

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики
та водного господарства
Кафедра енергетики

02/02-07М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни

«Моніторинг та відновлення електростанцій»

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Гідроенергетика»
спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та
гідроенергетика»
денної і заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННІЕАВГ
Протокол № 2 від 13.10.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни «Моніторинг та відновлення електростанцій» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гідроенергетика» спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика» денної і заочної форм навчання (видання повторне) [Електронне видання] / Філіпович Ю. Ю. Рівне : НУВГП, 2025. 34 с.

Укладач: Філіпович Ю. Ю. – кандидат технічних наук, доцент кафедри енергетики.

Видання повторне – попереднє видання: 01-03-41

Відповідальний за випуск: Василюк С. В., доктор технічних наук, професор, в.о.завідувача кафедри енергетики.

Керівник групи забезпечення спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика»: Галич О. О. кандидат технічних наук, доцент кафедри енергетики.

© Ю. Ю. Філіпович, 2025
© НУВГП, 2025

Зміст

Вступ	4
Розрахунок і визначення характеристики датчика вимірювання биття валу	5
Розрахунок частотних характеристик датчика вимірювання вібрації	7
Розрахунок характеристик датчика вимірювання повітряного зазору гідрогенератора	10
Розрахунок параметрів роботи датчика вимірювання температури.....	12
Розрахунок параметрів роботи манометричного приладу вимірювання температури.....	16
Розрахунок параметрів роботи датчика вимірювання деформації	20
Розрахунок параметрів роботи вимірювальних перетворювачів активної й реактивної потужності.....	22
Список літератури	34

Вступ

Метою вивчення навчальної дисципліни „Моніторинг та відновлення електростанцій відновлюваних джерел енергії” є формування професійних знань у здобувачів освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 145 „Відновлювані джерела енергетики і гідроенергетика” з питань моніторингу та діагностики гідроенергетичного обладнання і споруд. На основі реалізації технічної діагностики, особливості відмов, пошуку пошкоджених елементів, визначення надійності обладнання та споруд в експлуатації та умов використання окремих видів функціональних складових, а також загальні питання прогнозування стану технічних об’єктів для прийняття оптимальних рішень при експлуатації та реконструкції ГЕС і ГАЕС.

Завдання навчальної дисципліни „Моніторинг та відновлення електростанцій відновлюваних джерел енергії” є формування практичних навичок у магістрів спеціальності 145 „Відновлювані джерела енергетики і гідроенергетика” щодо вивчення основних методів моніторингу і діагностування та визначення станів електричного обладнання ГЕС і ГАЕС, формування практичних навичок щодо вирішення експлуатаційних завдань гідроелектростанцій та гідроакумуючих електростанцій під час їхньої роботи, а також оцінки надійності роботи обладнання ГЕС і ГАЕС.

Практична робота № 1

Розрахунок і визначення характеристики датчика вимірювання биття валу

В процесі експлуатації необхідно мати інформацію про рівень биття валу в контрольованих точках гідроагрегату, який не має перевищувати допустимих значень. Контроль здійснюється віброконтроллером BENTLY NEVADA серії 3300. В якості датчиків використовуються струмовихорові датчики биття валу.

Принцип дії таких датчиків заснований на зміні електричного поля, що створюється датчиком, від зміни відстані між ним і валом гідроагрегату. Датчики контролюють биття валу щодо верхнього направляючого й нижнього, турбінного підшипників та осевого зсуву диску під'ятника. Оскільки переміщення валу не є однонаправленим, тому контролювати переміщення валу необхідно двома струмовихоровими датчиками відносного переміщення в одній площині під кутом 90° . Таке розташування датчиків дозволяє діагностичному обладнанню визначати як переміщення валу (змінна складова) так і усереднене положення осі валу (постійна складова сигналу датчика, відповідає усередненому значенню зазору) в зазорі підшипника. Положення вісі валу – важливий показник стану підшипника й характеру діючих на нього зусиль. Крім того цей датчик використовується для отримання строб-імпульсу напруги обертання валу за рахунок виточки на ньому. Цей імпульс використовується для вимірювання швидкості обертання, зсуву фаз тощо. Інформація про кут зрушення фаз необхідна для визначення й усунення дисбалансу ротора, неспіввісності, нестабільності в підшипнику, тріщин валу, дисбалансових резонансів і інших поширених дефектів. Сигнал з цього датчика необхідний для повноцінної роботи програми

DATA MANAGER 2000 віброконтроллера BENTLY NEVADA серії 3300.

В якості установки для імітації необхідної відстані між датчиком і валом гідроагрегату використовується стенд, який складається з мішені й мікрометра, що вимірює відстань між датчиком і мішенню.

Розрахункова схема представлена на рис. 1.1.

Установка містить:

- досліджуваний датчик;
- блок перетворювача;
- джерело постійної напруги;
- електронний вольтметр (мультиметр);
- мікрометр.

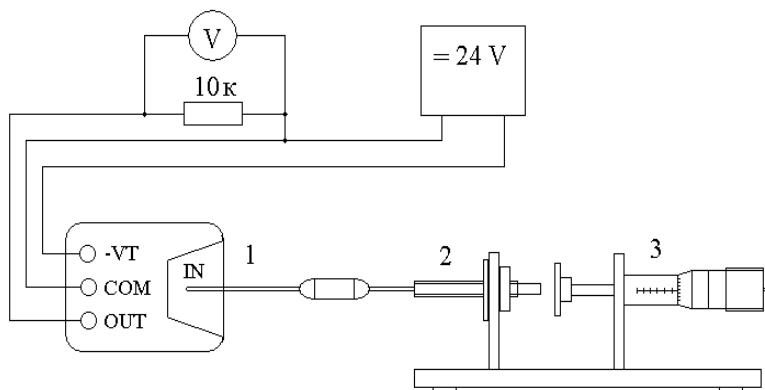


Рис. 1. 1 – Розрахункова схема:

1 – перетворювач, 2 – датчик, 3 – мікрометр.

