

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП -43.00.00.000 ПЗ

група АКП -23-1К

Олександр Жураківський

2025 рік

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інформаційних технологій
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Жураківський Олександр Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.518.52:22.24.054.33

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення адаптивної системи керування відцентровим насосом

(назва роботи)

марки 1Д1250-63

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Нормоконтроль

к.т.н. О. В. Кучмистенко
(науковий ступінь, підпис) (дата) (ініціали та прізвище)
вчене звання)

Рецензент

к.т.н., доцент
(науковий ступінь, підпис) (дата) (ініціали та прізвище)
вчене звання)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-23-1К О. В. Жураківський
(шифр групи) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Науковий керівник

к.т.н., доцент Г. Г. Зварич
(науковий ступінь, підпис) (дата) (ініціали та прізвище)
вчене звання)

Допущено до захисту Завідуючий кафедри

к.т.н., доцент А. І. Лагойда
(науковий ступінь, підпис) (дата) (ініціали та прізвище)
вчене звання)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКТ

А.І. Лагойда.

« » 20 року

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Жураківському Олександрю Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Розроблення адаптивної системи керування відцентровим насосом марки 1Д1250-63.**

керівник роботи **Зварич Галина Григорівна, асистент**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» травня 2025 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: матеріали переддипломої практики, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Вибір об'єкта керування та його дослідження.

2. Використання математичних моделей для ідентифікації і автоматизації налаштування системи на заданий динамічний режим. 3. Розробка адаптивної системи керування роботою насосного агрегату марки 1Д1250-63.

4. Розробка програмного забезпечення. Висновки. Список літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. БР.АКП-38.00.00.001 – Обробка експериментальних даних

2. БР.АКП-38.00.00.002 – Моделювання перехідного процесу у програмі

Matlab. 3. БР.АКП-38.00.00.003 – Показники якості САК.

4. БР.АКП-38.00.00.004 – Схеми системи ідентифікації з моделлю ОК.

5. БР.АКП-38.00.00.005 – Архітектура контролера МІК-51.

6.БР.АКП-38.00.00.006–Модель процесу зміни динамічних характеристик ОК

7.БР.АКП-38.00.00.007– Блок схема алгоритму програми для обчислення зміни витрати насосу при зміні його динамічної характеристики.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання 06.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів бакалаврської роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|--------------------------------|----------|
| 1 | Вибір об'єкта керування та його дослідження | 13.05.2025 | |
| 2 | Використання математичних моделей для ідентифікації і автоматизації налаштування системи на заданий динамічний режим | 23.05.2025 | |
| 3 | Розробка адаптивної системи керування роботою насосного агрегату марки 1Д1250-63 | 28.05.2025 | |
| 4 | Розробка програмного забезпечення | 07.06.2025 | |
| 5 | Оформлення бакалаврської роботи | 12.06.2025 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент _____
(підпис)

О. В. Жураківський _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Г. Г. Зварич _____
(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 65 сторінки, 30 рисунків, 2 таблиця, 8 джерел.

Тема: «Розроблення адаптивної системи керування відцентровим насосом марки 1Д1250-63».

Об'єкт дослідження: відцентровий насос марки 1Д1250-63.

Предмет дослідження: приведені характеристики насоса в робочій точці, а також його статична характеристика Q-H.

Мета роботи полягає в розроблення адаптивної системи керування для відцентрового насоса марки 1Д1250-63 з метою підвищення ефективності його роботи, забезпечення стабільних гідравлічних характеристик у змінних умовах експлуатації, зниження енергоспоживання та покращення надійності функціонування насосної установки.

Було вибрано технічні засоби автоматизації для регулювання роботи відцентрового насоса: багатопараметричний масовий витратомір моделі 3095MV; давач напору ДН-6. Усі регулятори реалізовано програмно на мікропроцесорному контролері МК-51.

Створена адаптивна система керування насосним агрегатом. Знайдена передавальна функція керованого об'єкту та виконавчого механізму. За допомогою програмного пакету Matlab систему було змодельовано, побудовано перехідну характеристику процесу та знайдено оптимальні параметри настройки ПД-регулятора. Система була досліджена на стійкість за критеріями Гурвіца, Михайлова та Найквіста.

Ключові слова: адаптивна система керування, оптимальні параметри, мікропроцесорний контролер, відцентровий насос, перехідні характеристики.

ANNOTATION

Bachelor's thesis contains: 65 pages, 30 figures, 2 tables, 8 sources.

Topic: "Development of an adaptive control system for a centrifugal pump of the 1D1250-63 brand".

Object of research: centrifugal pump of the 1D1250-63 brand.

Subject of research: the characteristics of the pump at the operating point are given, as well as its static characteristic Q-H.

The purpose of the work is to develop an adaptive control system for a centrifugal pump of the 1D1250-63 brand in order to increase the efficiency of its operation, ensure stable hydraulic characteristics under variable operating conditions, reduce energy consumption and improve the reliability of the pumping unit.

The following technical means of automation were selected to regulate the operation of the centrifugal pump: multi-parameter mass flowmeter model 3095MV; pressure sensor DN-6. All regulators are implemented in software on a microprocessor controller MIK-51.

An adaptive control system for a pumping unit was created. The transfer function of the controlled object and the actuator was found. Using the Matlab software package, the system was modeled, the transient characteristic of the process was constructed, and the optimal parameters for setting the PID controller were found. The system was tested for stability using the Hurwitz, Mikhailov, and Nyquist criteria.

