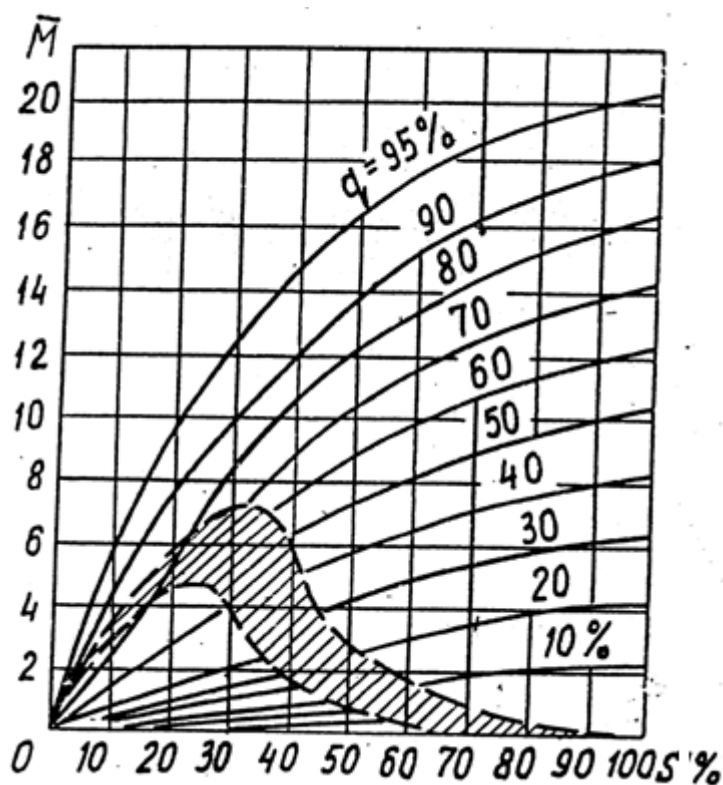


Рисунок 2.1 – Експериментальні зовнішні характеристики ГМ за різних наповненнях

На рис. 2.1 наведено експериментальні зовнішні характеристики ГМ за різних її наповненнях [1–3]. При часткових наповненнях і за певних передатних відношеннях i або ковзаннях $S = 1-i$ виникає нестійка робота ГМ, що супроводжується різкими коливаннями моментів та частоти обертання веденого вала. На рис.2.30 ця зона нестійкої роботи виділена заштрихованою областю. Виникнення нестійкої роботи пояснюється складним характером

руху рідини та її зміною за зміни ковзання, що видно з рис.2.2. Тут чітко простежується переход від руху рідини по малому колу циркуляції (б, в) до великого (г). Цей перехід відбувається стрибкоподібно при значному збільшенні жорсткості ГМ. Вона працює стійко при обох формах руху рідини, але і в області переходу від однієї форми до іншої втрачає стійкість.

Для боротьби з раптовою зміною форми руху рідини, тобто. з переходом потоку її руху по малому колу циркуляції до великого та назад, на виході турбінного колеса встановлюють дросельний диск (поріг). Є й інші конструктивні заходи, такі, як встановлення різної конфігурації та розмірів внутрішніх торів у насосному та турбінному колесах. Проте найефективнішим є дросельний диск (поріг) [1–3].

