

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**Л. І. БУГРИМ, І. С. БІЛЮК, А. М. ФОМЕНКО,
Д. Ю. ШАРЕЙКО, С. О. ГАВРИЛОВ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з курсу
«Автоматизація суднових енергетичних установок»**

У двох частинах

Частина 1

Рекомендовано Методичною радою НУК



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2021

УДК 621.438.52

М69

Автори: Л. І. Бугрім, канд. техн. наук, доцент;
І. С. Білюк, канд. техн. наук, доцент;
А. М. Фоменко, доцент НУК, старш. викладач;
Д. Ю. Шарейко, канд. техн. наук, доцент;
С. О. Гаврилов, канд. техн. наук, доцент

Рецензент І. О. Ратушняк, канд. техн. наук, доцент

Рекомендовано Методичною радою НУК

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Автоматизація судових енергетичних установок» : у 2 ч. Ч. 1 / Л. І. Бугрім, І. С. Білюк, А. М. Фоменко, Д. Ю. Шарейко, С. О. Гаврилов. – Миколаїв : НУК, 2021. – 44 с.

Уміщено опис лабораторних стендів і методику проведення лабораторних робіт з курсів «Основи автоматизації об'єктів теплоенергетики», «Автоматичне регулювання двигунів внутрішнього згоряння», «Автоматизація енергетичних та холодильних установок», «Основи автоматичного управління СЕУ». Розглянуто питання статички і динаміки систем автоматичного регулювання, методи експериментального визначення рівняння динаміки елементів і систем.

Призначено для студентів, які навчаються за спеціальностями 144 «Теплоенергетика», 142 «Енергетичне машинобудування», 135 «Суднобудування».

УДК 621.438.52

© Бугрім Л. І., Білюк І. С., Фоменко А. М.,
Шарейко Д. Ю., Гаврилов С. О., 2021

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2021

Лабораторна робота № 1

ВИВЧЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

1. Функціональна схема стенда

Лабораторний стенд являє собою систему автоматичної стабілізації з комплектом задавальної, вимірювальної і реєструючої апаратури.

Функціональна схема стенда представлена на рисунку 1.

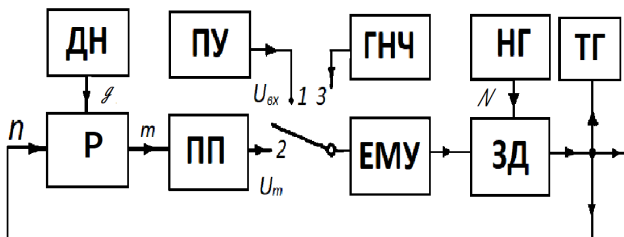


Рисунок 1 – Функціональна схема лабораторного стенда

Основний елемент тут – регулятор частоти обертання суднового дизеля Р. Вхідними сигналами для нього будуть: частота обертання вала n і зтягування пружини відцентрового маятника g , яка змінюється за допомогою пристрою дистанційного налаштування (ДН). Вихідним сигналом регулятора є переміщення муфти регулятора m , яке за допомогою потенціометра (ПП) перетвориться в електричний сигнал U_m . Цей сигнал посилюється електромашинним підсилювачем (ЕМП) і надходить в електродвигун (ЕД). Вихідна координата електродвигуна – частота обертання вала – залежить не тільки від подаваної на його вхід напруги, але і від навантаження на двигун N , яке формується за допомогою навантажувального генератора (НГ). Ротор генератора жорстко пов'язаний з валом електродвигуна. На вхід ЕМП замість U_m можна подавати напругу $U_{ВХ}$ від керуючого потенціометра (ПК),

яка змінюється вручну, або синусоїдальний сигнал $U_{\text{ГНЧ}}$ від генератора низької частоти (ГНЧ). У комплект вимірювальної апаратури входять вольтметри для вимірювання перерахованих вище напруг, тахогенератор (ТГ), осцилограф та реєструючий прилад.

2. Принципова схема стенда

Спрощена принципова електрична схема стенда і принципова схема регулятора представлені на рисунку 2.

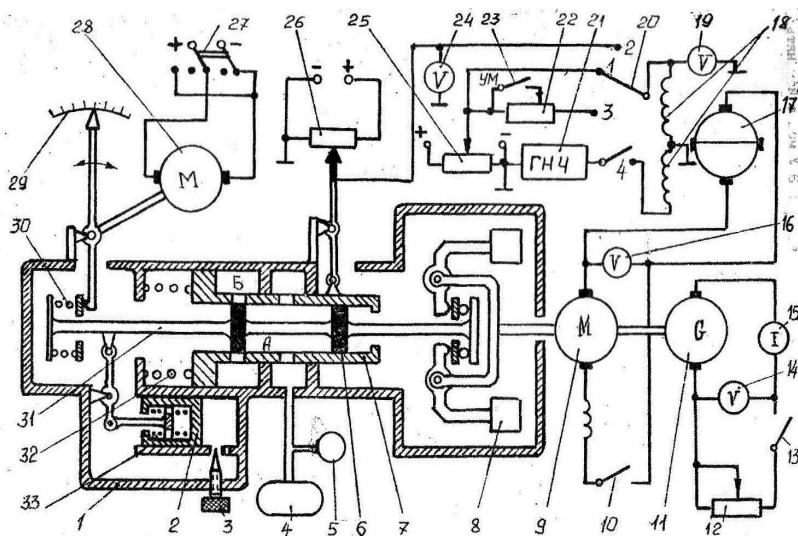


Рисунок 2 – Принципова схема лабораторного стенда

На цьому рисунку позначені: 1 – регулятор; 2 – поршень катаракта; 3 – голка катаракта; 4 – насос подачі масла в регулятор; 5 – манометр контролю тиску масла; 6 – золотники гідравлічного підсилювача; 7 – слідкуючий сервопоршень; 8 – вантажі відцентрового маятника; 9 – електродвигун (М); 10 – тумблер для розмикання ланцюга електродвигуна; 11 – навантажувальний генератор (Г); 12 – навантажуваль-

ний реостат; 13 – тумблер для ступеневого скидання і вмикання навантаження; 14 – вольтметр для вимірювання напруги на клеммах генератора; 15 – амперметр для вимірювання струму в ланцюзі якоря генератора; 16 – вольтметр для вимірювання напруги, що подається на М; 17 – електромашинний підсилювач (ЕМП); 18 – обмотка керування (ОК) ЕМП; 19 – вольтметр для вимірювання напруги на ОК ЕМП; 20 – перемикач живлення ОК ЕМП; 21 – генератор низької частоти (ГНЧ); 22 – потенціометр для регулювання величини стрибкоподібної зміни напруги на вході в ЕМП; 23 – тумблер для подачі стрибкоподібного впливу на вхід ЕМП; 24 – вольтметр для вимірювання напруги, пропорційного переміщенню сервопоршня; 25 – потенціометр для зміни напруги на вході в ЕМП; 26 – потенціометр, що перетворює переміщення слідкуючого сервопоршня в електричний сигнал – напруга U_m ; 27 – тумблер для зміни задавального впливу g – зміни затяжки настроювальної пружини регулятора; 28 – електродвигун для зміни задавального впливу; 29 – шкала для вимірювання величини g ; 30 – настроювальна пружина; 31 – муфта відцентрового маятника; 32 – силова пружина сервомотора; 33 – катаракт.

За допомогою перемикача 20 можна замикати і розмикати систему регулювання обертів. У положенні 1 система розімкнута і напруга на керуючій обмотці 18 ЕМП 17 змінюється вручну за допомогою потенціометра 25. У положенні 2 система замкнута – напруга на обмотці керування ЕМП знімається з потенціометра 26, повзун якого пов'язаний з сервопоршнем 7 регулятора.

У положенні 3 система розімкнена і напругу на вході в ЕМП можна змінювати стрибкоподібно за допомогою тумблера 23.

Робота замкнутої системи. Згадана система є системою автоматичної стабілізації, оскільки її завдання – підтримувати постійну частоту обертання вала електродвигуна. Задане значення частоти обертання вала n визначається величиною задавального впливу g – зтягуванням пружини 30 відцентрового маятника (див. рисунок 2). Якщо з якої-небудь причини, наприклад, при зміні навантаження на електродвигун, з боку генератора значення n відхилиться від необхідного, то процес відновлення регульованої величини буде відбуватися таким чином. При збільшенні частоти обертання зросте відцентрова сила вантажів, що викличе переміщення золотників $б$ вправо. Відкриється злив масла з порожнини Б, що викличе переміщення сервопоршня 7 вправо під дією пружини 32. Сервопоршень жорстко пов'язаний з повзуном потенціометра 26, і, якщо система замкнена, тобто перемикач 20 в положенні 2, таке переміщення повзуна потенціометра викличе зменшення напруги на керуючій обмотці ЕМП, що призведе до зменшення напруги на виході ЕМП, і напруги, що подається на вхід електродвигуна. Частота обертання вала почне зменшуватися, і золотник $б$ зміститься вліво. На сталих режимах золотники розташовані точно проти вікон у корпусі сервопоршня і перекривають підведення і злив масла з порожнини Б.