Датчик закріплюється на стенді нерухомо. Мікрометр дозволяє встановлювати й вимірювати відстань між датчиком та мішенню, що необхідно для знання його характеристики.

Порядок виконання роботи

1. Досліджуваний датчик встановлюється в спеціальний утримувач.
2. Датчик підключається до електронного блоку інтегрованими кабелями.
3. Джерело постійної напруги 24 В підключається до клем Vt і СОМ електронного блоку.
4. Включити резистор 10 кОм між клемми OUT і СОМ електронного блоку
5. Включити вольтметр між клемми OUT і СОМ електронного блоку. Діапазон зміни напруги від 0 до 30 В.
6. Змінюючи відстань між датчиком і мішенню в межах 0–2 мм, вимірюється напруга для кожного калібрувального розміру.
7. Результати внести до таблиці.
8. За результатами проведених досліджень будується залежність $U_{вих} = f(L)$.
5. Висновки й рекомендації

Практична робота № 2

Розрахунок частотних характеристик датчика вимірювання вібрації

В процесі експлуатації необхідно мати інформацію про рівень вібрації конструктивних вузлів в контрольованих точках гідроагрегату, яка не повинна перевищувати допустиму. Контроль здійснюватися віброконтроллером BENTLY NEVADA серії 3300, як датчики використовуються датчики вимірювання вібрації. Принцип дії цих датчиків заснований на зміні електричного сигналу створюваного датчиком від величини вібрації конструктивних вузлів гідроагрегату. Датчики

контролюють вібрацію верхньої і нижньої хрестовини, кришки турбінного підшипника і вібрацію заліза статора.

В якості установки реалізації вібрації використовується вібростенд, який складається з вібростолу, на якому встановлюється датчик, що перевіряється, і датчика переміщення, що вимірює відстань між датчиком і вібростолом (амплітуду вібрації). Вібрація вібростолу задається зовнішнім генератором.

Розрахункова схема представлена на рис. 2. 1.

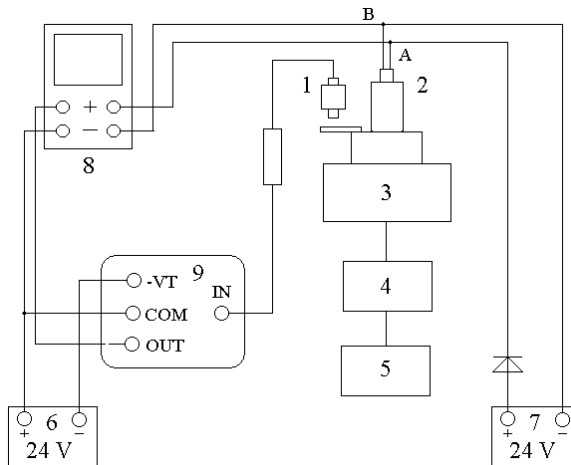


Рис. 2. 1 – Розрахункова схема:

1 – датчик переміщень, 2 – датчик вібрації, 3 – вібростіл, 4 – генератор, 5 – підсилювач, 6, 7 – джерела живлення, 8 – осцилограф, 9 – перетворювач.

Установка містить:

- досліджуваний датчик вібрації (VELOMITOR);
- датчик переміщень (PROBE) з блоком перетворювача (PROXIMITOR);

- джерела постійної напруги (TK15);
- генератор (SIGNAL GENERATOR);
- осцилограф (OSCILLOSCOPE)
- вібростіл (SHAKE TABLE)

Порядок виконання роботи

1. Досліджуваний датчик встановлюється в спеціальний утримувач на вібростолі.
2. Підключити осцилограф до висновків досліджуваного датчика.
3. Датчик переміщення підключається до електронного блоку інтегрованими кабелями і встановлюється над вібростолом.
4. Джерела постійної напруги 24 В підключаються до клем VT і COM електронного блоку й до досліджуваного датчика.
5. Підключити осцилограф між клемою OUT і COM електронного блоку. Встановити відстань між датчиком і вібростолом 1 мм.
6. Подати необхідну частоту на вхід вібростолу від генератора.
7. За результатами проведених досліджень будується залежність $U_{вих} = f(F)$.

Практична робота № 3

Розрахунок характеристик датчика вимірювання повітряного зазору гідрогенератора

Повітряний динамічний зазор – основний робочий параметр, що безпосередньо визначає енергетичні характеристики гідрогенератора, додатково відображає слабкі й сильні місця механічних структур гідрогенератора. Форма повітряного зазору визначається взаємодією всіляких внутрішніх і зовнішніх сил різної природи: доцентровою, магнітною, механічною, гідравлічною, геодезичною, тепловою тощо.

Зміни (спотворення) повітряного зазору при різних режимах роботи гідрогенератора дозволяє визначити силу і причину, що викликає дисбаланс. Своєчасне усунення цієї причини запобігає можливій пошкодженню.

Повітряний незбалансований зазор може безпосередньо викликати дисбаланс струму фаз, локальну зміну структур ротора і статора, локальний перегрів ротора і статора, прискорити процес старіння ізоляції обмоток, а також бути причиною вібрації генератора і ін.

Всі вище перераховані процеси прискорюють старіння генератора, підвищують експлуатаційні витрати, і в окремих випадках, призводять до виходу його з ладу.

Розрахункова схема представлена на рис. 3. 1.

Установка містить:

- досліджуваний датчик LS 120;
- блок перетворювача;
- джерело постійної напруги;
- електронний вольтметр (мультиметр);
- набір калібрувальний розмірів для фіксації величини повітряного зазору.