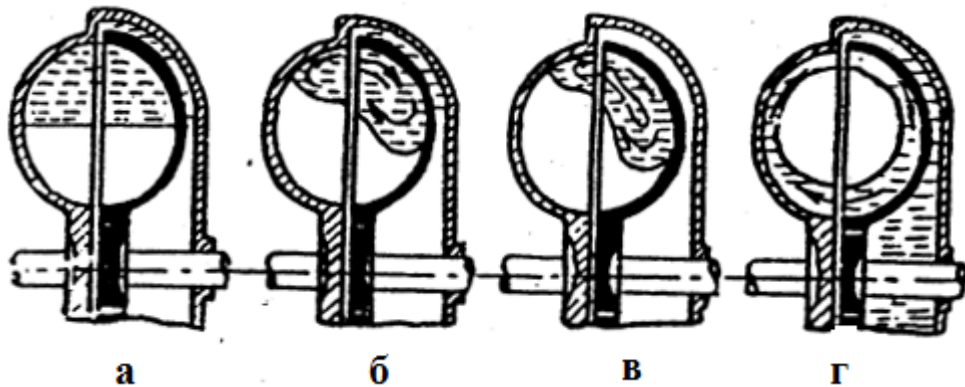


Рисунок 2.2– Форми руху рідини у порожнині ГМ

У цій роботі випробування проводяться при $n_1 = 300 \text{ хв}^{-1}$. Спостерігають характер руху рідини при різних ковзаннях за допомогою стробоскопа. Він дозволяє реалізувати стробоскопічний ефект, що полягає в тому, що, якщо частота спалаху стробоскопічної лампи стає кратною частоті обертання деталі, то останню ми бачимо ніби нерухомою. Завдяки цьому вдається спостерігати через прозорі робочі колеса та корпус рух рідини у міжлопаткових каналах ГМ.

2.1 Експериментальний стенд

У цій роботі використовується стенд рис. 1.5, опис лабораторної роботи № 1.

Додатковою частиною установки в даній роботі є переносний стробоскоп, що дозволяє вести спостереження за потоком рідини в прозорій я ГМ, що виконана з оргскла.

Стробоскоп [4] включає стробоскопічну лампу, електронно-керуючий пристрій (ЕКП), блок живлення. Конструктивно все розташоване в одному корпусі. Призначення ЕКП: регулювання частоти спалахів імпульсної лампи.

2.2 Проведення випробувань

Перед пуском визначається ступінь наповнення рідиною проточної порожнини ГМ, що характеризується коефіцієнтом наповнення $q, \%$. Запуск здійснюється при малій частоті обертання n_1 , яка поступово підвищується до робочої при повністю звільненому гальмі. Режим роботи ГМ змінюється з допомогою механічного гальма. На кожному режимі вимірюють n_1 та n_2 за допомогою тахометрів і записують у протокол.

Вивчення форми потоку за допомогою стробоскопа здійснюють на режимах, починаючи з режиму холостого ходу до режиму загальмованої турбіни (що відповідає ковзанню $S=100\%$), при постійній частоті обертання насосного колеса n_1 (не більше 300 хв^{-1}).

2.3 Робота зі стробоскопом

1. *Вимоги з техніки безпеки* [4]:

- а) при перерві прилад відключити від мережі;
- б) забороняється проводити зміну запобіжників стробоскопічної лампи або усувати несправності при включеному приладі;
- в) спостерігаються у світлі стробоскопа деталі, що обертаються, можуть здаватися нерухомими внаслідок стробоскопічного ефекту.

УВАГА! Остерігайтеся дотику рукою до деталей, що обертаються, які у світлі стробоскопа можуть здаватися нерухомими.

2. Експлуатація стробоскопа:

- а) включити вилку стробоскопа в мережу змінного струму напругою 220 В;
- б) встановити перемикач (натиснути клавiшу) потрібного піддіапазону частот спалаху лампи у потрібне положення;
- в) обертаючи диск (ручку) плавного регулювання частоти спалаху стробоскопічної лампи, досягайте, щоб корпус, що обертається, і лопатки ГМ здавалися нерухомими.

Таблиця 2 – Протокол випробувань ГМ

№ п/п	n_1, XB^{-1}	n_2, XB^{-1}	i	$S=I-i$	Форма руху рідини, що спостерігається
1	300	250			
2	300	0			

2.4 Зміст звіту:

1. Пояснити, що таке зона нестійкої роботи ГМ при часткових наповненнях, згідно рис. 2.1 і 2.2.
2. Сутність стробоскопічного ефекту, правила техніки безпеки та роботи із стробоскопом.
3. Заповнений протокол випробувань.
4. Зображення (замальовування) форми потоку в порожнині ГМ.