У разі відхилення значення n в меншу сторону від необхідного значення знижується відцентрова сила вантажів і золотник $б$ переміщується вліво, що призводить до відкриття вікон у корпусі сервопоршня, і робоча рідина – масло почне надходити з порожнини А в порожнину Б, внаслідок чого сервопоршень зміститься вліво і збільшиться напруга на керуючій обмотці ЕМП і на клеммах електродвигуна. Частота обертання вала почне зростати і в кінцевому рахунку відновиться з точністю до статичної помилки регулювання.

Інтенсивність процесу регулювання можна істотно змінити за допомогою голки катаракта 3, положення якої визначає швидкість протікання масла через голчастий клапан.

Загальний вигляд лицьової панелі стенда показаний на рисунку 3. Тут же розташовані вимірювальні прилади й органи керування. У лівій частині знаходиться ватметр 1, який вимірює потужність, споживану електроприводом ЕМП, праворуч від ватметра – вимірювач частоти обертання вала електродвигуна 2.

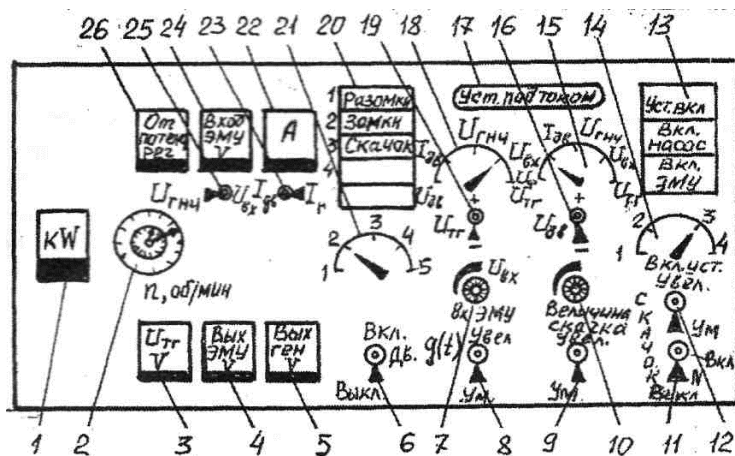


Рисунок 3 – Лицьова панель стенда

На панелі розташовані наступні прилади:

– вольтметр 26 (24), що вимірює напругу на потенціометрі (26), пов'язаному з сервопоршнем (7) регулятора, U_m ;

– вольтметр 24 (19), що вимірює або напругу, що подається на керуючу обмотку ЕМП, $U_{\text{ВХ}}$ при розімкнутій системі, або напругу, що подається на другу керуючу обмотку від генератора низької частоти, $U_{\text{ГНЧ}}$. Перемикальний тумблер знаходиться під приладом 24;

– амперметр 22 (15), який у залежності від положення тумблера під ним, вимірює або силу струму в ланцюзі якоря електродвигуна $I_{\text{ДВ}}$, або в ланцюзі якоря навантажувального генератора (11);

– вольтметр 3, що вимірює напругу на клеммах тахогенератора $U_{\text{ТГ}}$;

– вольтметр 4 (16), що вимірює напругу на виході ЕМП, $U_{\text{ДВ}}$;

– вольтметр 5 (14), що вимірює напругу на клеммах генератора $U_{\text{Г}}$.

Крім того, на панелі керування знаходяться:

– перемикач роду лабораторних робіт 21 і відповідне світлове табло 20;

– два перемикачі 15 і 16 виведення на осцилограф вимірюваних струмів і напруг;

– два тумблери 16 і 19, що дозволяють змінювати знаки напруг $U_{\text{ТГ}}$ і $U_{\text{ДВ}}$;

– перемикач вмикання установки 14: подачі живлення до стенду – положення 1, вмикання масляного насоса – положення 2 і вмикання ЕМП – положення 3. Над перемикачем встановлено світлове табло 13.

На панель виведені рукоятки трьох потенціометрів:

– потенціометр 7 (25), за допомогою якого можна змінювати напругу керування на обмотці ЕМП при розімкнутій системі – величину $U_{\text{ВХ}}$;

– потенціометр 10 (22), за допомогою якого можна регулювати величину ступінчастої зміни напруги на вході в ЕМП («Величина стрибка»).

На пульті керування також встановлені:

- тумблер 6 (10) розриву ланцюга якоря двигуна («Двигун», «Увімкнути», «Вимкнути»);
- тумблер скидання навантаження 11 (13), який розриває ланцюг якоря генератора («N», «Увімкнути-Вимкнути»);
- тумблер 12 (23), за допомогою якого проводиться ступінчаста зміна напруги на керуючій обмотці ЕМП («Стрибок», «Збільш.-Зменш.»);
- тумблер 8 (27) для дистанційної зміни задавального впливу – зміни величини затягування пружини регулятора («g (t)», «Збільш.-Зменш.»);
- тумблер 9 керування навантажувальним реостатом (12) в ланцюзі якоря генератора («g (t)», «Збільш.-Зменш.»).

Контрольні питання

1. Робота лабораторної установки за принциповою схемою.
2. Будова та принцип роботи регулятора.

Лабораторна робота № 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПОБУДОВА СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ

Мета роботи: побудувати статичні характеристики об'єкта регулювання і регулятора.

1. Короткі теоретичні відомості

Статичною характеристикою елемента називається залежність вихідної координати від вхідних, знята на сталих режимах. Статичні характеристики можуть бути представлені графічно або аналітично. Якщо вхідних сигналів у елемента два, а вихідний один, статична характеристика являє собою сімейство кривих.

Перш ніж знімати статичні характеристики, необхідно розбити систему на окремі елементи, визначити їх вхідні і вихідні сигнали.

Для зняття статичних характеристик окремих елементів слід розімкнути систему для того, щоб мати можливість у широкому інтервалі змінювати вхідні і вихідні сигнали всіх ланок системи. Розмикання системи здійснюють перемикачем 20 (див. рисунок 2), встановивши його в положення 1 «Система розімкнена/ Лабораторна робота № 1». У цьому випадку на вхід ЕМП надходить напруга не з потенціометра 26, а напруга $U_{ВХ}$, що знімається з потенціометра 25, повзун якого переміщається рукояткою 7 (рисунок 3). Функціональна схема розімкненої системи представлена на рисунку 4.

Дану систему можна представити у вигляді чотирьох основних елементів, увімкнених послідовно: сам регулятор Р (поз. 1 на рисунку 2), перетворюючий потенціометр ПП (поз. 26 на рисунку 2), електромашинний підсилювач ЕМП (поз. 17 на рисунку 2) і електродвигун ЕД (поз. 9 на рисунку 2).

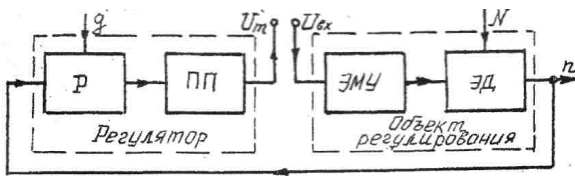


Рисунок 4 – Функціональна схема розімкненої системи

Для зменшення обсягу роботи розіб'ємо систему на два елементи – регулятор і об'єкт регулювання; вважатимемо вихідним сигналом регулятора не переміщення сервопоршня, яке через важіль переміщує повзун потенціометра 26 (див. рисунок 2), а електричний сигнал на виході потенціометра – напругу U_m , тобто віднесемо перетворюючий потенціометр до регулятора, об'єктом регулювання вважатимемо систему ЕМП-ЕД.

Вхідними сигналами до регулятора будуть: n – частота обертання вала двигуна і g – затягування пружини відцентрового маятника (задавальний вплив), а вихідними – напруга U_m .

До об'єкта регулювання на вхід надходить напруга $U_{\text{вх}}$, яка змінюється вручну потенціометром 25 (див. рисунок 2) і $N = U_{\Gamma} I_{\Gamma}$ – навантаження з боку генератора на електродвигун.

Таким чином, необхідно отримати залежність $n = n(U_{\text{вх}}, N)$ – статичну характеристику об'єкта і залежність $U_m = U_m(n, g)$ – статичну характеристику регулятора.

2. Порядок виконання роботи

1. Увімкнути стенд. Для цього перемикач 14 (див. рисунок 3 «Увімкнення установки») послідовно включити в положення 1, 2, 3. При цьому на світловому табло 13 послідовно загоряться сигнальні лампи «Установка увімкнена», «Увімкнений масляний насос» і «Увімкнений ЕМП».

2. Замкнути ланцюг ЕД тумблером 6 (див. рисунок 3).

3. Встановити перемикач 21 (поз. 20 на рисунку 2) вибору робіт у положення 1. На світловому табло загориться лампочка «Система розімкнена».