Keywords: adaptive control system, optimal parameters, microprocessor controller, centrifugal pump, transient characteristics.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ | 6 |
| ВСТУП | 7 |
| | |
| 1 ВИБІР ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ ТА ЙОГО ДОСЛІДЖЕННЯ | 8 |
| 1.1 Характеристика відцентрового насосу марки 1Д1250-63..... | 8 |
| 1.2 Дослідження об’єкта керування..... | 10 |
| 1.3. Висновок до розділу..... | 13 |
| | |
| 2 ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ І АВТОМАТИЗАЦІЇ НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ НА ЗАДАНИЙ ДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ | 14 |
| 2.1 Ідентифікація, функціонали якості й алгоритми пошуку їх оптимальних значень..... | 14 |
| 2.2 Методи ідентифікації об’єктів керування та їх порівняльна оцінка..... | 21 |
| Висновок до розділу..... | 28 |
| | |
| 3 РОЗРОБКА АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ МАРКИ 1Д1250-63 | 29 |
| 3.1 Вибір типу регулятора та побудова графіку перехідного процесу..... | 33 |
| 3.2 Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації | 36 |
| 3.2.1. Загальна характеристика контролера МІК-51..... | 38 |
| 3.3 Дослідження САК на стійкість..... | 44 |
| 3.4 Оцінка якості САК..... | 48 |
| Висновок до розділу..... | 51 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|------|------------------|-------|------|---|--|--|------|------|---------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.00.000 ПЗ | | | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | Розроблення адаптивної системи керування відцентровим насосом марки 1Д1250-63 | | | Літ. | Арк. | Акрушів |
| Розроб. | | Жураківський О.В | | | | | | | | |
| Перевір. | | Зварич Г.Г.. | | | | | | | | |
| Реценз. | | | | | | | | | | |
| Н. Контр. | | Кучмистенко О.В. | | | | | | | | |
| Затверд. | | Лагойда А. І. | | | ІФНТУНГ, АКП-23-1К | | | | | |

| | |
|--|--------|
| 4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ | 52 |
| 4.1 Розробка програмного забезпечення верхнього рівня..... | 52 |
| 4.2. Розробка програмного забезпечення нижнього рівня..... | 57 |
| 4.2.1. Характеристика програмного забезпечення..... | 57 |
| 4.2.2.Запис і читання програми з контролеру..... | 60 |
| Висновок до розділу..... | 62 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 63 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 64 |
| БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА | 65 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВСТУП

Адаптивна система керування (АСК) - це технічна (біологічна, соціальна, інформаційна і тому подібне) система, яка з метою забезпечення заданої якості регулювання автоматично пристосовується до непередбачених змін параметрів об'єкту і зовнішнього середовища. Спочатку такі системи з'явилися для управління літальними апаратами, що здійснюють політ на великих висотах, за межами атмосфери. В даний час адаптивні системи управління застосовуються для управління багатьма технічними об'єктами управління [1÷6].

Під непередбаченими змінами параметрів об'єкту керування розуміються зміни внутрішньої структури і параметрів самого нестационарного технічного об'єкту керування, а під зовнішніми умовами - зміна умов і параметрів навколишнього середовища (температура і вологість повітря, величина напруги електричної живлячої мережі і тому подібне).

Головною відмінністю адаптивних систем керування від систем з фіксованими параметрами полягає в тому, що вони здатні в тому або іншому ступені аналізувати інформацію про зміни в зовнішньому середовищі і власних діях і на основі цього аналізу цілеспрямовано змінювати свої параметри, структуру або алгоритм керування. Головна відмінність адаптивних систем керування від систем керування, що працюють по відхиленню полягає в тому, що при зміні параметрів об'єкту керування у системах по відхиленню необхідно знов розраховувати налаштування регулятора, а в адаптивних системах налаштування регулятора обчислюються один раз для заданої зміни параметрів об'єкту керування.

Побудова систем автоматичного керування об'єктів з параметрами, що змінюються, є однією з найважливіших проблем в теорії автоматичного керування. Вирішення цієї проблеми пов'язане з розробкою адаптивних систем.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 7 |

1 ВИБІР ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ ТА ЙОГО ДОСІДЖЕННЯ

1.1 Характеристика відцентрового насосу марки 1Д1250-63

Робота відцентрового насосу ґрунтується на взаємодії лопаток робочого колеса, що обертається, і перекачувальної рідини. Обертаючись, робоче колесо узагальнює круговий рух рідини, що знаходиться між лопатками. Унаслідок виникаючої відцентрової сили рідина від центру колеса переміщається до зовнішнього виходу, а простір, що звільнився, знов заповнюється рідиною, що поступає зі всмоктуючої труби під дією створюваного розрідження. Вийшовши з робочого колеса першої секції, рідина поступає в канали направляючого апарату і потім в друге робоче колесо з тиском, створеним в першій секції, звідки - в третє робоче колесо із збільшеним тиском, створеним в другій секції.

Насос відповідно до призначення характеризується двома параметрами: витратою і напором.