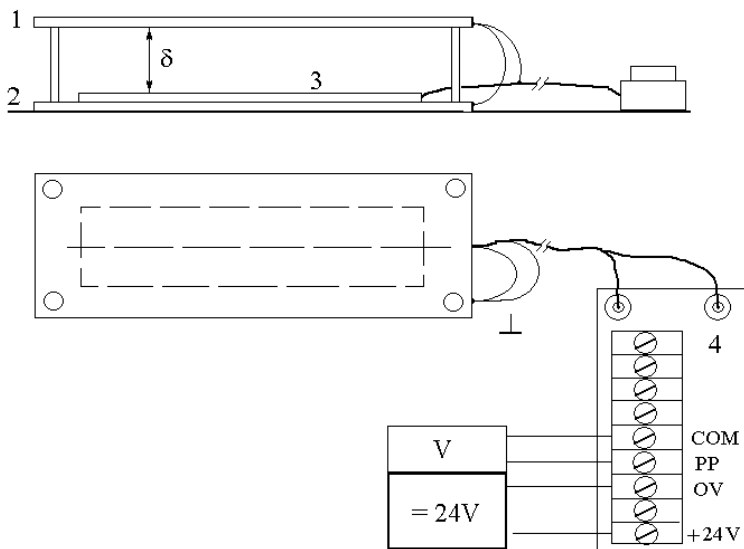


Рис. 3. 1 – Розрахункова схема:

1, 2 – пластини тримача, 3 – датчик, 4 – під'єднувач.

Порядок виконання роботи

1. Досліджуваний датчик LS 120 встановлюється в спеціальний утримувач.

2. Датчик LS 120 підключається до електронного блоку ILS 730 інтегрованими коаксіальними кабелями (REC і TRM).

3. Заземляючий провідник підключається до пластини, що імітує повітряний зазор.

4. Джерело постійної напруги 24 В підключається до клем +24 V і 0V SUPPLY електронного блоку ILS 730.

5. Включити вольтметр між клемою POLE PROFILE і COM електронного блоку ILS 730. Діапазон зміни напруги від 0 до 10 В.

6. Використовуючи набір калібрувальних розмірів, встановлюються відстані до досліджуваного датчика LS 120 і вимірюється напруга для кожного калібрувального

розміру.

7. За результатами проведених досліджень будується залежність $U_{вих} = f(L)$.

Практична робота № 4

Розрахунок параметрів роботи датчика вимірювання температури

В процесі експлуатації необхідно мати інформацію про температуру в контрольованих точках гідроагрегату, яка не повинна перевищувати допустиму. Контроль здійснюється контролером температури типу CHESSELL, в якості датчиків використовуються термоопори.

Принцип дії цих датчиків заснований на властивості визначених металів змінювати електричний опір із зміною температури. Такі матеріали як мідь і платина використовуються для термоопорів в системі термоконтролю й вимірювання температури в контрольованих точках гідроагрегату. Тип, використовуваних датчиків з міді, ТСМ з характеристиками CU 9, CU 10, CU 50, CU 53. Тип, використовуваних датчиків з платини, ТСП з характеристикою Pt 100.

Градуювання ТСМ з характеристиками CU 9, CU 10, CU 50, CU 53 і ТСП з характеристикою Pt 100 наведено в табл. 4.1 – 4. 5.

Таблиця 4. 1.

Градуювання мідного термометра опору ($R_0 = 53 \text{ Ом}$)

$\frac{T, ^\circ C}{R, \text{Ом}}$	$\frac{0}{53}$	$\frac{10}{55,26}$	$\frac{20}{57,52}$	$\frac{30}{59,80}$	$\frac{40}{62,07}$	$\frac{50}{64,34}$
$\frac{T, ^\circ C}{R, \text{Ом}}$	$\frac{60}{66,6}$	$\frac{70}{68,87}$	$\frac{80}{71,14}$	$\frac{90}{73,41}$	$\frac{100}{75,68}$	$\frac{110}{77,95}$
$\frac{T, ^\circ C}{R, \text{Ом}}$	$\frac{120}{80,22}$	$\frac{130}{82,45}$	$\frac{140}{84,75}$	$\frac{150}{87,00}$	-	-

Таблиця 4. 2.

Градуювання мідного термометра опору ($R_0 = 50 \text{ Ом}$)

$\frac{T, ^\circ C}{R, \text{Ом}}$	$\frac{0}{50}$	$\frac{10}{52,14}$	$\frac{20}{54,28}$	$\frac{30}{56,42}$	$\frac{40}{58,56}$	$\frac{50}{60,70}$
$\frac{T, ^\circ C}{R, \text{Ом}}$	$\frac{60}{62,84}$	$\frac{70}{64,98}$	$\frac{80}{67,17}$	$\frac{90}{69,26}$	$\frac{100}{70,40}$	$\frac{110}{73,54}$
$\frac{T, ^\circ C}{R, \text{Ом}}$	$\frac{120}{75,68}$	$\frac{130}{77,82}$	$\frac{140}{79,96}$	$\frac{150}{82,10}$	-	-

Таблиця 4. 3.

Градуювання мідного термометра опору ($R_0 = 10 \text{ Ом}$)

$\frac{T, ^\circ C}{R, \text{Ом}}$	$\frac{0}{10}$	$\frac{10}{10,428}$	$\frac{20}{10,86}$	$\frac{30}{11,28}$	$\frac{40}{11,71}$	$\frac{50}{12,14}$
$\frac{T, ^\circ C}{R, \text{Ом}}$	$\frac{60}{12,57}$	$\frac{70}{12,99}$	$\frac{80}{13,42}$	$\frac{90}{13,85}$	$\frac{100}{14,28}$	$\frac{110}{14,71}$
$\frac{T, ^\circ C}{R, \text{Ом}}$	$\frac{120}{15,14}$	$\frac{130}{15,56}$	$\frac{140}{15,99}$	$\frac{150}{16,42}$	-	-

Таблиця 4. 4.

Градуювання мідного термометра опору ($R_0 = 9 \text{ Ом}$)

$\frac{T, ^\circ \text{C}}{R, \text{Ом}}$	$\frac{0}{9}$	$\frac{10}{9,38}$	$\frac{20}{9,77}$	$\frac{30}{10,15}$	$\frac{40}{10,54}$	$\frac{50}{10,92}$
$\frac{T, ^\circ \text{C}}{R, \text{Ом}}$	$\frac{60}{11,31}$	$\frac{70}{11,69}$	$\frac{80}{12,08}$	$\frac{90}{12,46}$	$\frac{100}{12,85}$	$\frac{110}{13,23}$
$\frac{T, ^\circ \text{C}}{R, \text{Ом}}$	$\frac{120}{14,00}$	$\frac{130}{14,16}$	$\frac{140}{14,39}$	$\frac{150}{14,77}$	-	-

Таблиця 4. 5.