Контрольні запитання:

1. Чому виникають нестійкі режими роботи ГМ при частковому наповненні?
2. При яких ковзаннях спостерігаються нестійкі режими роботи ГМ?
3. Які конструктивні заходи застосовуються для зменшення чи усунення зони нестійкої роботи ГМ?
4. Що таке стробоскопічний ефект?
5. Пристрій стробоскопа та робота з ним.
6. Вимоги щодо техніки безпеки при роботі зі стробоскопом.

Лабораторна робота 3

ВИПРОБУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Мета роботи: експериментальне визначення зовнішньої характеристики ГТР.

ГТР призначений для перетворення обертового моменту при передачі механічної енергії від двигуна до приводного механізму і представляє зближені в одному корпусі насосне і турбінне робочі колеса і реактор (напрямний апарат).

В залежності від призначення застосовують гідротрансформатори з різними схемами проточної частини [1–4].

Гідротрансформатори знайшли широке застосування завдяки таким цінним якостям, як відсутність зв'язку між ведучим і веденим валами, безступінчаста автоматична зміна крутного моменту на веденому валу та його частоти обертання, а отже, і швидкості транспортної машини, демпфування крутильних коливань і ударних впливів, автоматичне пристосування спільної характеристики двигуна і гідротрансформатора до мінливого навантаження або профіль шляху, можливість автоматизації управління, надійність і довговічність та ін.

Властивості гідротрансформатора визначаються його зовнішньою характеристикою. Зовнішня характеристика може бути представлена: як розмірна (рис. 3.1), приведена (рис. 3.3), відносна (рис. 3.2) і універсальна (рис. 3.4) [1–5].

Зовнішня характеристика (розмірна) гідротрансформатора є графіком, на якому нанесені криві:

$$M_1=f_1(n_2); M_2=f_2(n_2); N_1=f_3(n_2); N_2=f_4(n_2); \eta=f_5(n_2); k=f_6(n_2),$$

де M_1 – крутний момент насосного колеса (на провідному валу), Нм (кГм); M_2 – крутний момент турбінного колеса (на веденому валу), Нм (кГм); N_1 – потужність насосного колеса, кВт; N_2 – потужність турбінного колеса, кВт; $\eta = N_2/N_1$ – ККД гідротрансформатора; $k = M_2/M_1$ – коефіцієнт трансформації; n_2 – частота обертання турбінного колеса (провідного вала).

Приведена характеристика гідротрансформатора являє собою графік, на якому нанесені криві:

$$\lambda_{M1} = f_1(i); \eta = f_2(i); k = f_3(i),$$

де $\lambda_{M1} = \frac{M_1}{\gamma_1^2 D_a^5}$ – коефіцієнт моменту насосного колеса, D_a – характерний розмір (активний діаметр) кола циркуляції; n_1 – частота обертання насосного колеса, об/хв; γ – питома вага робочої рідини, Н/м³