4. Зняти статичну характеристику об'єкта регулювання $n = n(U_{\text{ВХ}}, N)$. Зручніше знімати залежність n від навантаження $N = U_{\Gamma} I_{\Gamma}$ для фіксованих значень $U_{\text{ВХ}}$. Встановлюємо задане значення $U_{\text{ВХ}}$ і змінюємо навантаження від нуля до максимального. Для цього спочатку отримуємо дані, коли ланцюг якоря навантажувального генератора розімкнений ($N = 0$, оскільки $I_{\Gamma} = 0$), потім тумблер 13 (див. рисунок 2) у ланцюзі якоря генератора замикаємо (тумблер 11 в положення «Увімкн.» – див. рисунок 3) і встановлюємо за допомогою навантажувального реостата 12 (див. рисунок 2) різні значення N . Повзун реостата переміщаємо за допомогою тумблера 9 (див. рисунок 3). Зняті дані записати в таблицю 1 для п'яти $U_{\text{ВХ}}$.

Таблиця 1

$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$																
$n, \text{об/хв}$																
$I_{\Gamma}, \text{А}$																
$U_{\Gamma}, \text{В}$																
$N, \text{Вт}$																

Зняти статичну характеристику регулятора і представити її у вигляді графіка залежності U_m від n для двох різних значень задавального впливу g – зятягування пружини відцентрового маятника. Значення g встановлюються за допомогою перемикача 8 (див. рисунок 3), який подає живлення на електродвигун 28 (див. рисунок 2). Далі встановлюємо $g = g_1$ і за допомогою потенціометра 7 «Вхід ЕМП» (див. рисунок 3) змінюємо частоту обертання вала двигуна від початку автоматичної роботи (ПАР) регулятора, коли його муфта 31 (див.

рисунок 2), а отже, і сервопоршень 7 стоять на своєму нижньому упорі (точка 1 на рисунку 7), а U_m має своє максимальне значення. В інтервалі $n_{\text{ПАР}} < n < n_{\text{КАР}}$ знімається статична характеристика регулятора. Тут $n_{\text{НАР}}$ – частота обертання вала двигуна, коли відцентрова сила вантажу стане рівною зусиллю від настроювальної пружини 30 (див. рисунок 2), а $n_{\text{КАР}}$ – значення n в кінці автоматичної роботи регулятора при даному зтягуванні g , коли муфта маятника і сервопоршень стоять на своєму верхньому упорі і $U_m = 0$. Дані записати в таблицю 2.

Таблиця 2

$g, \text{ мм}$												
$n, \text{ об/хв}$												
$U_m, \text{ В}$												

3. Обробка експериментальних даних

За даними таблиці 1 будуємо залежність $n = n(N, U_{\text{ВХ}})$ – рисунок 5. Розсікаючи отримані на рисунку 5 залежності прямими $N = \text{const}$, отримуємо статичну характеристику об’єкта в іншому вигляді, представленому на рисунку 6.

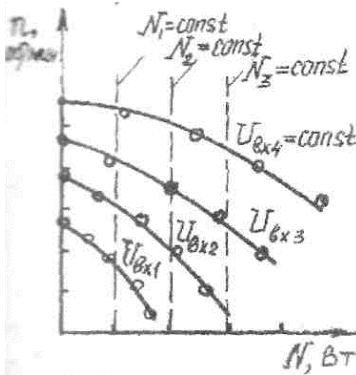


Рисунок 5 – Побудова залежності $n = n(N, U_{\text{ВХ}})$

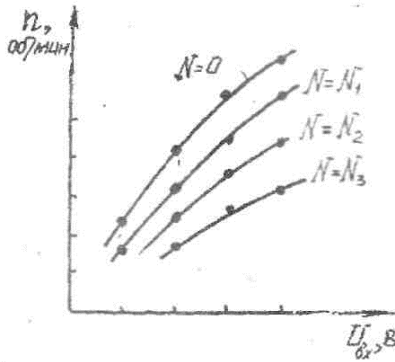


Рисунок 6 – Статична характеристика об'єкта, яку отримано з рисунка 5

Статичну характеристику регулятора ілюструємо графіком $U_m = U_m(n, g)$, приблизний вигляд якого представлений на рисунку 7.

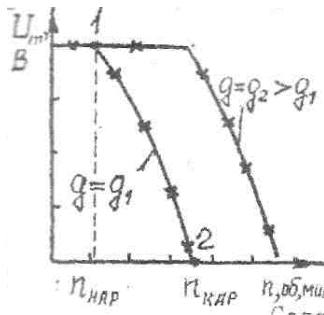


Рисунок 7 – Статична характеристика регулятора

Контрольні питання

1. Поняття про статичні характеристики елементів САР.
2. Порядок проведення експерименту.
3. Обробка експериментальних даних.

Лабораторна робота № 3
**ПОБУДОВА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА
СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЗАМКНЕНОЇ СИСТЕМИ**

Мета роботи: освоїти методику аналітичної побудови статичної характеристики замкненої САР за статичними характеристиками окремих елементів. Перевірити отриману залежність експериментальним шляхом.

1. Короткі теоретичні відомості

Розділ теорії, який вивчає властивості систем автоматичного регулювання на сталих режимах, називається статикою систем регулювання на відміну від динаміки, яка розглядає питання, пов'язані з перехідними режимами.

Під статичною характеристикою замкненої САР розуміють функціональну залежність регульованої величини від задавального і збурювального впливів, зняту на сталих режимах.

Залежно від того, чи змінюється регульована величина в статичі при зміні збурювальних впливів чи ні, системи діляться на статичні й астатичні. Якщо регульована величина на сталому режимі не залежить від впливів, що збурюють, то така система називається астатичною, а якщо залежить, то статичною. В останньому випадку регулятор підтримує регульовану величину з точністю до статичної помилки регулювання.

Величина статичної помилки регулювання залежить від характеристики окремих елементів САР і пов'язана з характеристиками об'єкта регулювання і регулятора наступним співвідношенням (3.1):

$$\Delta x_s = \frac{\Delta x_s^*}{1 + k_{об}k_P}.$$

Тут і на рисунку 8 x – регульована величина; f – збурювальний вплив; Δx_s – статична помилка при виборі об’єкта спільно з регулятором, коли система замкнена; Δx_s^* – відхилення при роботі об’єкта без регулятора – при розімкненій системі; $k_{об}$ – коефіцієнт посилення об’єкта регулювання по керуючому сигналу; k_p – коефіцієнт підсилення регулятора.

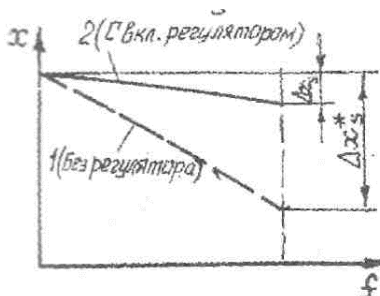


Рисунок 8 – Статична характеристика об’єкта регулювання (1) і замкненої САР (2)

З рисунка 8 випливає, що в даному випадку використання регулятора не призводить до повного знищення статичної помилки, але зменшує її в $1 + k_{об}k_p$.

Із залежності (1) видно, що статична помилка регулювання Δx_s зменшується зі збільшенням коефіцієнта посилення регулятора k_p . Значення k_p можна визначити зі статичної характеристики регулятора як відношення приросту його вихідної координати U_m – керуючого сигналу до вхідних – регульованої величини n – при фіксованому значенні задавального впливу. Коефіцієнт посилення об’єкта регулювання $k_{об}$ – це відношення приросту регульованої величини до приросту керованого сигналу при фіксованому значенні збурювального впливу $N = \text{const}$. Тут $k_{об}$ визначається зі статичної характеристики об’єкта.

2. Порядок виконання роботи

2.1. Побудувати графік статичної характеристики замкненої системи, використовуючи дані лабораторної роботи № 1.

У даному випадку це буде залежність частоти обертання вала n електродвигуна від збурювального впливу – навантаження на двигун N , отримана для різних значень задавального впливу g – затягування пружини відцентрового маятника. Якщо система замкнена, напруга U_m , пропорційна переміщенню муфти регулятора, подається на вхід електромашинного підсилювача, тобто в цьому випадку $U_m = U_{BX}$. Тому вісь абсцис на статичній характеристиці об'єкта регулювання позначена не U_{BX} , а U_m . Для побудови статичної характеристики замкненої системи $n = n(N, g)$ сумістимо на загальному графіку статичну характеристику об'єкта регулювання і регулятора, як показано на рисунку 9. Щоб отримати за характеристиками окремих елементів статичну характеристику замкненої системи, необхідно вихід даної ланки зв'язати з входом наступної і таким чином замкнути контур. Побудову $n = n(N, g)$ показано на рисунку 9 стрілками.