Градуювання платиного термометра опору ($R_0 = 100 \text{ Ом}$)

$\frac{T, ^\circ \text{C}}{R, \text{Ом}}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{10}{103,90}$	$\frac{20}{107,79}$	$\frac{30}{111,67}$	$\frac{40}{115,54}$	$\frac{50}{119,40}$
$\frac{T, ^\circ \text{C}}{R, \text{Ом}}$	$\frac{60}{123,24}$	$\frac{70}{127,08}$	$\frac{80}{130,90}$	$\frac{90}{134,71}$	$\frac{100}{138,51}$	$\frac{110}{142,29}$
$\frac{T, ^\circ \text{C}}{R, \text{Ом}}$	$\frac{120}{146,07}$	$\frac{130}{149,83}$	$\frac{140}{153,53}$	$\frac{150}{157,33}$	-	-

Для створення необхідної температури використовується термостат типа ТС-16. Термостат складається з корпусу і кришки, на яких вмонтовуються окремі вузли. Термостатична рідина заливається у внутрішній бачок. На кронштейні 1 встановлений електродвигун змінного струму 2, вал якого гнучкою муфтою 3 сполучений з віссю, що приводить в обертання насос і мішалку. Термостатична рідина нагрівається двома електричними нагрівачами потужністю 700 і 1300 Вт. Контроль за роботою термостата здійснюється контактним термометром 4 і блоком управління 5. Точне регулювання температури здійснюється контактним термометром по

контрольному термометру і фіксацією включення і відключення нагрівача.

Розрахункова схема представлена на рис. 4. 1.

Установка містить:

- досліджуваний датчик термоопору;
- термостат ТС-16;
- джерело змінної напруги;
- електронний омметр (мультиметр);

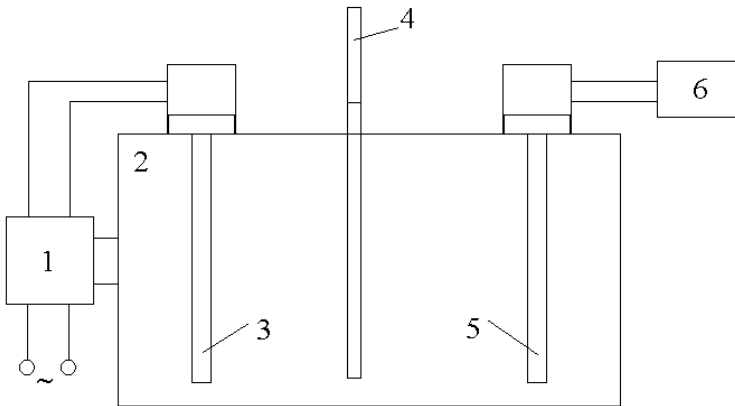


Рис. 4. 1 – Розрахункова схема:

1 – блок керування, 2 – термостат, 3 – контактний термометр, 4 – контрольний термометр, 5 – датчик, 6 – мультиметр.

Порядок виконання роботи

1. Досліджуваний датчик (термоопір) встановлюється в спеціальний тримач.
2. Підключити омметр до клем датчика.
3. Включити термостат ТС-16.
4. Встановити на контактному термометрі температуру згідно таблиці 4. 1 – 4. 5.
5. Зміряти омметром опір датчика для встановленої

температури.

6. За результатами проведених досліджень будується залежність $R_{дат} = f(T)$.

Практична робота № 5

Розрахунок параметрів роботи манометричного приладу вимірювання температури

В процесі експлуатації ГЕС необхідно мати інформацію про температуру в контрольованих точках гідроагрегату, яка не повинна перевищувати допустиму. Контроль здійснюватися агрегатним котролером типа ALSPA, в якості датчиків використовуються манометричні термосигналізатори.

Основним вузлом термосигналізатора є термосистема, яка складається з манометричної пружини з утримувачем шкали й двома сигналізуючими пристроями, термобалона і сполучного капіляра. Принцип дії заснований на суворій залежності тиску насиченої пари заповнювача термосистеми від температури вимірюваного середовища. Вимірювання температури контрольованого середовища сприймається заповнювачем через термобалон і перетворюється в зміну тиску, який по капіляру передається в манометричну пружину. Манометрична пружина під дією тиску розгортається і повертає вісь і стрілку, що закріплена на ній. Межі температури задаються двома покажчиками сполученими з мікровимикачами.

В якості приладу для контролю необхідної температури використовується термосигналізатор типу ТС–16, рис. 5. 1.

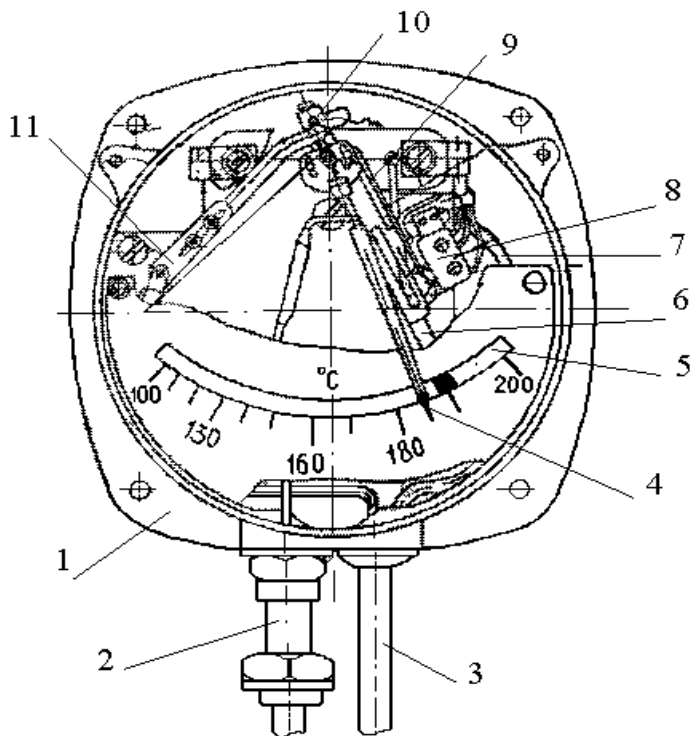


Рис 5. 1. Будова термосигналізатора ТС-16:

1 – корпус, 2 – приєднання термобалону, 3 –
електричні приєднання, 4 – стрілка, 5 – шкала, 6 – вказник,
7 – манометрична пружина, 8 – мікрровимикач, 9 – ричаг,
10 – повзун, 11 – тяга.