Витрата. Витрата насосу являє собою кількість рідини, що подається за одиницю часу. Залежно від характеру установки кількість рідини, що подається, вимірюється об'ємом або вагою [2÷8]:

Розмірності: для об'ємної витрати

Q - $\frac{\text{одиниця об'єму}}{\text{одиниця часу}}$, тобто м³/год, м³/с, л/хв і т.д.;

для масової витрати G - $\frac{\text{одиниця маси}}{\text{одиниця часу}}$ або т/год, кг/с і т.д. Очевидно, що масова

витрата G пов'язана з об'ємною Q співвідношенням

$$G = \gamma Q, \quad (1.1)$$

де γ — питома вага рідини.

Напір насосу. Напором насосу H називається приріст механічної енергії, що отримується кожним кілограмом рідини, що проходить через насос, тобто різниця питомих енергій рідини при виході з насоса і при вході в нього.

Позначивши питому енергію потоку при виході з насосу

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$E_{\text{вих}} = \frac{P_{\text{вих}}}{\gamma} + z_{\text{вих}} + \frac{v_{\text{вих}}^2}{2g}, \quad (1.2)$$

і питому енергію при вході в насос

$$E_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вх}}}{\gamma} + z_{\text{вх}} + \frac{v_{\text{вх}}^2}{2g}, \quad (1.3)$$

де $p_{\text{вих}}$; $z_{\text{вих}}$; $v_{\text{вих}}$ — тиск, відмітка і швидкість потоку при виході з насосу;

$p_{\text{вх}}$; $z_{\text{вх}}$; $v_{\text{вх}}$ — тиск, відмітка і швидкість потоку при вході в насос;

γ — питома вага;

g — прискорення сили тяжіння,

маємо

$$H = E_{\text{вих}} - E_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вих}} - P_{\text{вх}}}{\gamma} + (z_{\text{вих}} - z_{\text{вх}}) + \frac{v_{\text{вих}}^2 - v_{\text{вх}}^2}{2g}, \quad (1.4)$$

Таким чином, енергетична величина напору, віднесена до одиниці маси, має лінійну розмірність $\text{кГ} \cdot \text{м} / \text{кГ} = \text{м}$.

Під час роботи насоса, унаслідок тиску води на нерівні за площею бічні поверхні робочих коліс, виникає осьове зусилля, яке прагне змістити ротор насоса у бік всмоктування. Для урівноваження осьового зусилля в насосі передбачений розвантажувальний пристрій, що складається з диска розвантаження, кільця і втулки розвантаження і дистанційної втулки.

Рідина з останнього ступеня проходить через кільцевий зазор між втулкою розвантаження і дистанційною втулкою і тисне на диск розгрузки із зусиллям, рівним сумі зусиль, що діють на робочі колеса, але направленим у бік нагнітання. Ротор насоса виявляється урівноваженим, рівність зусиль встановлюється автоматично. Рідина, що виходить з розвантажувальної камери, охолоджує сальник з боку нагнітання.

Ротор насоса приводиться в обертання електродвигуном, приєднаним до насоса через пружну втулково-пальцеву муфту, що складається з двох напівмуфт (насосу і електродвигуна) і пальців з гумовими втулками.

На сьогоднішній день відцентрові насоси умовно діляться на наступні групи: консольні для води, моноблочні з патрубком «в лінію», горизонтальні

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

«двостороннього входу», горизонтальні багатоступінчаті, свердловинні для води, вертикальні типу В, хімічні, спеціальні, конденсатні, нафтові, морські (суднові і загальнопромислові), піскові, ґрунтові і шламкові, масові, фекальні, насоси для зважених речовин (в т.ч. дренажні), вихрові, живильні, бензинові, осьові, діагональні і оседіагональні, харчові (відцентрові), вертикальні багатоступінчаті,маслонасоси(відцентрові).

Динамічний насос, це насос, в якому рідке середовище переміщається під силовою дією на неї робочого органу (колеса) в камері, що постійно сполучається з входом і виходом насоса. Відцентровий насос, це лопатний динамічний насос, в якому рідке середовище переміщається через робоче колесо від центру до периферії, в осьовому насосі – у напрямі осі колеса. Вихровий насос, це динамічний насос тертя, в якому рідке середовище переміщається по периферії робочого колеса.

У бакалаврській роботі дослідимо роботу відцентрового насосу марки 1Д1250-63, який розміщений на установці каталітичного реформінгу на ВАТ «Нафтохімік Прикарпаття» в м. Надвірна.

1.2 Дослідження об'єкта керування

Щоб визначити, як буде поводити себе система в динаміці нам потрібно знайти аналітичний вигляд закону протікання даного процесу. Для цього знайдемо рівняння кривої $Q-H$ [2,3].

Пошук рівняння кривої (рис.1.1) проведемо в програмі Mathcad за допомогою інтерполяційного многочлена Лагранжа [8].