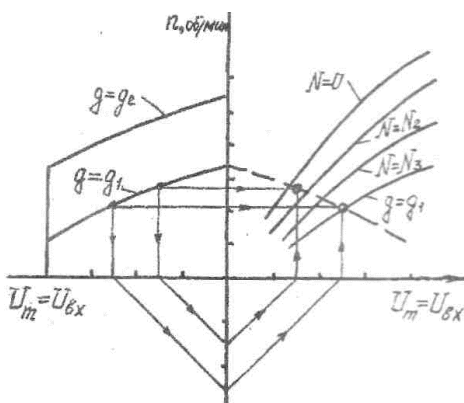


Рисунок 9 – Побудова статичної характеристики замкненої САР

Спочатку задаємося $g = g_1$, і кожному значенню n буде відповідати точка на полі статичних характеристик об'єкта, яка визначає значення N .

Величину навантаження визначаємо шляхом інтерполяції, якщо точка потрапляє між кривими. Виконуємо далі таку ж побудову для $g = g_2$.

Таку побудову виконують зазвичай, якщо число елементів більше двох. Якщо число елементів більше чотирьох, то використовуючи правило побудови статичних характеристик групи ланок, їх число зменшують до чотирьох.

В даному випадку число ланок дорівнює двом – це об'єкт регулювання і регулятор, тому побудову статичної характеристики замкненої системи можна спростити: накласти статичну характеристику регулятора на статичну характеристику об'єкта (рисунок 10) і по точках перетину статичної характеристики регулятора для $g = g_1$ з кривими $N = \text{const}$ статичної характеристики об'єкта визначити значення n , відповідні $N = 0, N = N_1, N = N_2, N = N_3, N = N_4$ і т. п.

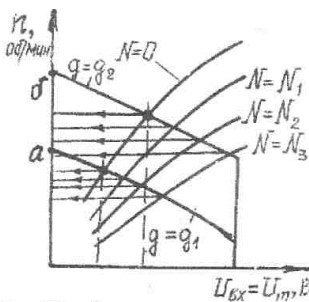


Рисунок 10 – Побудова статичної характеристики замкненої САР шляхом накладення статичної характеристики регулятора на статичну характеристику об'єкта регулювання

Отримані дані наносимо на графік $n = n(N, g)$ – рисунок 11. Таку ж побудову виконуємо і для інших значень g .

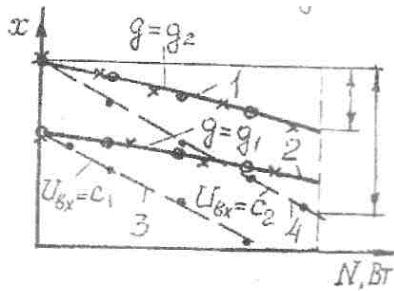


Рисунок 11 – Статична характеристика замкненої САР частоти обертання вала електродвигуна (криві 1 та 2) і статична характеристика об'єкта – розімкненої САР (криві 3 та 4):
 o – дані роботи № 1; x – дані роботи № 2

2.2. Зняти статичну характеристику замкненої системи в наступній послідовності:

2.2.1 Тумблер перемикача роду робіт 21 (див. рисунок 3) встановлюємо в положення 2 – засвічується табло «Система замкнена». У цьому випадку напруга, що знімається з потенціометра 26 (див. рисунок 2), повзунок якого з'єднаний зі слідкуючим сервопоршнем 7, подається на керуючу обмотку ЕМП.

2.2.2 Встановлюємо тумблером 8 (див. рисунок 3) затягування пружини відцентрового маятника $g = g_1$ таке ж, як і при виконанні лабораторної роботи №1. Оскільки точна установка такого ж значення g утруднена (недостатня точність шкали, люфт і зазори в кінематичних парах), то встановлюємо $N = 0$ і змінюємо g до тих пір, поки не вийдемо на обороти, відповідні точці a на рисунку 10.

2.2.3 Змінюючи навантаження від 0 до максимального значення з використанням тумблерів 11 і 9 (див. рисунок 3), знімаємо залежність n від N при $g = g_1$. Навантаження $N = 0$ встановлюється тумблером 11.

2.2.4 Встановлюємо інші значення затягування пружини – такі ж, як і при виконанні лабораторної роботи № 1,

і повторюємо вимірювання. Для точної установки $g = g_2$ використовуємо точку b з рисунку 10. Дані заносимо в таблицю 3.

Таблиця 3

g , мм										
n , об/хв										
U_{Γ} , В										
I_{Γ} , А										
$N = U_{\Gamma}I_{\Gamma}$, Вт										

3. Обробка експериментальних даних

3.1. Розрахувавши в таблиці 3 значення навантаження $N = U_{\Gamma}I_{\Gamma}$, наносимо точки на побудовану раніше статичну характеристику замкненої системи автоматичного регулювання (криві 1 і 2, рисунок 11).

3.2. На цьому ж графіку будуємо статичну характеристику об'єкта для $U_{BX} = \text{const}$ (криві 3 і 4), використовуючи рисунок 6 або рисунок 10. Величину U_{BX} вибираємо такою, щоб статична характеристика об'єкта при $N = 0$ проходила через точки a і b (див. рисунок 11).

3.3. Для фіксованого значення N визначаємо Δx_s і Δx_s^* для $g = g_1$ і $g = g_2$.

3.4. Використовуючи формулу (1), визначаємо значення коефіцієнта розімкненої системи $k_{\text{роз}}^* = k_{\text{об}}k_p$.

3.5. Із статичної характеристики об'єкта регулювання визначаємо значення його коефіцієнта посилення по керуючому сигналу $k_{\text{об}} = (\partial n / \partial U_{BX}) N = \text{const}$ і коефіцієнт посилення регулятора $k_p = (\partial U_m / \partial n) g = \text{const}$. Обчислюємо значення $k_{\text{роз}} = k_{\text{об}}k_p$ і порівнюємо з $k_{\text{роз}}^*$, отриманим у п. 3.4.

4. Зміст звіту

4.1. Мета лабораторної роботи.

4.2. Принципова схема лабораторного стенду.

4.3. Порядок виконання лабораторної роботи.

4.4. Статична характеристика замкненої САР, побудовану за статичними характеристиками об'єкта і регулятора.

4.5. Експериментальна перевірка статичної характеристики замкненої САР.

4.6. Значення отриманого коефіцієнта посилення розімкненої системи.

Контрольні питання

1. Поняття про статичну характеристику замкненої системи.
2. Побудова статичної характеристики замкненої системи за статичними характеристиками об'єкта і регулятора.
3. Як визначити коефіцієнт посилення об'єкта регулювання, регулятора і розімкненої системи?
4. Як впливає коефіцієнт посилення регулятора на статичну помилку регулювання?

Лабораторна робота № 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ, ВИБІР ЗАКОНУ РЕГУЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА

Мета роботи: вивчити методику експериментального отримання наближеного математичного опису багатоемнісних об'єктів; вивчити інженерний метод вибору закону регулювання і розрахунку параметрів регуляторів безперервної дії.

1. Короткі теоретичні відомості

1.1. Характеристики об'єктів регулювання.

Більшість промислових об'єктів можна представити у вигляді елементів, які є акумуляторами речовини або енергії. Багатоемнісний об'єкт складається з декількох таких акумуляторів.

Динамічні і статичні властивості об'єкта регулювання описуються диференціальними рівняннями. Для багатоемнісних об'єктів ці рівняння мають високий порядок.

При вирішенні більшості технічних завдань складний багатоемнісний об'єкт зазвичай представляють одним або двома типовими динамічними ланками, які мають приблизно такий же перехідний процес при подачі на вхід такого ж збурювального впливу. Одним з видів такого впливу є стрибкоподібна (ступінчаста) зміна вхідного сигналу. Залежно від реакції на такий вхідний сигнал більшість об'єктів можна розділити на два види:

- об'єкти з самовирівнюванням (статичні), в яких регульована величина після закінчення перехідного процесу переходить до нового сталого значення (теплообмінні апарати,

приміщення, двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) і газотурбінні двигуни (ГТД) як об'єкти регулювання частоти обертання на великих частотах обертання);

– об'єкти без самовирівнювання (астатичні), коли після зміни вхідного впливу стабілізується тільки швидкість зміни регульованої величини (ємність з рідиною як об'єкт регулювання рівня, якщо приплив і стік не залежать від рівня, ДВЗ та ГТД як об'єкти регулювання частоти обертання на малих частотах обертання та ін.).

Статичний об'єкт можна представити аперіодичною ланкою першого порядку з послідовно включеною ланкою чистого запізнювання (рисунок 12). Рівняння такого об'єкта в абсолютних відхиленнях змінних у загальному випадку буде мати вигляд (4.1):

$$T \frac{\partial x(t)}{\partial t} + x(t) = k_{об} y(t - \tau) + k_{обf} f(t - \tau),$$

де x – регульована величина; y – керуючий вплив; f – збурювальний вплив; τ – час запізнювання; T – стала часу; $k_{об}$, $k_{обf}$ – коефіцієнти передачі за керуючим і збурювальним впливами.