Термосигналізатор за принципом побудови є приладом манометричного типу з електричними контактами, що сигналізують межі встановленого діапазону температури. Схема електрична сигналізатора наведена на рис. 5. 2.

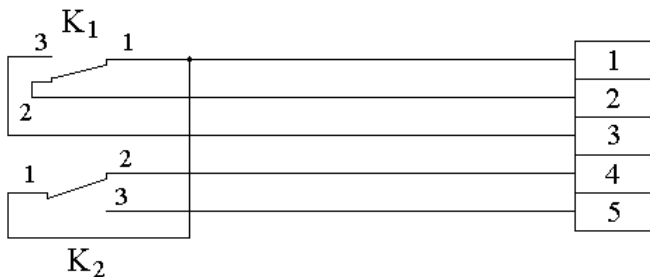


Рис. 5. 2. Схема електрична принципова ТС–16.

В наведеній схемі перемикачі K_1 та K_2 встановлюють межі інтервалу регулювання температури. Вони розташовані так, щоб сигналізувати про зміну температури за межі встановленого інтервалу, з лівого й правого боків. Сигналізація здійснюється перемиканням контактів. Алгоритм сигналізуючих перемикачів вимикачів K_1 та K_2 зустрічний.

В якості приладу для створення необхідної температури для перевірки ТС–16 використовується термостат.

Термостат, рис. 5. 3, складається з корпусу і кришки, на яких змонтовано окремі його вузли. Термостатична рідина заливається у внутрішній бачок. На кронштейні 1 встановлений електродвигун змінного струму 2, вал якого гнучкою муфтою 3 сполучений з віссю, що приводить в обертання насос і мішалку. Термостатична рідина нагрівається двома електричними нагрівачами потужністю 700 і 1300 Вт. Контроль за роботою термостата здійснюється контактним термометром 4 і блоком управління 5. Точне регулювання температури здійснюється контактним термометром по контрольному термометру і фіксацією включення і відключення нагрівача.

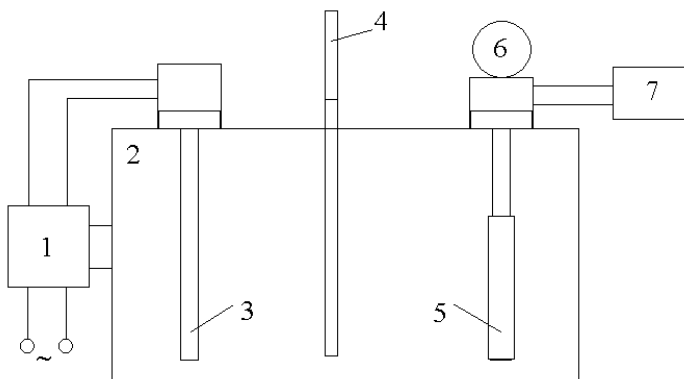


Рис. 5. 3 – Розрахункова схема:

1 – блок керування, 2 – термостат, 3 – контактний термометр, 4 – контрольний термометр, 5 – датчик термосигналізатора, 6 – термосигналізатор, 7 – мультиметр.

Розрахункова схема представлена на рис. 5. 3.

Установка містить:

- досліджуваний прилад (термосигналізатор);
- термостат ТС–16;
- джерело змінної напруги;
- електронний омметр (мультиметр);

Порядок виконання роботи

1. Термосигналізатор встановлюється в спеціальний тримач.
2. Підключити омметр до клем приладу.
3. Встановити на контактному термометрі термостату температуру згідно шкали термосигналізатора.
4. Встановити на термосигналізаторі уставки спрацьовування.

5. Включити термостат.
6. Контролювати показання термосигналізатора.
7. Контролювати омметром спрацьовування уставок прилада для виставлених температур.
8. За результатами проведених досліджень будується залежність $T_{пр} = f(T_{середини})$.

Практична робота № 6

Розрахунок параметрів роботи датчика вимірювання деформації

В процесі експлуатації важливо мати інформацію про рівень деформації конструктивних вузлів в контрольованих точках гідроагрегату, яка не повинна перевищувати допустиму. В якості чутливих елементів використовуються датчики вимірювання деформації. Принцип дії цих датчиків заснований на зміні електричного опору від величини деформації конструктивних вузлів гідроагрегату. Зазначені датчики надають можливість контролю деформації верхньої хрестовини, сегментів підп'ятника тощо.

Для зняття характеристик датчиків деформації використовується тензобалка, на якій встановлюється тензорезистор, що перевіряється, й набір фіксованих вантажів.

Розрахункова схема представлена на рис. 6. 1.

Установка містить:

- тензобалку з досліджуваним датчиком;
- набір вантажів;
- омметр.

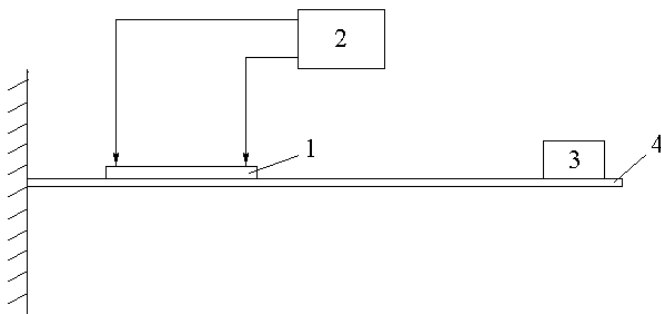


Рис. 6. 1 – Розрахункова схема:

1 – тензодатчик, **2** – омметр, **3** – вантаж, **4** – балка.