Знаходження залежності за допомогою інтерполяційного многочлена Лагранжа:
Значення величин для рівняння $H = h(q)$:

$$0\text{-а точка: } q_0 := 0 \quad h_0 := 32$$

$$1\text{-а точка: } q_1 := 200 \quad h_1 := 32.3$$

$$2\text{-а точка: } q_2 := 600 \quad h_2 := 30.5$$

$$3\text{-а точка: } q_3 := 1000 \quad h_3 := 26$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 10 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

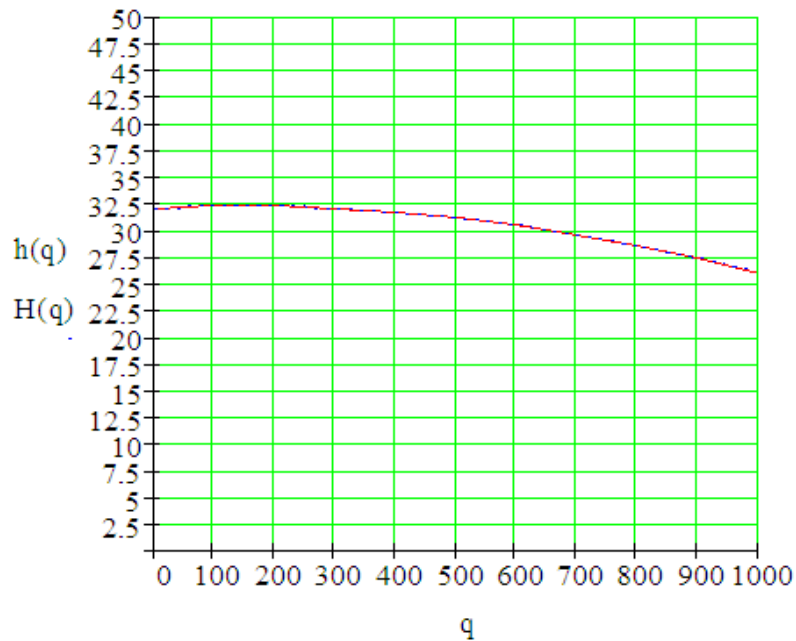


Рисунок 1.1 - Графік залежності H від витрати Q

Похибка апроксимації за допомогою інтерполяційного поліному Лагранжа становить $\delta = 1.366 \cdot 10^{-14} \%$.

Отже, статична характеристика об'єкта керування описується наступною залежністю [3]:

$$H(Q) = -3.33 \cdot 10^{-9} Q^3 + 2.25 \cdot 10^{-6} Q^2 - 3.92 \cdot 10^{-4} Q + 1.46. \quad (1.1)$$

Відцентровий насос разом з його асинхронним двигуном можна вважати інерційною ланкою першого порядку, яка має функцію передачі виду:

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}, \quad (1.2)$$

де k - передавальний коефіцієнт, який визначається в процесі зняття статичних характеристик об'єкта керування;

T - стала часу, яку вибираємо з таблиці, де приведені значення сталих часу асинхронних двохфазних двигунів, $T = 0,6$ с.

Передавальний коефіцієнт k знайдемо як значення похідної в робочій точці ($Q=800$ м³/с, $H=28$ м):

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 11 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$k = \frac{\partial H(Q)}{\partial Q} \Big|_{Q=800}, \quad (1.3)$$

$$k = (-9.99 \cdot 10^{-9} Q^2 + 4.5 \cdot 10^{-6} Q - 7.84 \cdot 10^{-4}) \Big|_{Q=800},$$

$$k = 0.011$$

Отже, функція передачі об'єкта керування матиме такий вигляд:

$$W(p) = \frac{0.011}{0.6p+1}. \quad (1.4)$$

В створеній САК використовується виконавчий механізм, який можна вважати ідеальною інтегруючою ланкою з функцією передачі виду:

$$W_{\text{ВМ}}(p) = \frac{k}{p}, \quad (1.5)$$

де k - коефіцієнт пропорційності, що дорівнює $k = 0.3$.

$$W_{\text{ВМ}}(p) = \frac{0.3}{p}. \quad (1.6)$$

У бакалаврській роботі дослідимо роботу відцентрового насоса марки 1Д1250-63, який розміщений на установці каталітичного реформінгу на ВАТ «Нафтохімік Прикарпаття» в м. Надвірна. У табл.1.1 приведені технічні характеристики насоса:

Таблиця 1.1 – Показники призначення по параметрах в номінальному режимі

| Типорозмір насосу (агрегату) | Витрата, м ³ /год, (м ³ /с) | Напір, м | Максимальна використовувана потужність насосу, кВт | Частота обертання, с ⁻¹ , (об/хв) |
|------------------------------|---|----------|--|--|
| 1Д1250-63 | 800 (0,220) | 28 | 90 | 16,3 (980) |

Даний насос має також статичну характеристику, яка приведена нижче

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 12 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