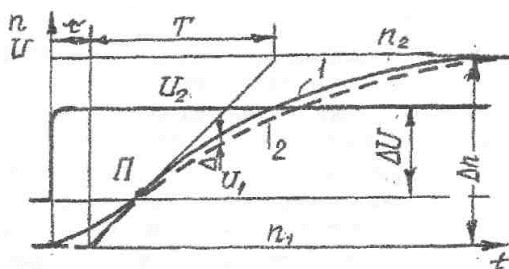


Рисунок 12 – Крива перехідного процесу об'єкта:
1 – експериментальна; 2 – теоретична

У лабораторній установці до об'єкта регулювання входять електромашинний підсилювач (ЕМП) і двигун (Д) постійного струму. Регульованою величиною x є абсолютне відхилення частоти обертання Δn , керуючим впливом y – зміна напруги на вході ЕМП – ΔU , збурювальним впливом f – зміна навантаження на валу двигуна ΔN , необхідна для обертання генератора.

Рівняння (4.1) об'єкта регулювання в цьому випадку набуде вигляду (4.2)

$$T \frac{\partial \Delta n(t)}{\partial t} + \Delta n(t) = k_{об\Delta U} \Delta U(t - \tau) + k_{об\Delta N} \Delta N(t - \tau).$$

1.2. Регулятори та їх закони регулювання.

У промислових замкнених системах регулювання використовують регулятори безперервної, імпульсної і релейної дії.

В регуляторах безперервної дії між вихідними і вхідними величинами існує безперервний функціональний зв'язок, який зветься законом (алгоритмом) регулювання. Таким чином, характер роботи регулятора визначається законом регулювання, тобто рівнянням, за яким він вводить в об'єкт регулюючий вплив u . Робота регулятора при цьому законі залежить від значень постійних коефіцієнтів, що входять у рівняння і називаються параметрами налаштування регулятора. Конструкція промислового регулятора дозволяє змінювати налаштування в широких межах.

Регулятори безперервної дії, які набули найбільшого поширення, розподіляють у відповідності із законами регулювання:

– регулятори пропорційної дії (П-регулятори), або статичні, вихідна величина в яких відповідно у загальному вигляді та відносно до системи лабораторної установки пов'язана із вхідною за законом (4.3)

$$y = k_p x; \quad \Delta U = k_p \Delta n;$$

– регулятори інтегральної дії (І-регулятори), або астатичні, діють за законом (4.4):

$$y = k_{p1} \int x dt; \quad \Delta U = k_{p1} \int \Delta n dt;$$

– регулятори пропорційно-інтегральної дії (ПІ-регулятори), або ізодромні, поєднують обидва розглянутих вище закони регулювання (4.5):

$$y = k_p x + k_{p1} \int x dt; \quad \Delta U = k_p \Delta n + k_{p1} \int \Delta n dt;$$

– регулятори пропорційно-інтегрально-диференціальної дії (ПІД-регулятори), або ізодромні з попередженням, мають закон (4.6):

$$y = k_p x + k_{p1} \int x dt + k_{p2} \frac{dx}{dt},$$

$$\Delta U = k_p \Delta n + k_{p1} \int \Delta n dt + k_{p2} \frac{d\Delta n}{dt}.$$

Якщо в законі регулювання є І-складова, то система є астатичною.

У рівняннях (4.3)–(4.6) k_p , k_{p1} , k_{p2} – коефіцієнти передачі, які звуться параметрами налаштування.

1.3. Вимоги до безперервних систем регулювання.

Вимоги, що пред'являються до системи регулювання, стосуються стійкості і якості регулювання. Систему регулювання можна вважати працездатною, якщо вона в усіх випадках стійка. Серійні регулятори при правильно обраних законі і налаштуваннях забезпечують стійкий процес регулювання, його якість.

При оцінці якості регулювання розглядають характер перехідного процесу, викликаного збуренням певної форми (в даному випадку стрибкоподібним збуренням), і величини,

а також показники якості регулювання або використовують інтегральні оцінки якості.

У загальному випадку при виборі закону регулювання і розрахунку параметрів налаштування відповідно до використовуваної в роботі методики рекомендовані три види перехідних процесів (рисунок 13): аперіодичний з мінімальним часом регулювання; з 20%-м ступенем коливальності, що забезпечує мінімальний час першого напівперіоду коливальності; з мінімальною квадратичною площею відхилення, тобто з $\min \int_0^\infty x^2 dt$ ($\min \int_0^\infty x \Delta n^2 dt$) – і такі показники якості:

- залишкове відхилення або статична помилка $\delta = \Delta x_s = \Delta n_s$ – відмінність нового сталого значення регульованої величини $x_{уст} = n_{уст}$ від заданого $x_{зад} = n_{зад}$ (рисунок 14);

- максимальне динамічне відхилення $\Delta x_1 = \Delta n_1 = A_1$ регульованої величини від нового сталого значення;

- коефіцієнт $R_d = x_1/x_{0уст} = n_1/n_{0уст}$, що характеризує ступінь впливу регулятора (зниження динамічного відхилення), де $x_1, n_1, x_{0уст}, n_{0уст} = k_{об} \Delta U$ – максимальне відхилення регульованої величини при наявності x_1, n_1 і відсутності $x_{0уст}, n_{0уст}$ регулятора на статичному об'єкті (див. рисунок 14);

- час регулювання t_p – час від подачі збурення до моменту, коли регульована величина стає менше допустимої δ_ϵ з технологічних міркувань, зазвичай δ_ϵ дорівнює $\pm 0,05$ від сталого значення регульованої величини $x_{уст}$;

- ступінь коливальності $\phi = (A_2/A_1)100\% = (\Delta x_2/\Delta x_1)100\%$, тобто відношення другого, протилежно спрямованої амплітуди коливальності $A_2 = \Delta x_2 = \Delta n_2$ до першої максимальної амплітуди $A_1 = \Delta x_1 = \Delta n_1$, виражене у відсотках;

- перерегулювання $A_1 = \Delta x_1 = \Delta x_{max}$ – максимальне відхилення регульованої величини від нового сталого значення. Зазвичай перший максимум найбільший.

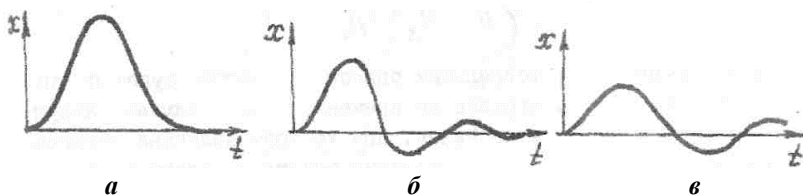


Рисунок 13 – Перехідні процеси регулювання:

- а** – аперіодичний з мінімальним часом регулювання;
б – з 20 % коливальності та мінімальним часом першого напівперіоду;
в – з мінімальною квадратичною площею відхилення

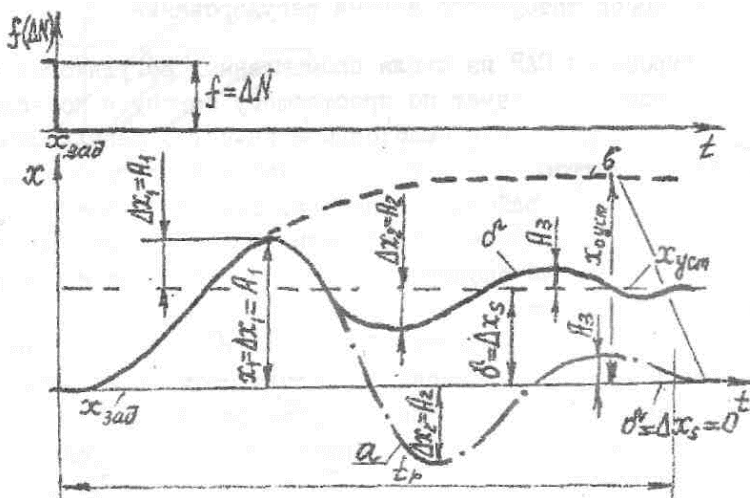


Рисунок 14 – Перехідні процеси регулювання та якість регулювання:

- а** – процес без залишкового відхилення;
б – із залишковим відхиленням

Відносне перерегулювання визначають за формулою

$$\delta = (A_1/x_{уст})100\%,$$

а ступінь загасання коливань

$$\psi = (A_1 - A_3)/A_1.$$

При використанні інтегральних оцінок про якість судять за значеннями певних інтегралів у часі. У цьому випадку найкращим вважають процес регулювання, при якому величина інтеграла мінімальна. Найбільш поширена оцінка якості виду $\int x^2 dt$ – квадратична площа відхилення.

1.4. Вибір необхідного закону регулювання.

При проектуванні САР з числа промислових регуляторів обирають той, який діє за найпростішим законом і дозволяє забезпечити на даному об'єкті необхідну якість регулювання. Щоб обрати регулятор, слід знати характеристики об'єкта регулювання, умови роботи регулятора, тобто вимоги до якості і величину збурення, показники якості, які можуть бути отримані при установці різних регуляторів на об'єктах з різними властивостями.