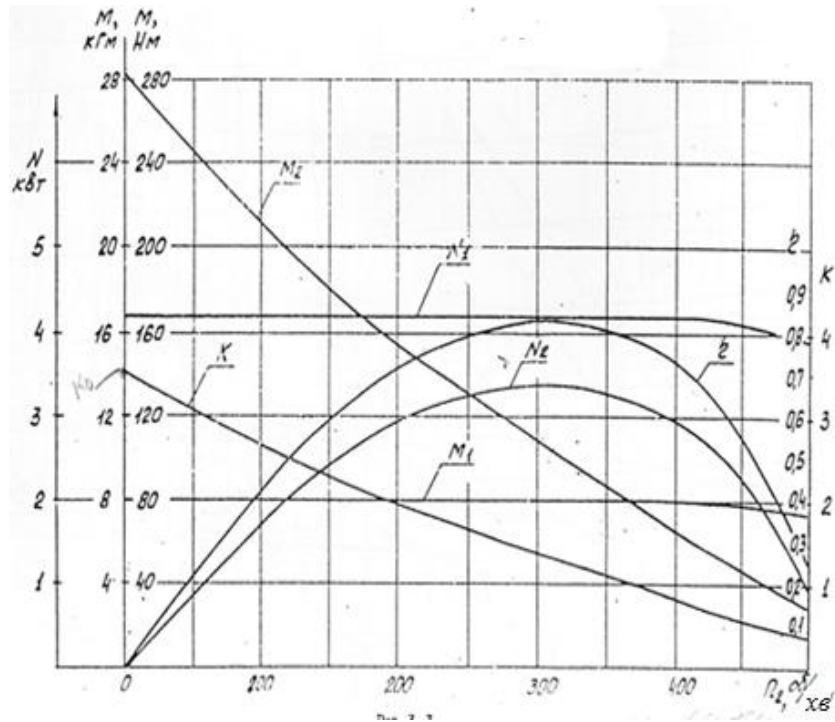


Рисунок 3.1– Розмірна характеристика ГТР

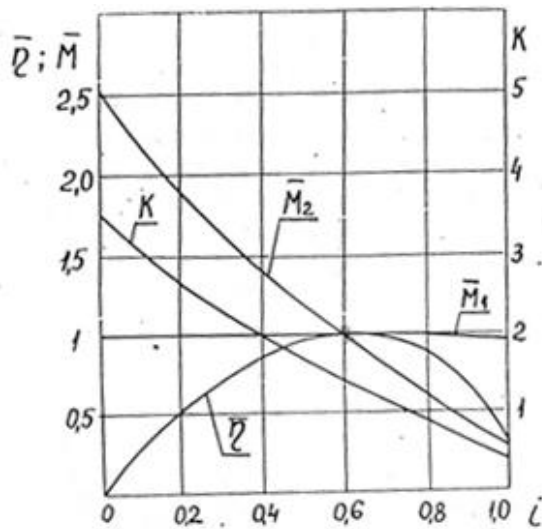


Рисунок 3.2 – Відносна характеристика ГТР

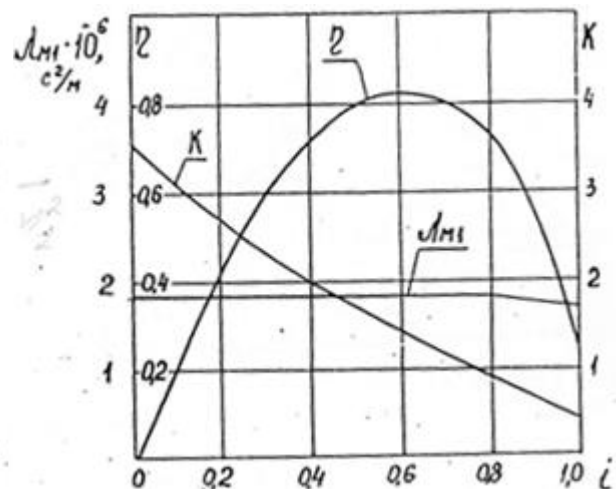


Рисунок 3.3 – Приведена характеристика ГТР

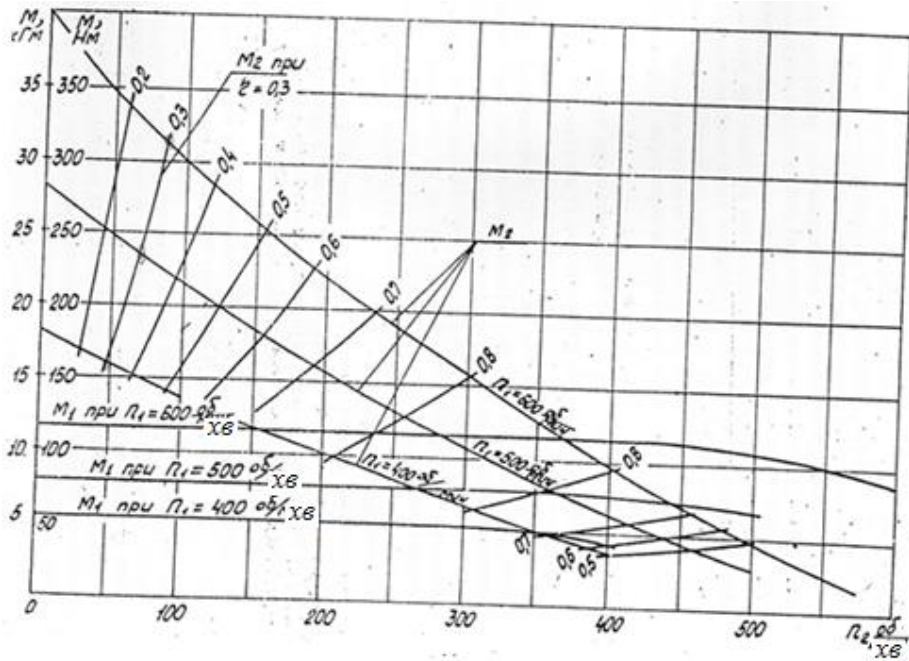


Рисунок 3.4 – Універсальна характеристика ГТР

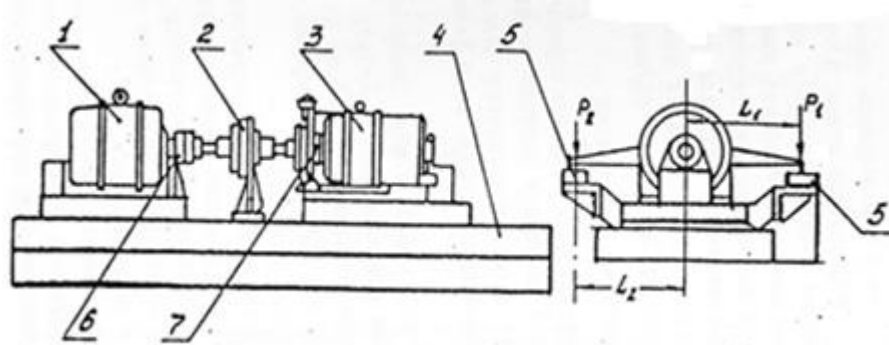


Рисунок 3.5 – Експериментальний стенд для випробувань ГТР

Таблиця 3 Протокол досліджень:

Тип моделі ГТР	Робоча рідина:	Початкове показання вагів $P_{01} = \text{кг}$ - для насосного колеса;
Оптимальне передатне відношення i_{opt} =	Питома вага $\gamma = \text{кг/м}^3$	$P_{02} = \text{кг}$ - для турбинного колеса
Активний діаметр $D_a = \text{м}$.	Кінематичний коефіцієнт	
Частота обертання насосного колеса $n_1 = \text{об/хв}$.	$\delta = \text{м}^2/\text{с}$ при	
	$t = \text{с}$	

№/п замірів	Робоча рідина		Механічні параметри на входному валу моделі								Механічні параметри на вихідному валу моделі							Безрозмірні параметри				
	$t, ^\circ\text{C}$	$P_1, \text{кг/см}^2$	$n_{1вх}, \text{об/хв}$	$P_1, \text{кг}$	$P_1^{(3)}, \text{кг}$	$M_{1вх}, \text{кгм}$	$M_{1вх}, \text{Нм}$	$M_1, \text{Нм}$	$\lambda_{м1}$	$N_1, \text{кВт}$	$n_{2вх}, \text{об/хв}$	$n_2, \text{об/хв}$	$P_2, \text{кг}$	$P_2^{(4)}, \text{кг}$	$M_{2вх}, \text{кгм}$	$M_{2вх}, \text{Нм}$	$M_2, \text{Нм}$	$N_2, \text{кВт}$	i	η	K	$\bar{\eta}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1																						
2																						
3																						