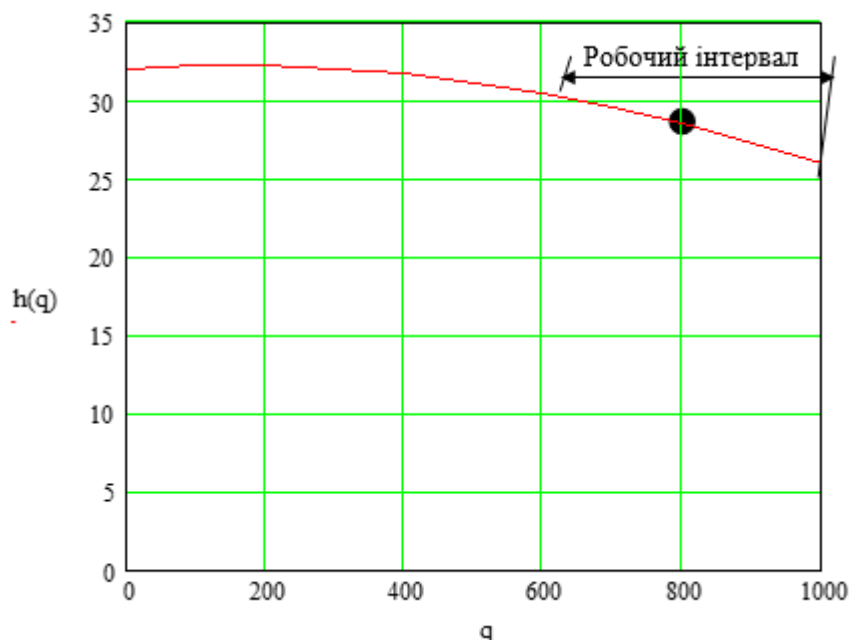


Рисунок 1.2 – Статична характеристика насосу 1Д1250-63

Висновок до розділу

В даному розділі було вибрано об'єкт керування, а саме відцентровий насос марки 1Д1250-63. Також розглянуто основні характеристики відцентрового насосу 1Д1250-63, а саме: приведено таблицю, в якій зібрані характеристики насосу при роботі в оптимальному режимі (витрата, напір, максимальна використовувана потужність, частота обертання), і графічну статичну характеристику насосу (залежність напору H від витрати Q).

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

2 ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ Й АВТОМАТИЗАЦІЇ НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ НА ЗАДАНИЙ ДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ

2.1 Ідентифікація, функціонали якості і алгоритми пошуку їх оптимальних значень

Процеси, що протікають в об'єктах і системах, можуть бути математично описані деяким оператором [6]

$$W_0(a, x, t), \quad (2.1)$$

де $a(a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$ - вектор параметрів оператора;

a_i — i -й параметр;

x — вхідний сигнал;

t — час.

Наприклад, процес y на виході об'єкту (рис. 2.1) може бути описаний диференціальним, інтегральним або різницеvim рівняннями, передавальною, ваговою або перехідною функціями, частотними характеристиками та ін. [6].

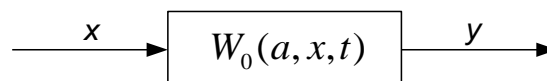


Рисунок 2.1 - Структурна схема об'єкту ідентифікації

У конкретних випадках формальний вигляд оператора W_0 вибирається з відповідної математичної мови з урахуванням адекватності останньої, а також конструктивності і зручності.

Якщо об'єкт лінійний, то оператор W_0 не залежить від вхідного сигналу x і має вигляд $W_0(a, t)$. Якщо структура і параметри об'єкту стаціонарні, то оператор не залежить від часу, тобто $W_0(a, x)$. Якщо об'єкт лінійний і стаціонарний, то оператор W_0 визначається тільки вектором параметрів $a(a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Математична модель (ММ), що описує процеси на виході об'єкта керування при відомих x і t і отримана в результаті розв'язку сформульованої нижче задачі ідентифікації, є оцінкою оператора W_0 , аналогічно a_i — оцінкою i -го параметра об'єкту.

При технічному рішенні задачі ідентифікації необхідно врахувати наявні обмеження, обумовлені умовами роботи об'єкта керування, загальною метою ідентифікації і якістю розв'язку задачі. Так, наприклад, якщо відомо, що на об'єкт поступають дії $x(t)$, що належать деякій множині дій, то модель $\hat{W}_0(\hat{a}, x, t)$ повинна з необхідною точністю описувати процеси на виході об'єкту, коли на його вхід поступають дії, які належать множині Ω_x . Якщо об'єкт ідентифікують з метою побудови системи оптимального керування, то важливо отримувати більш точніші оцінки тих параметрів, від яких найістотніше залежить величина міри оптимальності керування, і, очевидно, немає необхідності в точному визначенні оцінки тих параметрів, від яких міра оптимальності керування слабо або зовсім не залежить. Таким чином, ідентифікація в завданнях вимірювання і оптимального керування трохи відрізняється.

Точні математичні моделі об'єкта керування зазвичай достатньо складні. На практиці немає необхідності у визначенні точних моделей. Тому зазвичай оцінку \hat{W}_0 шукають у певному класі операторів.

Найбільш інформативним сигналом для визначення загальних властивостей об'єктів є сигнал типу «білий шум», оскільки містить всю гамму частотного спектру, тобто клас сигналів «білий шум» є найбільш загальним класом вхідних сигналів при ідентифікації. Проте, з практичної точки зору, вхідний сигнал, на основі якого проводиться ідентифікація, повинен бути не менш інформативним, ніж сигнали, що належать множині Ω_x можливих вхідних сигналів об'єкта керування.

Таким чином, завдання ідентифікації полягає в наступному.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Є деякий об'єкт, що описується оператором $W_0(a, x, t)$ і що належить деякому класу операторів Ω_{W_0} . На його вхід поступають сигнали x , що належали деякій множині сигналів Ω_x . Необхідно вибрати деякий оператор $\hat{W}_0(\hat{a}, x, t)$ з множини операторів $\Omega_{\hat{W}_0}$, який для того ж класу вхідних сигналів Ω_x буде досить близьким до оператора $W_0(a, x, t)$, тобто описуватиме процеси на виході об'єкту з необхідною точністю.