Розглянемо показники якості R_d , t_p , δ , які можуть бути отримані при установці серійних регуляторів на об'єктах з різними властивостями при стрибкоподібному обуренні.

Динамічні коефіцієнти R_d , що визначають максимальне відхилення регульованої величини $x_1 = R_d k_{об} y_v$ ($\Delta n_1 = R_d k_{об} \Delta U$), наведені на рисунку 15 залежно від виду перехідного процесу і закону регулювання. Відносний час регулювання t_p/τ проілюстровано на рисунку 16.

Для П-, ПІ-, ПІД-регуляторів величина t_p/τ – величина стала при різних τ/T , залежить тільки від характеру перехідного процесу і може бути визначена за таблицею.

Користуючись параметром об'єкта та вимогами до системи, слід визначити коефіцієнт $R_d = x_1/k_{об} y_v = \Delta n/k_{об} \Delta U$ для найбільшого ΔU . За графіками $R_d(\tau/T)$ (див. рисунок 15) для прийнятого перехідного процесу знаходять R_d у всіх регуляторів.

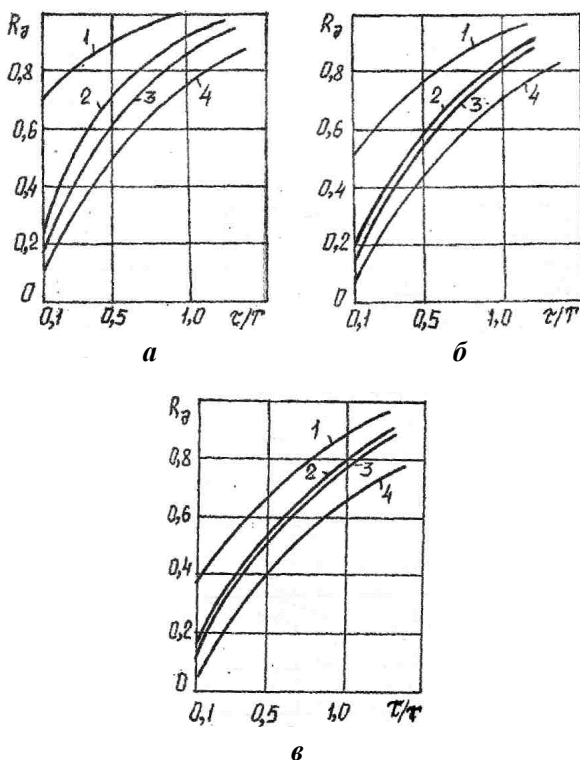


Рисунок 15 – Динамічні коефіцієнти регулювання на статичних об'єктах:

а, б, в – див. рисунок 13; 1 – І-регулятор; 2 – П-регулятор;
3 – ПІ-регулятор; 4 – ПІД-регулятор

Далі за рисунком 16 визначають t_p/τ , а отже, і t_p аналогічно знаходженню R_d . Потім визначають найпростіший регулятор, що забезпечує R_d і t_p менше необхідного. У разі вибору П-регулятора, за графіком $\delta(\tau/T)$ (рисунок 17) перевіряють величину залишкового відхилення $\delta = \Delta x_s = \Delta n_s$. Якщо воно перевищує допустиме значення, то обирають інший регулятор, що включає І-складову, й отримують астатичну систему.

Якщо жоден регулятор не відповідає поставленим вимогам, то перевіряють, чи не можна використовувати інший перехідний процес. Конкретний регулятор обирають у залежності від наявної номенклатури, умов експлуатації, вимог замовника.

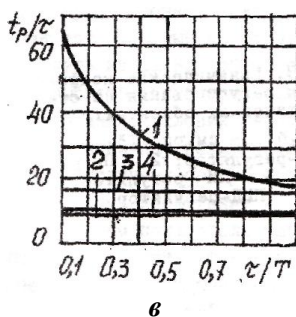
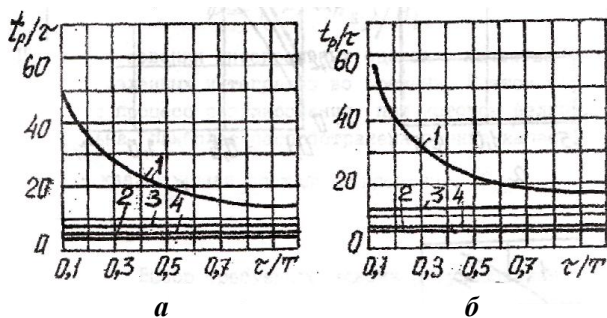


Рисунок 16 – Час регулювання на статичних об'єктах (а, б, в, 1, 2, 3, 4 – див. рисунки 13, 15)

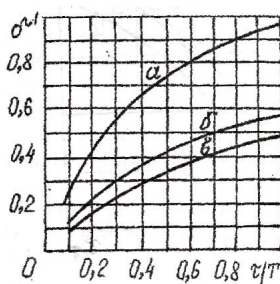


Рисунок 17 – Залишкове відхилення на статичних об'єктах (а, б, в – див. рисунок 13)

1.5. Розрахунок параметрів налаштувань САР з безпервним регулятором.

Різноманітні методи розрахунку параметрів налаштувань регуляторів дозволяють визначити параметри ідеальних регуляторів, рівняння яких наведені вище. Розглянемо метод розрахунку параметрів регулятора за перехідною характеристикою (див. рисунок 12). Перевага цього методу в простоті експерименту і розрахунку, недоліки – погана перешкодозахищеність і мала вірогідність початкової ділянки характеристики об'єкта через нечутливості апаратури. Якщо закон регулювання відомий, то розрахунок параметрів регулятора виконується для одного обраного з трьох рекомендованих перехідних процесів з використанням експериментально отриманих у роботі характеристик $k_{об}$, τ , T (для об'єктів з самоврівнюванням) за виразами, наведеними в таблиці 4.

Таблиця 4

Регулятор	Параметри настройки непрерывных регуляторов на статических объектах		
	апериодический	с 20 %-й степенью колебательности	с $\min \int x^2 dt$
П	$K_p = \frac{0,3}{K_{об} \tau / T}$	$K_p = \frac{0,7}{K_{об} \tau / T}$	$K_p = \frac{0,9}{K_{об} \tau / T}$
И	$K_{p1} = \frac{1}{4,5 K_{об} T}$	$K_{p1} = \frac{1}{1,7 K_{об} T}$	$K_{p1} = \frac{1}{1,7 K_{об} T}$
ПИ	$K_p = \frac{0,32}{K_{об} \tau / T}$ $K_{p1} = \frac{1,0}{K_{об} \tau}$	$K_p = \frac{0,7}{K_{об} \tau / T}$ $K_{p1} = \frac{1,0}{K_{об} \tau}$	$K_p = \frac{1,0}{K_{об} \tau / T}$ $K_{p1} = \frac{1,0}{K_{об} \tau}$
ПИД	$K_p = \frac{0,95}{K_{об} \tau / T}$ $K_{p1} = \frac{0,4}{K_{об} (\tau / T) \tau}$ $K_{p2} = \frac{0,38 T}{K_{об}}$	$K_p = \frac{1,2}{K_{об} \tau / T}$ $K_{p1} = \frac{0,6}{K_{об} (\tau / T) \tau}$ $K_{p2} = \frac{0,48 T}{K_{об}}$	$K_p = \frac{1,4}{K_{об} \tau / T}$ $K_{p1} = \frac{1,08}{K_{об} (\tau / T) \tau}$ $K_{p2} = \frac{0,7 T}{K_{об}}$

2. Порядок виконання роботи

2.1. Включити стенд. Для цього перемикач 14 (див. рисунок 3) «Увімкнення установки» послідовно за годинниковою стрілкою включити в положення 1, 2, 3. При цьому на світловому табло 13 засвітяться сигнальні лампи «Установка увімкнена», «Увімкнено масляний насос», «Увімкнено ЕМП».

2.2. Встановити перемикач 20 (див. рисунок 2 і 21, рисунок 3) вибору робіт у положення 3. На табло 20 (див. рисунок 3) засвітиться лампа «Робота 3», «Стрибок». Надалі номери в дужках відносяться до рисунка 3, а поза дужками – до рисунка 2.

2.3. Вимкнути навантаження, для цього тумблер 13 (11) поставити в положення «Вимкн.». Ланцюг генератора при цьому буде виключено.

2.4. Поставити тумблер 23 (12) у положення «Збільшення», що відповідає його замкненому стану, коли опір 22 замкнено і він не впливає на роботу; потім потенціометром 25 (7) «Вхід ЕМП» встановити більше значення $U_{\text{вхЕМП}} = U_2$.