Примітки:

- 1) Температура на виході з моделі
- 2) Тиск на вході у модель
- 3) $P_1' = P_1 - P_{01}$; 4) $P_2' = P_2 - P_{02}$

Відносна характеристика є залежністю

$$\bar{M}_1 = M_1 / M_1^* = f_1(i); \quad \bar{M}_2 = M_2 / M_2^* = f_2(i); \quad \bar{\eta} = \eta / \eta^* = f_3(i); \quad k^* = f_4(i);$$

де * – означає оптимальний режим.

Розмірна характеристика знімається безпосередньо при випробовуванні гідротрансформатора на стенді шляхом вимірювання крутних моментів M_1 , M_2 при різних n_2 , а $n_1 = \text{const}$.

Наведена та відносна характеристики виходять перерахунком розмірної характеристики за наведеними вище формулами. Отже, ці характеристики визначають роботу гідротрансформатора за постійної частоти обертання вхідного валу, тобто при $n_1 = \text{const}$.

У багатьох випадках гідротрансформатори працюють при змінній частоті обертання. Тому будують ще універсальну характеристику, яка виходить шляхом побудови на одному полі ряду зовнішніх характеристик, знятих за різних частот обертання вхідного валу n_1 , (рис.3.4). Спосіб побудови універсальної характеристики наведено в [1,2].

3.1 Опис експериментального стенда

Зовнішня характеристика гідротрансформатора будується на основі результатів вимірів, що отримані при випробуванні на лабораторному стенді гідродинамічних передач (рис. 3.5). Випробувальний стенд обладнано балансирними електромашинами постійного струму. Живлення електродвигуна здійснюється від перетворювальної станції постійним струмом. Стенд складається з приводного балансирного електродвигуна 1, гідротрансформатора 2 і гальма 3, встановлених на фундаментах 4. До складу стенда входять також допоміжні системи регулювання частоти обертання електромашин і живлення гідротрансформатора робочою рідиною.

Привідний електродвигун 1 є балансовою електромашиною постійного струму потужністю 41 кВт з діапазоном регулювання частот обертання від 0

до 600 об/хв. Корпус двигуна встановлений на опорі за допомогою підшипників кочення так, що при навантаженні він передає зусилля на ваги 5. Гідротрансформатор 2 є одноступінчастим чотириколісним прямого ходу з відцентровою турбіною. За допомогою пружних муфт 6 він з'єднаний з приводним електродвигуном 1 і гальмом 3. Проточна порожнина з'єднана з системою живлення робочою рідиною, яка складається із знімного насоса (шестерного), фільтрів, холодильників та бака для робочої рідини.

Гальмо 3 являє собою баланс і генератор, на якому змонтоване стрічкове гальмо 7 з водяним охолодженням. Гвинтовий механізм натягу стрічки з'єднаний з корпусом, а шків насаджений на кінець вала генератора і з'єднується напівмуфтою з вихідним валом гідротрансформатора. Гальмування турбіни здійснюється за допомогою вказаного гальма.

Для контролю роботи стенда та вимірювань під час випробувань гідродинамічного трансформатора стенд обладнано пристроями та приладами, що дозволяють контролювати та підтримувати заданий режим роботи та одночасно проводити виміри, необхідні для побудови зовнішньої характеристики гідротрансформатора.

Влаштування стенда забезпечує точність вимірювання ККД гідродинамічного трансформатора $\pm 1\%$ у межах вимірювання частот обертання приводного двигуна від 300 до 600 об/хв.