Лабораторна установка являє собою зафіксовану з одного боку тензобалку з закріпленим датчиком та вантажем. До виходу датчика підключено омметр. Зміна навантаження призводить до відповідної зміни опору.

Порядок виконання роботи

1. Тензобалка з досліджуваним датчиком встановлюється в спеціальний утримувач.
2. Підключається омметр до виводів досліджуваного датчика.
3. Встановлюючи фіксовані вантажі на тензобалку, зміряти опір тензодатчика й занести дані до таблиці.
4. За результатами проведених досліджень будується залежність $R_{вих} = f(m)$.

Практична робота № 7

Розрахунок параметрів роботи вимірювальних перетворювачів активної й реактивної потужності

Для отримання оперативної поточної інформації про основні робочі електричні параметри гідрогенераторів використовуються наступні вимірювальні перетворювачі (ВП).

- Вимірювальні перетворювачі типа Е 849 для перетворення прямих і зворотних потоків активної і реактивної потужності в уніфіковані вихідні сигнали постійного струму (0–5) мА на навантаженні від 0 до 3 кОм.

- Вимірювальні перетворювачі типа Е 854 для перетворення змінного струму в уніфіковані вихідні сигнали постійного струму (0–5) мА на навантаженні від 0 до 3 кОм.

- Вимірювальні перетворювачі типа Е 855 для перетворення напруги змінного струму в уніфіковані вихідні сигнали постійного струму (0–5) мА на навантаженні від 0 до 3 кОм.

- Вимірювальні перетворювачі типа Е 856 для перетворення напруги постійного струму в уніфіковані вихідні сигнали постійного струму (0–5) мА на навантаженні від 0 до 3 кОм.

- Вимірювальні перетворювачі типа Е857 для перетворення постійного струму в уніфіковані вихідні сигнали постійного струму (0-5) мА на навантаженні від 0 до 3 кОм.

Робоча інформаційна достовірність зазначених перетворювачів забезпечується перевірками їх характеристик. При проведенні перевірки мають застосовуватися зразкові й допоміжні засоби перевірки, перераховані в переліку, табл. 7. 1.

Таблиця 7. 1.

Перелік зразкових і допоміжних засобів перевірки

№ п/ п	Найменування засобу перевірки	Тип	Основні параметри використано го засобу	Погрішніс ть вимірів засобу
1.	Установка трифазна для перевірки приладів змінного струму	У 1134	150-600 В	0,2 %
2.	Потенціометр постійного струму високоомний	Р-368	15-1500 мВ	0,03 %
3.	Зразкова котушка опору	Р-331	10 Ом	0,01 %
4.	Зразкова котушка опору	КМС- 4	0,1-100 кОм	0,2 %
5.	Мегаомметр	MEG	50 МОм	1 %
6.	Ватметр	Д 57	75-300 В 2,5-5 А	0,1 %
7.	Вольтметр	Э 59	75-600 В	0,5 %
8.	Вольтметр	Д 57	150-300 В	0,1 %
9.	Милівольтмет р	М115 1	45-150 кВ	0,1 %
10.	Ампервольтме тр	Р 386	10 мкВ-1000 В 10 кА-1000 мА 0,01 Ом-16 МОм	0,06 % 0,1 % 0,1 %

ПРИМІТКИ:

1. Зразкові прилади, включені на вході й виході вимірювального перетворювача (ВП), повинні мати сумарну допустиму погрішність в 5 разів менше допустимої погрішності ВП.

Допускається застосування зразкових приладів з поправками, сумарна допустима погрішність яких в 2,5 рази менше основної погрішності ВП.

2. Вся контрольно-вимірювальна апаратура, використовувана при вимірюваннях має мати документи про державну перевірку.

Умовні позначення, вживані в схемах перевірки ВП:

ВП – вимірювальний перетворювач;

У1 – установка трифазна для перевірки приладів змінного струму (СІ-1);

W – ватметр, класу не нижче 0,1 (наприклад, Д-57);

V – вольтметр, класу не нижче 0,5 (наприклад, Е-59);

Ro – зразкова котушка на 100 Ом класу не нижче 0,01 (Р-331);

Rн – магазин опорів класу не нижче 0,2 (КМС-4);

Rд – додатковий опір класу не нижче 0,2 (Р-32);

$$R_d = \frac{R_{w1} + R_{w2}}{2}$$

де R_{w1} і R_{w2} – опори паралельних ланцюгів ватметрів;

П – потенціометр постійного струму високоомний класу не нижче 0,03 (Р-368).

Електричні схеми зовнішніх підключень ВП наведено на його передній панелі.

Розрахункова схема підключення ВП для визначення основної погрішності вимірювальних перетворювачів активної потужності рис. 7. 1 і реактивній потужності рис. 7. 2.