2.5. Поставити тумблер 23 (12) в положення «Зменшення», що відповідає його розімкненому стану, коли додатковий опір 22 (10) «Величина стрибка» увімкнено, і цим опором встановити менше значення $U_{\text{вхЕМП}} = U_1$.

2.6. Увімкнути осцилограф і перемикачі (15, 18) поставити в положення $U_{\text{ТГ}} = f(n)$, $U_{\text{вх}}$, зарисувати лінії сталих значень U_1 і n_1 і записати їх значення за приладами (24, 2).

2.7. Перемикнути тумблер 23 (12) у положення «Збільшення» в момент часу, коли промінь на осцилографі знаходиться в крайньому лівому положенні. При цьому напруга на вході ЕМП зміниться поступово на величину $\Delta U = U_2 - U_1$, а частота обертання буде змінюватися по кривій від значення n_1 до значення n_2 (див. рисунок 12).

2.8. Поставити мітку на осі часу в момент зміни $U_{\text{вхЕМП}}$ зарисувати криву $n(t)$, лінії нових сталих значень U_2, n_2 і мітки часу, а також записати нові усталені значення U_2, n_2 за приладами (24, 2).

2.9. Вимкнути установку. Для цього потенціометром 25 (7) зменшити частоту обертання до нульової, а перемикач (14) послідовно проти годинникової стрілки поставити в положення 3, 2, 1.

3. Обробка експериментальних даних

На рисунку 12 наведено ступінчасту (стрибкоподібну) зміну вхідної координати $\Delta U = U_2 - U_1$, ймовірний вид перехідного процесу $n(t)$, а також усталені значення вхідних (U_1, U_2) і вихідних (n_1, n_2) координат об'єкта. Необхідно визначити коефіцієнт передачі об'єкта за керуючим впливом за виразом

$$k_{\text{об}} = (n_2 - n_1) / (U_2 - U_1)$$

і порівняти його з коефіцієнтом, у роботі № 2.

Для визначення сталої часу T і часу запізнювання τ необхідно з можливою ретельністю провести дотичну до кривої $n(t)$ в точці перегину n , як показано на рисунку 12.

Для оцінки точності математичного опису необхідно в рівняння (4.2) підставити коефіцієнти $k_{\text{об}}, \tau, T$ і побудувати перехідний процес при ступінчастій зміні $\Delta U = U_2 - U_1$ як результат вирішення цього рівняння, тобто отримати перехідну характеристику для аперіодичної ланки першого порядку із запізненням. Для цього треба використовувати рішення, яке має вигляд

$$\Delta n(t) = k_{\text{об}} \Delta U(t) (1 - e^{-(t-\tau)/T}).$$

Вважаючи, що $\Delta n(t)$ змінюється при $t - \tau > 0$, а при $t - \tau \leq 0$ $\Delta n = 0$ через наявність запізнювання в об'єкті. Порівнюємо процеси 1, 2 (див. рисунок 12), визначаємо максимальну

помилку як $\Delta = (n_e - n_T)100\%/n_2$, де n_e , n_T – частота обертання відповідно визначена за експериментальною 1 (див. рисунок 12) і теоретичною 2 (див. рисунок 12) кривими, в момент часу, коли вони найбільше відрізняються; n_2 – нове стале значення частоти обертання.

За заданими викладачем вимогами до системи обрати закон регулювання і розрахувати параметри налаштування регулятора.

4. Зміст звіту

- 4.1. Мета роботи.
- 4.2. Порядок проведення експерименту.
- 4.3. Обробка експериментальних даних.
- 4.4. Рівняння об'єкта регулювання з експериментально отриманими коефіцієнтами.
- 4.5. Перехідні процеси: експериментальний і теоретичний.
- 4.6. Результати порівняння експериментального і теоретичного процесів.
- 4.7. Закон роботи регулятора з розрахованими параметрами налаштування і проєктовані показники якості САР.
- 4.8. Висновки про отримані результати.

Контрольні питання

1. Поняття динамічних характеристик, види динамічних характеристик.
2. Види об'єктів регулювання та їх характеристики.
3. Методика отримання динамічних характеристик об'єкта.
4. Фізичний сенс коефіцієнтів рівняння об'єкта.
5. Основні закони роботи промислових регуляторів.
6. Вимоги до безперервних систем регулювання.
7. Порядок вибору закону регулювання.
8. Розрахунок параметрів налаштування регуляторів.

Лабораторна робота № 5

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ДВОПОЗИЦІЙНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ

Мета роботи: ознайомитися з принципом дії і пристроєм реле низького тиску типу РД-1, перевірити основні технічні характеристики реле, отримати практичні навички його налаштування; експериментально визначити динамічні характеристики системи двопозиційного регулювання тиску.

1. Зміст роботи і короткі відомості, необхідні для виконання

1. Ознайомитися з пристроєм стенду, вивчивши призначення приладів і перемикачів за рис. 3, 4 і 5.

2. Зняти динамічні характеристики системи двопозиційного регулювання тиску.

Крива двопозиційного регулювання тиску повітря в ресивері є характером зміни величини тиску повітря в ресивері за часом залежно від тривалості циклу (пуск і зупинка компресора) (рис. 10).

По осі ординат відкладається тиск у Па, а по осі абсцис – час у секундах.

З рис. 10 слідує:

– t'_1, t'_2, t'_3 – момент включення компресора в роботу;

– t''_1, t''_2, t''_3 – момент вимикання компресора;

– $\Delta t = t''_1 - t'_1$ – час подачі повітря в ресивер при початковому тиску в ньому;

– $t_p = t''_2 - t'_2$ – час роботи компресора;

– $t_{\text{ц}} = (t'_2 - t''_1) + (t''_2 - t'_2)$ – час одного циклу компресора.

Таким чином, цей процес можна розділити на ділянки тривалістю t_p (компресор працює) і t_k (компресор не працює).

Час $t_u = t_p + t_k$ називають тривалістю повного циклу або періодом, а складові – відповідно робочою і неробочою частинами циклу.

Відношення $b = t_p/t_u$ – коефіцієнт робочого часу. Воно характеризує навантаження на встановлення і може змінюватися в межах $0 \leq b \leq 1$, що відповідає зміні навантаження від нуля до максимальної, що дорівнює холодній продуктивності компресора при безперервній роботі.

За тривалістю циклів та їхніми мінімальними значеннями роблять висновки про можливість двопозиційного регулювання. Встановлено, що занадто часті пуски компресора несприятливо позначаються на його довговічності, викликають передчасний знос пускової апаратури та інших елементів установки.

Прийнято вважати допустимою частоту циклів для малих поршневих компресорів до 5–6 на годину, для середніх і великих – до 2–3 на годину.

3. Стенд дозволяє знімати динамічні характеристики наступними способами:

- при роботі установки в автоматичному режимі включаємо самописець і отримуємо криву перехідного процесу. За манометром слід записати значення тисків у момент включення і виключення компресора ($P_{\text{вкл}}$ і $P_{\text{викл}}$);

- при роботі установки в автоматичному режимі включаємо секундомір і фіксуємо час замикання і розмикання контактів, тобто час включення і виключення компресора і значення тисків $P_{\text{вкл}}$ і $P_{\text{викл}}$ по манометру. За цими даними будуємо криву двопозиційного регулювання тиску. За тривалістю циклів і її мінімальних значень судять про можливість двопозиційного регулювання. Встановлено, що занадто часті пуски компресора несприятливо позначаються на його довговічності, викликають передчасний знос пускової апаратури та інших елементів установки.

2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією реле тиску за наявними в лабораторії зразків.

2. У присутності викладача включити установку, для цього:

– перемикач П1 поставити в положення «Он»;

– тумблер В1 встановити в положення «авт. реж.».

Заміряти по манометру тиск спрацьовування (включення $P_{\text{вкл}}$) і відпустки (виключення $P_{\text{викл}}$) реле. Обчислити зону нечутливості.

3. Змінюючи натяг пружини 8 гвинтом 9 (рис. 5), налаштувати регулятор РД на задані викладачем значення тиску спрацьовування $P_{\text{вкл}}$. Для кожного значення $P_{\text{вкл}}$ визначити тиск виключення $P_{\text{викл}}$ і обчислити зону нечутливості $\Delta P = P_{\text{викл}} - P_{\text{вкл}}$. Результати звести в таблицю 5. В цю ж таблицю записати значення диференціала $\Delta P_{\text{пр}}$, знятого з приладу РД.

Таблиця 5

№ з/п	Величина вимірювання	t , с	$P_{\text{вкл}}$, Па	$P_{\text{викл}}$, Па	ΔP , Па	$\Delta P_{\text{пр}}$

Динамічні характеристики двопозиційного регулювання тиску повітря в ресивері на кожному режимі роботи записати за допомогою самописця.

Примітка: положення гвинта 11 задається викладачем.

4. Обертаючи гвинт 11, налаштувати величину зони нечутливості (диференціала) ΔP на значення, задані викладачем. Для кожного значення зони нечутливості визначити $P_{\text{вкл}}$ і $P_{\text{викл}}$, результати звести в таблицю 1 і зняти динамічні характеристики двопозиційного регулювання тиску повітря в ресивері.