3.2 Проведення випробувань та вимірів

При знятті зовнішньої характеристики гідротрансформатора випробування проводяться при постійній розрахунковій частоті обертання вхідного валу 7 і змінній частоті обертання вихідного валу, починаючи від режиму повністю загальмованої турбіни і до режиму холостого ходу.

Випробування проводять при $n_1 = 600$ об/хв. Після обробки дослідних даних будують графіки згідно з рис. 3.1-3.3. Для побудови універсальної зовнішньої характеристики (рис.3.4) додатково проводять випробування при

$n_1 = 500$ об/хв і 400 об/хв і будують зовнішні розмірні характеристики (рис.3.1).

Під час зняття зовнішньої характеристики підтримують постійними параметри робочої рідини (тиск живлення та температуру робочої рідини на вході та виході гідродинамічного трансформатора). Безпосередньому виміру піддаються крутні моменти та частоти обертання на вхідному та вихідному валу.

Вимірювання крутних моментів проводиться за зважуванням реакції статора електродвигуна (для насосного колеса) і шляхом зважування зусилля, що передається від стрічкового гальма (для турбінного колеса).

Виміряні моменти, в кГм на насосному і турбінному валах визначаємо без врахування втрат тертя в підшипниках і сальниках за формулою

$$M' = (P - P_0) L ,$$

де $L_1 = 1,003$ м; $L_2 = 1,009$ м; P_0 початкове показання ваги в кГ;

P – поточне показання ваги в кГ. Вимірний момент, в Нм $M_{\text{вим}} = g M'_{\text{вим}}$, де $g = 9,81$ м/с².

Вимірювання частот обертання на насосному і турбінному валах виконуються за допомогою тахометрів, принцип роботи яких відомий з раніше виконуваних лабораторних робіт.

У результаті проведення випробувань кожен студент повинен добре знати:

- 1) будову та роботу гідротрансформатора;
- 2) всі конструктивні особливості гідротрансформатора, що випробовується (типи робочих коліс, спосіб підведення і відведення робочої рідини, ущільнення, підшипники);
- 3) основні правила експлуатації гідротрансформатора (заповнення робочої рідини, пуск, регулювання частоти обертання, підживлення, зупинка);

- 4) весь комплекс питань, які вирішуються під час проведення випробувань гідротрансформаторів з метою зняття зовнішньої характеристики;
- 5) призначення, принцип влаштування та дії всіх встановлених вимірювальних приладів.

3.3 Обробка результатів випробувань

По обробленим дослідним даним будуємо зовнішні характеристики. Очевидно, хибні результати випробувань чи підрахунків виявляються за помітним відхиленням точок від загальної кривої і мають бути опущені чи перевірені.

Побудова характеристик гідротрансформатора повинна бути виконана при постійній частоті обертання, тому для побудови характеристик вимірювані величини необхідно перерахувати на $n_1 = \text{const}$. Перерахунок вимірюваних величин M_1 , M_2 та n_2 на $n_1 = \text{const}$ – виконується на підставі законів подоби.

Перераховані для заданої частоти обертання n_1 насосного вала частоти обертання турбінного вала n_2 можуть бути визначені:

$$n_2 = n_{2\text{вим}} \left(\frac{n_1}{n_{1\text{вим}}} \right),$$

де $n_{1\text{вим}}$ і $n_{2\text{вим}}$ – виміряні частоти обертання відповідно на вхідному і вихідному валу на одному режимі.

Перераховані до постійної частоти обертання n_1 , крутні моменти з валів насосного та турбінного колес визначиться за формулами

$$M_1 = M_{1\text{вим}} \left(\frac{n_1}{n_{1\text{вим}}} \right)^2; \quad M_2 = M_{2\text{вим}} \left(\frac{n_1}{n_{1\text{вим}}} \right)^2,$$

де $M_{1\text{вим}}$ – виміряний момент на насосному валу; $M_{2\text{вим}}$ – вимірюваний момент на турбінному валу.