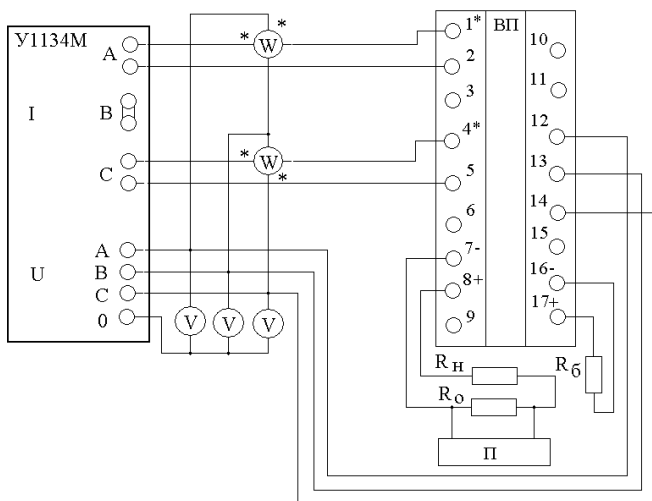


Рис. 7. 1 Схема підключення ВП активної потужності

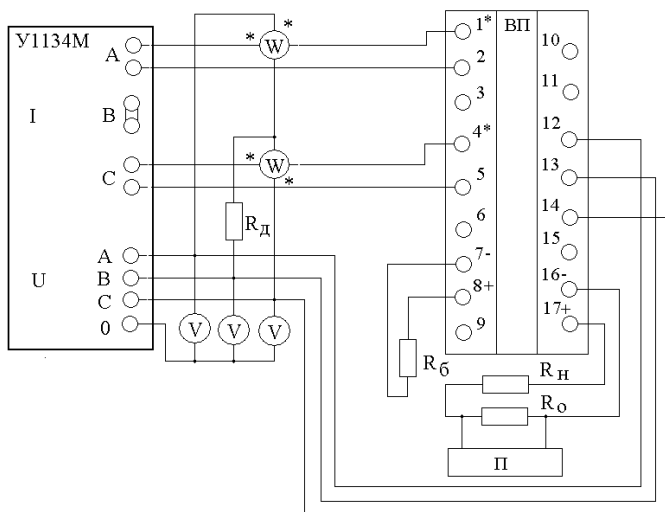


Рис. 7. 2. Схема підключення ВП реактивної потужності

Порядок виконання роботи

1 Зібрати схеми визначення основної погрішності вимірювальних перетворювачів активної потужності згідно рис. 7. 1 і реактивній потужності згідно рис. 7. 2.

2. Визначення основної погрішності ВП активної і реактивної потужності.

3. Визначення основної погрішності проводиться методом порівняння показань зразкового приладу, включеного на вході ВП, з розрахунковими значеннями вхідного сигналу ВП. Вимірювану трифазну потужність на вході ВП визначають за показаннями двох зразкових ватметрів.

За основну погрішність ВП приймають найбільшу за абсолютним значенням різницю між показниками зразкового приладу на виході ВП з розрахунковим значенням вихідного сигналу, віднесено до нормуючого значення вихідного сигналу.

Величина основної погрішності ВП виражається у вигляді приведеної і визначається згідно (7. 1):

$$\gamma = \frac{I_x - I_p}{I_N} \cdot 100\% , \quad (7. 1)$$

де I_x – значення вихідного сигналу при відповідному значенні вхідного сигналу; I_p – розрахункове значення вихідного сигналу при тому ж значенні вхідного сигналу; I_N – додаток, що нормує значення вихідного сигналу.

Розрахункові значення вихідного сигналу залежно від вхідної вимірюваної потужності наведені в табл. 7. 2 для ВП активної потужності та в табл. 7. 3 для ВП реактивної потужності.

Таблиця 7. 2.

Розрахункові значення вихідного сигналу ВП
активної потужності

U н. вх., В	I н. вх., А	Cos φ	P ₁ = P ₂ , Вт	P _х = P ₁ + P ₂ , Вт	I _p , мА
100	5	1	0	0	0
			43,3	86,6	0,5
			86,6	173,2	1,0
			130,0	260,0	1,5
			173,25	346,5	2,0
			218,5	433,0	2,5
			259,5	519,0	3,0
			303,0	606,0	3,5
			346,5	698,0	4,0
			389,5	779,0	4,5
			433,0	866,0	5,0
100	2,5	1	108,3	216,6	2,5
			216,5	433,0	5,0
100	1	1	0	0	0
			8,7	17,4	0,5
			17,3	34,6	1,0
			26,0	52,0	1,5
			34,6	69,2	2,0
			43,3	86,6	2,5
			52,0	104,0	3,0
			60,6	121,2	3,5
			69,3	138,6	4,0
			77,9	155,8	4,5
			86,6	173,2	5,0
100	0,5	1	21,65	43,3	2,5
			43,3	86,6	5,0

Таблиця 7. 3.

Розрахункові значення вихідного сигналу ВП
реактивної потужності

U н. вх., В	I н. вх., А	Cos φ	$ Q_1 =$ $ Q_2 $, ВА	$ Q_x = Q_1$ $+ Q_2 $, ВА	I p, мА
100	5	1	0	0	0
			25	50	0,5
			50	100	1,0
			75	150	1,5
			100	200	2,0
			125	250	2,5
			150	300	3,0
			175	350	3,5
			200	400	4,0
			225	450	4,5
			250	500	5,0
100	2,5	1	62,5	125	2,5
			125,0	250	5,0
100	1	1	0	0	0
			5	10	0,5
			10	20	1,0
			15	30	1,5
			20	40	2,0
			25	50	2,5
			30	60	3,0
			35	70	3,5
			40	80	4,0
			45	90	4,5
			50	100	5,0
100	0,5	1	12,5	25	2,5
			25,0	50	5,0

Для меж вимірювання з номінальними значеннями вхідного струму 5А і 1А основна погрішність визначається при всіх значеннях вхідної потужності, вказаних в табл. 7. 2 і 7. 3.

Для меж вимірювання з номінальними значеннями вхідного струму 2,5 і 0,5 А основна погрішність визначається при 50 і 100 % номінального значення вхідної потужності. При цьому струмова шина фази А підключається до клем 1 і 3, струмова шина фази З – до клем 4 і 6 ВП.

4. Визначення впливу зміни вхідної напруги на основну погрішність приладу проводиться методом, вказаним в розділі 1.

Зміна вхідного сигналу ВП щодо розрахункового значення, викликане відхиленням величини вхідної напруги вимірюваного ланцюга на $\pm 20\%$ від номінального значення не повинно перевищувати межі основної припустимої похибки.

При вхідній напрузі, рівній 80% номінального значення, значення вхідного струму встановлюються рівними 50 і 100% номінального значення. При вхідній напрузі, рівній 120% номінального значення, значення вхідного струму встановлюються рівними 50 і 80% номінального значення.

Зміна вихідного сигналу ВП визначається по формулі (7.1), де:

I_x - значення вихідного сигналу за наявності впливаючого чинника.

Розрахункове значення вихідного сигналу залежно від вхідної вимірюваної потужності при зміні вхідної напруги приведені в табл. 7. 4 для ВП активної потужності та в табл. 7. 5 для ВП реактивної потужності.