Клас операторів \hat{W}_0 зазвичай задається і, як правило, є вужчим, ніж Ω_{W_0} . Для дослідження, наприклад, деяких властивостей нелінійних систем іноді застосовують лінійні моделі або при дослідженні складних систем високого порядку застосовують моделі нижчого порядку.

Таким чином задача ідентифікації об'єктів керування є не що інше, як задача апроксимації невідомого оператора $W_0 \in \Omega_{W_0}$ оператором \hat{W}_0 , вибраним зазвичай з відомого класу операторів $\Omega_{\hat{W}_0}$, для певного класу вхідних дій $x \in \Omega_x$. Міра близькості операторів W_0 і \hat{W}_0 конструюється з урахуванням вимог до оцінки \hat{W}_0 . Оператор $\hat{W}_0(\hat{a}, x, t)$ є розв'язком задачі ідентифікації.

На практиці переважно використовують такі функціонали I , які дозволяють відносно просто отримати оцінки, що цікавлять (наприклад, функціонал I у вигляді середнього квадрату відхилення).

Якщо функціонал якості I є детермінованим виразом, то оцінки \hat{a}_i , знайдені на його основі, задовольняють вищезгадані вимоги. Якщо як функціонал вибрати інший функціонал I' , пов'язаний з I перетворенням [6]

$$I' = LI, \quad (2.2)$$

де L — деякий оператор, що допускає зворотне перетворення,

$$I = L^{-1}I', \quad (2.3)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 16 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

то ясно, що і на основі I' можна знайти \hat{W}_0 , яке задовольняє згадані вимоги. Взагалі існує цілий клас функціоналів якості, на основі яких можна отримати ідентичні оцінки оператора W_0 .

За наявності перешкод у функціоналі якості I необхідно передбачити відповідні операції, що зменшують випадковий характер самого функціоналу, тобто що перетворюють його на інваріантний по відношенню до перешкод. Зазвичай як такі операції застосовують усереднювання за часом або по ансамблю. У разі лінійних об'єктів можна намітити один шлях формування інваріантних по відношенню до перешкод функціоналів якості. Функціонал I може бути сформований, наприклад, наступним чином:

$$I = Ef[\hat{W}_0, x, n], \quad (2.4)$$

де E — оператор усереднювання;

f — деяка опукла функція.

З урахуванням лінійності оператора E вираз (2.4) запишемо таким чином:

$$I = Ef_1[\hat{W}_0, x] + Ef_2[\hat{W}_0, x, n] + Ef_3[\hat{W}_0, n]. \quad (2.5)$$

Оператор усереднювання E знімає невизначеність, що вноситься функціями f_2 і f_3 , у функціоналі I . У деяких випадках (наприклад, в завданнях ідентифікації лінійних об'єктів при некорельованих x і n) вдається вибрати таку функцію I , що другий і третій члени у виразі (2.5) стають рівними нулю.

Різним функціям f у функціоналі I відповідає різне співвідношення між корисним сигналом (перший член виразу (2.5)) і перешкодою (решта членів виразу (2.20)). Тому вибір I необхідно проводити так, щоб відношення сигнал/перешкода у функціоналі I було задовільним. Від виду функціоналу при замкнених алгоритмах ідентифікації (при компенсаційних методах ідентифікації) також залежить збіжність і якість процесу ідентифікації.

Функціонал вигляду (2.2) містить ідею дослідження характеристик перешкоди в процесі ідентифікації.

Широко застосовують системи ідентифікації з моделлю об'єкта керування (рис.2.2) [3÷5].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 17 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

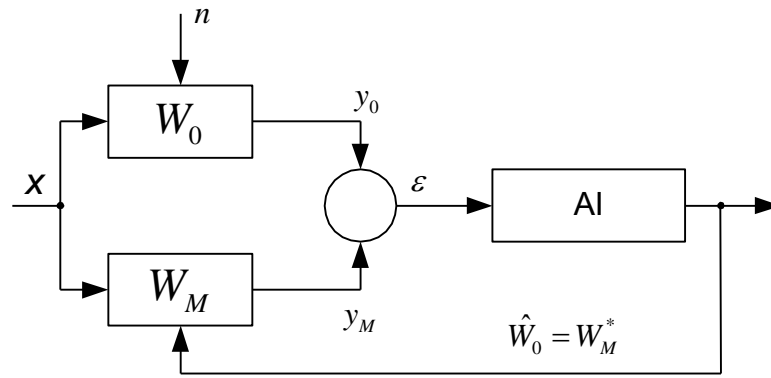


Рисунок 2.2 - Загальна схема системи ідентифікації з моделлю об'єкта керування: W_M - оператор моделі; AI – алгоритм ідентифікації

Деяке значення W_M^* оператора моделі W_M приймають згідно критерію оптимальності в якості оцінки оператора об'єкту W_0 , тобто $W_M^* = \hat{W}_0$.

За відсутності перешкод функціонал якості ідентифікації може бути сформульований на основі різниці ε вихідних сигналів об'єкту y_0 і моделі y_M . За наявності перешкод про збіг операторів моделі і об'єкту можна судити по різниці частини сигналу об'єкту, яка залежить від корисного вхідного сигналу, і сигналу моделі. Звідси витікає завдання знищення перешкоди в результаті ідентифікації.