Примітка: положення гвинта 9 задається викладачем.

Загальний вигляд лицьової панелі стенда

Загальний вигляд лицьової панелі стенда показаний на рисунку 18.

Зліва направо розташовані наступні прилади й органи управління:

- манометр М, що вимірює тиск повітря в ресивері;
- перемикач П1 подачі живлення до стенда (трифазний струм напругою 220В);
- реле тиску РД-1-01, призначене для регулювання тиску повітря в ресивері;
- перемикач В1 автоматичного і ручного режимів роботи системи;
- гніздо підключення самописця «самописець».

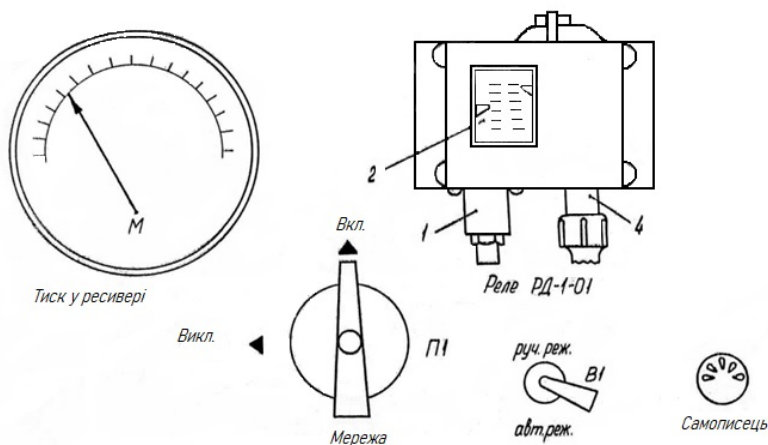


Рисунок 18 – Загальний вигляд лицьової панелі стенда регулювання тиску РД-1-01:
1 – сільфонний чутливий елемент; 2 – шкала настройки;
3 – гвинт настройки; 4 – електрична штепсельна вилка

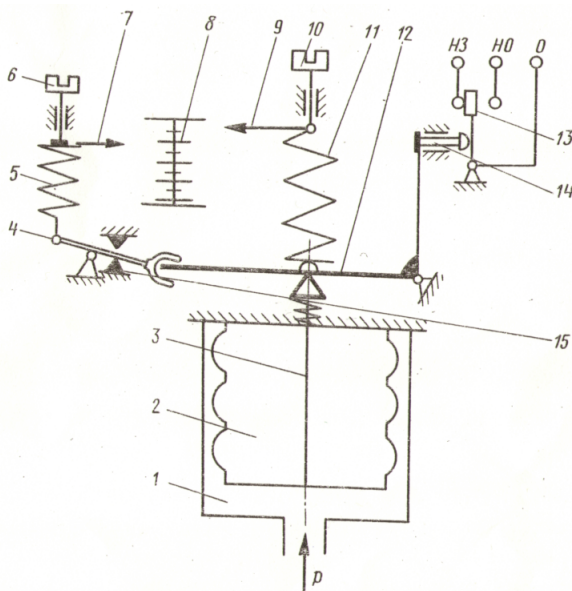


Рисунок 19 – Сигналізатор тиску
з пружинним механізмом зміни диференціала

Робота реле низького тиску РД-1-01

Чутливим елементом реле низького тиску (див. рисунок 18) є сильфон *1*, укладений у коробку *2*. Останній має штуцер, через який у порожнину між коробкою і сильфоном вводиться контрольований тиск. Зміни цього тиску перетворюються в переміщення днища сильфона, до якого прикріплений штовхач *5*. Крім сили, що розвивається сильфоном, на штовхач знизу діє пружина *4*, яка спирається на упор *3*. Зверху на штовхач впливає важіль *6*. Сила, що розвивається сильфоном, залежить від різниці тисків між контрольованим і атмосферним. Останнє діє на внутрішню поверхню сильфона. Працездатність реле забезпечується пружиною *4*, яка при всіх тисках забезпечує опір штовхача *5* і важеля *6*. Опір, що

випробовується штовхачем до початку руху вгору, визначається початковим натягом пружини 8. Цей натяг, що є заданою дією, залежить від положення гвинта задатчика 9. Чим більше початковий натяг, тим вище тиск, при якому почне рух важіль 6.

Після початку руху важеля його лівий кінець входить у зіткнення з верхнім виступом вилки важеля 7, тому далі до сил, що діють на важіль 6, додається сила розтягування пружини 10. Ця пружина визначає величину зони повернення реле (диференціал реле). Початковий натяг пружини 10 залежить від положення гвинта 11 настройки диференціала.

Рух важеля 6 передається на його вертикальне плече 20, яке при підвищенні тиску рухається вправо. Місце закріплення верхнього кінця пружини 21 (точка *a*) описує дугу навколо центру *C* і переміщається вправо. До тих пір, поки вісь пружини 21 знаходиться лівіше повідця 22, сила натягу пружини створює момент, що відхиляє важіль з рухомою частиною контакту 17 вправо. Як тільки вісь пружини виявиться паралельною повідця 22, момент зникне, а потім при виході пружини правіше повідця з'явиться момент, який повертає контактний важіль вліво. Система втрачає стійкість, у результаті чого контактний важіль різко перекидається вліво і контакт 16–17 замикається, а контакт 17–18 розмикається.

При зменшенні тиску механізм пересуває контактний важіль у *протилежному напрямку і при деякому значенні тиску розмикається контакт 16–17 і замикається контакт 17–18*.

Для настройки тиску прямого спрацьовування є шкала 14 з покажчиком 15, пов'язаним з задатчиком, «Шкала 13» з покажчиком 12 показує шкалу диференціалу.

Таким чином, на розмикання контактів впливає тільки пружина 8, а на замикання – пружина 8 і 10. Зі зменшенням натягу пружини 8 обертанням гвинта 9 знижується тиск вклю-

чення $P_{\text{вкл}}$, але настільки ж і знижується тиск виключення $P_{\text{викл}}$, тобто величина диференціала ΔP не змінюється.

Зміна диференціала здійснюється натягом пружини 10 гвинтом диференціала 11 за рахунок тиску вимикання. При цьому включення не змінюється.

Зовнішній ланцюг управління приєднується до вивідних затискачів 23.

3. Зміст звіту

1. Порівняти значення зони нечутливості ΔP , отриманих за манометром, з $\Delta P_{\text{пр}}$, знятих безпосередньо по приладу РД (за таблицею 1).

2. На отримані експериментальним шляхом динамічні характеристики двопозиційного регулювання тиску повітря в ресивері нанести осі координат з розміченими значеннями тиску повітря і часу.

3. Визначити основні показники якості, зазначені в змісті даної роботи.

4. У звіті привести отриманий перехідний процес.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Белов, И. Г.** Автоматизация процессов в судовой энергетике [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. Г. Белов, В. И. Седых, В. Н. Слесаренко ; под ред. В. Н. Слесаренко. – М., 2000. – 395 с.
2. **Толщин, В. И.** Автоматизация судовых энергетических установок [Текст] : учебник / В. И. Толщин, В. А. Сизых. – 2-е изд. – М. : РКонсульт, 03, 2003. – 304 с.
3. **Архангельский, В. С.** Автоматика и аппаратура контроля судовых энергетических установок [Текст] : учеб. пособие / В. С. Архангельский. – Л. : Судостроение, 1984. – 368 с.
4. **Бугрим, Л. И.** Автоматизация судовых энергетических установок [Текст] : методические указания к лабораторным работам / Л. И. Бугрим, Ю. П. Кондратенко, Л. А. Чичкань. – Николаев : УГМТУ, 1995. – 35 с.

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1. Вивчення лабораторного стенда	3
Лабораторна робота № 2. Експериментальна побудова статичних характеристик елементів системи	10
Лабораторна робота № 3. Побудова та експериментальна перевірка статичних характеристик замкненої системи	15
Лабораторна робота № 4. Експериментальне визначення характеристик об'єкта регулювання, вибір закону регулювання та розрахунок параметрів регулятора	22
Лабораторна робота № 5. Експериментальне визначення динамічних характеристик системи двопозиційного регулювання тиску	35
Список рекомендованої літератури	42

Навчальне видання

БУГРІМ Леонід Іванович
БІЛЮК Іван Сергійович
ФОМЕНКО Андрій Миколайович
ШАРЕЙКО Дмитро Юрійович
ГАВРИЛОВ Сергій Олексійович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з курсу
«Автоматизація суднових енергетичних установок»

У двох частинах

Частина 1

Комп'ютерне складання та верстання *В. В. Москаленко*
Комп'ютерна правка *М. О. Паненко*
Коректор *О. Є. Вакула*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 2,6. Тираж 100 прим. Вид. № 32. Зам. № 2704-31.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025

E-mail : publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.