Таблиця 7. 4.

Розрахункове значення вихідного сигналу ВП
активної потужності

Cos φ	I н. вх., А	U н. вх., В	P ₁ = P ₂ , Вт	P _х , Вт	I _р , мА
1,0	5,0	80 120	346,5	693,0	4,8
			173,2	346,4	2,0
			415,5	831,0	4,8
			260,0	520,0	3,0
- 1,0	5,0	80 120	- 346,5	- 693,0	- 4,8
			- 173,2	- 346,4	- 2,0
			- 415,5	- 831,0	- 4,8
			- 260,0	- 520,0	- 3,0
1,0	1,0	80 120	69,3	138,6	4,8
			34,6	69,2	2,0
			83,2	166,4	4,8
			52,0	104,0	3,0
- 1,0	1,0	80 120	- 69,3	- 138,6	- 4,8
			- 34,6	- 69,2	- 2,0
			- 83,2	- 166,4	- 4,8
			- 52,0	- 104,0	- 3,0

Таблиця 7. 5.

Розрахункове значення вихідного сигналу ВП
реактивної потужності

Cos φ	I н. вх., А	U н. вх., В	I _A = I _C , А	Q ₁ = Q ₂ , ВА	P _x , ВА	I _p , мА
1,0	5,0	80 120	5,0	200	400	4,0
			2,5	100	200	2,0
			4,0	240	480	4,8
			2,5	150	300	3,0
- 1,0	5,0	80 120	- 5,0	- 200	- 400	- 4,0
			- 2,5	- 100	- 200	- 2,0
			- 4,0	- 240	- 480	- 4,8
			- 2,5	- 150	- 300	- 3,0
1,0	1,0	80 120	1,0	40	80	4,0
			0,5	20	40	2,0
			0,8	48	96	4,8
			0,5	30	60	3,0
- 1,0	1,0	80 120	- 1,0	- 40	- 80	- 4,0
			- 0,5	- 20	- 40	- 2,0
			- 0,8	- 48	- 96	- 4,8
			- 0,5	- 30	- 60	- 3,0

Визначення впливу коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ ($\sin \varphi$) на основну погрішність приладу проводиться методом, вказаним в розділі 1.

Зміна вихідного сигналу ВП щодо розрахункового значення, викликане відхиленням $\cos \varphi$ ($\sin \varphi$) від номінального значення до нуля, не повинно перевищувати величини значення основної погрішності, що допускається.

Зміна вихідного сигналу ВП визначається за (7. 1), де I_x – значення вихідного сигналу ВП за наявності впливаючого чинника.

Розрахункові значення вихідного сигналу залежно від вхідної потужності наведені вище (див. табл. 7. 2 й 7. 3) для ВП активної і реактивної потужності відповідно.

Розрахункове значенні вхідної потужності залежно від зміни коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ ($\sin \varphi$) наведені вище (див. табл. 7. 4 та 7. 5) для ВП активної і реактивної потужності відповідно. Розрахункові значення потужності за зміни $\cos \varphi$ ($\sin \varphi$) ВП наведено в додатку Б.

5. Визначення впливу відхилення опору навантаження від номінального значення до нуля для ВП всіх типів.

Визначення впливу відхилення опору навантаження на основну погрішність приладу проводиться методом, вказаним в розділі 1. по схемах, приведених в додатках для кожного типа ВП відповідно.

Зміна вихідного сигналу ВП щодо розрахункового нормованого значення, викликане відхиленням опору навантаження від номінального значення (3 кОм) до нуля, не повинно перевищувати межі основної похибки, що припускається. Зміна вихідного сигналу ВП визначається за (7. 1).

Результати визначення основної погрішності оформляються у вигляді таблиць за наведеним зразком, табл. 7. 6.

Таблиця 7. 6.

Зразок оформлення результатів випробувань ВП

Технічні дані ВП	Тип	Клас	Номинальн. вхідн. струм	Номинальн. вхідн. напруга.	Номинальн. велич. опор у навантаження	Номинальн. вихідн. струм	Номинальн. велич. потужн.
1	2	3	4	5	6	7	8
Величина вхідн. напруги. $U_{вх.}/B$	Коеф. потужності	Вхідна потужність по кожній фазі $P_1=P_2/V_t$ $P_1=Q_2/V_{ар}$	Загальна вхідна потужність $P=P_1+P_2/V_t$ $Q=Q_1+Q_2/V_{ар}$	Розрахункові значення вихідного струму I_p (mA)	Дійсні значення вихідного струму I_x (mA)	Основна приведена погрішність	Примітки

4. Побудувати зовнішні характеристики ВП.

5. Висновки й рекомендації.

Список літератури

1. Радченко В. В., Кобець В. О. Моніторинг та діагностика гідроенергетичного обладнання і споруд ГЕС. Запоріжжя :ЗГІА, 2014, 188 с.
2. Грабко В. В., Мокін Б. І. Моделі та системи технічної діагностики високовольних вимикачів : монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. 74 с.
3. Самойленко Е. Г. Гідроенергетичне обладнання гідро- та гідроакумуючих електростанцій : підручник. Запоріжжя : ЗДіА, 2006, 406 с.
4. Барліт В. В. Сучасні гідродинамічні методи розрахунку лопатевих систем і САПР гідромашин : навч. посібник. Київ : НМК ВО, 1992.
1. Оцінка надійності гідроагрегатів обертання на стадії їх проектування / П. М. Андренко, І. П. Гречка, С. О. Хованський, М. С. Свинаренко. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. 2017. Вип. 17, т. 3. С. 23–32. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptdau_2017_17_3_4
5. Експлуатація, обслуговування та надійність гідравлічних машин і гідроприводів : навч. посіб. / З. Л. Фінкельштейн, П. М. Андренко, О. В. Дмитрієнко ; під ред. проф. П. М. Андренка. Харків : НТУ “ХПІ”, 2014. 308 с.
6. Довідник з експлуатації та ремонту гідротурбінного обладнання / за ред. Є. П. Штерна. К. : Енергоіздат. 1985. 368 с.