У разі стаціонарних лінійних об'єктів і стаціонарних некорельованих x і n для формування інваріантних функціоналів якості можуть бути застосовані ідеї багатоконтурних інваріантних систем. Зокрема, функціонал I може бути утворений у вигляді двох диференціальних операторів по схемі рис. 3.3:

$$I = \beta_1 E f_1 W_1 \varepsilon - \beta_2 E f_2 W_2 \varepsilon, \quad (2.6)$$

де W_1, W_2 — деякі оператори;

f_1 і f_2 — деякі опуклі перетворення;

β_1 і β_2 — коефіцієнти.

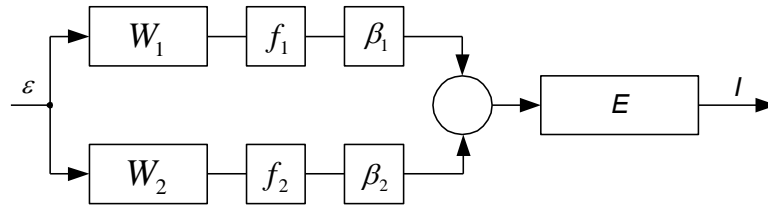


Рисунок 2.3 - Диференціальна схема формування функціоналу якості

Підставляючи $\varepsilon = y_0 - y_M = (y_{0x} + y_{0n}) - y_M$, отримуємо

$$I = \beta_1 E f_1 W_1 (y_{0x} - y_M) - \beta_2 E f_2 W_2 (y_{0x} - y_M) + \beta_1 E f_1 W_1 y_{0n} - \beta_2 E f_2 W_2 y_{0n}. \quad (2.7)$$

Враховуючи, що $y_{0x} = W_0 x$, $y_{0n} = W_0^n n$, $y_M = W_M x$, де W_0^n — оператор об'єкту, що перетворює перешкоду n , із співвідношення (3.6) отримуємо:

$$I = \beta_1 E f_1 W_1 \Delta W x - \beta_2 E f_2 W_2 \Delta W x + \beta_1 E f_1 W_1 W_0^n n - \beta_2 E f_2 W_2 W_0^n n; \quad (2.8)$$

$$\Delta W = W_0 - W_M.$$

Вибираючи у виразі (3.7) коефіцієнти β_1 і β_2 , що задовольняють наступну умову:

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{E f_2 W_2 W_0^n n}{E f_1 W_1 W_0^n n}, \quad (2.9)$$

отримуємо функціонал якості, який не залежить від перешкоди n :

$$I = \beta_1 E f_1 W_1 (W_0 - W_M) x - \beta_2 E f_2 W_2 (W_0 - W_M) x. \quad (2.10)$$

Таким чином, на виході схеми, зображеної на рис. 2.3, отримуємо інформацію, залежну тільки від корисного сигналу x і від розузгодження операторів об'єкту і моделі.

На практиці часто приймають $f_1 = f_2 = f$ (зазвичай квадратори). Тоді отримуємо [4]:

$$I = \beta_1 E f W_1 (W_0 - W_M) x - \beta_2 E f W_2 (W_0 - W_M) x. \quad (2.11)$$

Для інформативності функціонала I оператори W_1 і W_2 повинні задовольняти деяким вимогам.

З виразу (2.11) видно, що якщо $W_1 = W_2 = 0$, то при будь-яких значеннях β_1 і β_2 функціонал I не залежить від перешкоди. Проте у такому разі $I \equiv 0$ і є неінформативним.

Нехай $W_1 = W_2$ (у припущенні, що $f_1 = f_2 = f$). Тоді на основі виразу (2.12) отримуємо $\beta_1 = \beta_2 = \beta$. Але при цьому, як видно із співвідношення (2.12), знову $I \equiv 0$.

Нехай $W_1 = bW_2$; $b = const$. Тоді з виразу (2.12) $\beta_1 = b\beta_2$ і при цьому також $I \equiv 0$.

Нехай в областях існування x і n (наприклад, в частотних спектрах x і n) $EfW_1x = EfW_2x$. Неважко відзначити, що і в цьому випадку $I \equiv 0$.

Таким чином, область неінформативних операторів складається з W_1 і W_2 , для яких справедливі наступні співвідношення:

$$\begin{aligned} W_1 &= W_2; \\ W_1 &= bW_2; \quad b = const. \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$EfW_1x = EfW_2x, \quad b = const \text{ по відношенню до } n \text{ і } x.$$

При виборі W_1 і W_2 з областей, близьких до (2.12), отримуємо погані по чутливості функціонали якості.

З точки зору максимальної чутливості функціоналу I , як видно, наприклад, з виразу (2.11) бажано, щоб $EfW_2(W_0 - W_M)x = 0$ (або $EfW_1(W_0 - W_M)x = 0$), тобто щоб W_2 представляв деякий фільтр-пробку для корисних вихідних сигналів y_{0x} і y_{0M} .

По фізичній природі оператори W_1 і W_2 можуть бути різні: нелінійні ланки, модулятори та ін.

Застосування функціоналів I з використанням диференціальних операторів дозволяє виключити з результату ідентифікації навіть ту частину спектру перешкоди, яка співпадає із спектром корисного сигналу. Для нестационарних перешкод необхідна адаптація якого-небудь з коефіцієнтів β_1 або β_2 з метою забезпечення умови (2.11). Для досягнення такої мети можна застосувати алгоритм, побудований також на ідеї диференціальних операторів. При цьому

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

диференціальна схема повинна подавати корисний сигнал і дати інформацію про характеристики перешкоди, на основі якої можна буде перебудувати β_1 і β_2 .