Знаючи величини моментів та частоти обертання на вхідному та вихідному валах, можна визначити відповідні потужності у кВт:

$$N_1 = \frac{M_1 \pi n_1 10^{-3}}{30}, \quad N_2 = \frac{M_2 \pi n_2 10^{-3}}{30}$$

де M_1 та M_2 в Нм, а n – об/хв.

Значення коефіцієнтів моменту знаходимо в $\text{с}^2/\text{м}$ за формулою

$$\lambda_{M_1} = \frac{M_1}{\gamma^2 D_a^5},$$

де γ – питома вага робочої рідини, $D_a = 0,46$ м – активний діаметр досліджуваного гідротрансформатора.

3.4 Зміст звіту

Результати вимірювань та їх обробка заносяться до протоколу випробувань. За даними протоколу випробувань будується зовнішня характеристика: розмірна, приведена, відносна та універсальна (рис.3.1-3.4).

Звіт про роботу «Випробування гідродинамічного трансформатора» складається кожним студентом самостійно та має містити:

1. Мету лабораторної роботи.
2. Схему гідротрансформатора та опис його особливостей.
3. Описання експериментального стенду та його схему.
4. Опис випробувань, вимірювань та обробки результатів випробувань.
5. Протоколи випробувань.
6. Зовнішню розмірну, наведену, відносну та універсальну характеристики (побудовані на міліметровому папері).
7. Короткі висновки щодо аналізу зовнішніх характеристик.

Контрольні запитання

1. Область застосування гідротрансформаторів.
2. Принцип роботи, переваги та недоліки гідротрансформаторів.
3. Види зовнішніх параметрів.
4. Основні параметри, що характеризують роботу гідротрансформатора.
5. Влаштування стенда для випробувань гідротрансформатора
6. Вимірювання $M_{кр}$ та частот обертання
7. Порядок проведення випробування.
8. Обробки результатів
9. Робочі рідини, які використовуються в ГТР.
10. Методика побудови зовнішніх характеристик.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дранковський В. Е. «Гідравлічні двигуни та передачі». Частина 1 «Лопатеві гідравлічні двигуни та гідромуфти» для студентів спец. 133 «Галузеве машинобудування»: Навчально-методичний посібник / В. Е. Дранковський, Ю. М. Кухтенков. – Харків: НТУ «ХП», 2023. – 125 с.
2. Гідродинамічна передача. Вікіпедія. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Гідродинамічна_передача](https://uk.wikipedia.org/wiki/Гідродинамічна_передача). – Назва з тит. екрана. – Дата звернення: 16.04.2023
3. Котенко О. І. Гідродинамічні передачі і приводи. Конспект лекцій: у двох частинах. Частина 1. Гідродинамічні муфти / О. І. Котенко – Суми: Сумський державний університет, 2015. – 109 с.
4. Стробоскоп. Вікіпедія. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Стробоскоп](https://uk.wikipedia.org/wiki/Стробоскоп). – Назва з тит. екрана. – Дата звернення: 16.04.2023
5. Бондаренко О. В. Проектування комплексних гідротрансформаторів. Навчальний посібник / О. В. Бондаренко, П. С. Зав'ялов. – Харків: НТУ "ХП", 2009.– 112 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки

для лабораторних робіт

з курсу «Лопатеві гідравлічні машини та передачі»

для студентів

спеціальності 145 «Відновлювальні джерела енергії та гідроенергетика»

Укладач: КУХТЕНКОВ Юрій Михайлович

Відповідальний за випуск (завідувач кафедри) РОГОВИЙ Андрій Сергійович

Роботу рекомендував до друку (експерт РВР) СТЕПАНОВ Михайло Сергійович

План 2023 р., поз. 141

Підп. до видання (дата підпису проректора) 04.07.23.

Гарнітура Times New Roman. Обсяг – 1 др. арк

Електронна версія