У багатьох випадках для отримання інваріантних по відношенню до перешкод функціоналів якості можна застосовувати алгоритми, засновані на кореляційних методах. Особливо ефективно це у випадку некорельованих корисного сигналу і перешкоди.

Функціонали якості повинні бути адекватними для вирішення завдання ідентифікації. Істотним моментом є організація руху в системі ідентифікації до оптимального (екстремального) значення функціоналу якості. У разі унімодальних функціоналів якості пошук їх екстремальних значень може бути здійснений методами градієнта, найшвидшого спуску, Гауса-Зейделя, стохастичної апроксимації і випадковим пошуком. Технічна реалізація вказаних алгоритмів приводить до різних систем ідентифікації.

2.2 Методи ідентифікації об'єктів керування та їх порівняльна оцінка

Методи ідентифікації класифікують за різними принципами. Найбільш важливими є такі, згідно яких методи ідентифікації поділяються на наступні чотири групи: аналітичні і компенсаційні; статистичні і нестатистичні (детерміновані); градієнтні і неградієнтні; пошукові і безпошукові.

Аналітичні методи мають відносно велику швидкодію в припущенні, що для аналізу відповідних характеристик і розв'язку необхідних рівнянь зв'язку або систем рівнянь застосовують обчислювальні машини. При аналітичному методі немає необхідності в спостереженні або вимірюванні функціонале якості. Таким чином, аналітичні методи є розімкненими.

Недоліком аналітичних методів є те, що вони зазвичай вимагають математичного опису вхідних і вихідних сигналів або їх статистичних характеристик. Неточність ідентифікації при цьому підході безпосередньо пов'язана з похибкою обчислень, неточністю математичного опису сигналів, обумовленою неврахуванням нестационарності і наявністю перешкод.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 21 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

При компенсаційних методах застосовують моделі об'єкту, сполучені з ним певним чином. Структура моделі вибирається евристично на основі деяких даних про об'єкт і вимог до точності і складності його опису. Структура послідовної моделі вибирається зворотньою до структури гіпотетичної моделі об'єкту, а структура паралельної моделі ідентична структурі гіпотетичної моделі об'єкту. Значення параметрів моделі, при яких міра якості I має оптимальне значення, приймають як оцінки параметрів об'єкту. Можлива система з послідовно-паралельною моделлю.

Статистичні методи ідентифікації ґрунтуються на використанні статистичних характеристик (функцій розподілу, кореляційних функцій, спектральної густини, моментів та ін.) сигналів, які використовують для ідентифікації. При цьому міра якості I формується у вигляді деякого середнього ризику. Статистичний підхід необхідний за наявності випадкових перешкод, оскільки він дозволяє зменшити невизначеність результату ідентифікації.

Нестатистичні (детерміновані) методи засновані на ідентифікації детермінованих функціональних залежностей, що пов'язують параметри вихідного сигналу з параметрами об'єкту і вхідного сигналу. Ці методи застосовуються за відсутності перешкод. Основний їх недолік — слабка перешкодостійкість.

Градiєнтні методи ідентифікації містять градiєнтні алгоритми оптимізації міри якості I . Рух до оптимального значення I проводиться по градiєнту у бік його оптимального значення з швидкістю, пропорційною градiєнту I . Чисто градiєнтний метод застосовується, коли міра якості строго унімодальна.

При неградiєнтних методах здійснюють рух до оптимального значення функціоналу якості I неградiєнтним способом і немає необхідності в безперервному визначенні компонент градiєнту I . Визначають тільки напрям зменшення функціоналу якості, уздовж якого відбувається рух, а також крок руху, що забезпечує певні якості процесу ідентифікації (наприклад, його збіжність).

Швидкодія неградiєнтних методів, як правило, нижча за швидкодiю градiєнтних, а їх похибка обумовлена кінцівкою кроків руху до оптимального значення I , що зазвичай приводить або до коливального циклу

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 22 |

навколо оптимальної точки, або до зсуву оцінок. При пошукових методах ідентифікації для організації руху до оптимального стану застосовують спеціальні пробні параметричні коливання, з чим пов'язаний їх основний недолік. Швидкодія пошукових систем невелика. Для таких систем характерний коливальний режим навколо оптимальної точки. Завадостійкість їх низька, оскільки міра якості I змінюється не тільки під впливом пробних сигналів, але також залежить і від перешкод.

Метод допоміжного оператора. Це безпошуковий градієнтний компенсаційний метод ідентифікації невідомих параметрів, де використана самоналагоджувальна модель з настройкою параметрів по градієнту функціоналу розузгодження виходів об'єкту і моделі при загальному вхідному сигналі і спеціальні (допоміжні) оператори для отримання часткових похідних по параметрах, що настраюються, від сигналу розузгодження виходів об'єкту моделі.

Метод допоміжного оператора використовується як в системах ідентифікації, так і в системах з еталонною моделлю. Відповідно до компенсаційного принципу мінімізується деякий функціонал I помилки ε за допомогою градієнтної настройки варійованих параметрів $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$. Компоненти градієнта функціоналу $I(\varepsilon)$ визначають за звичайним правилом диференціювання складної функції $I(\varepsilon)$ по аргументу α_i ($i=1,2,\dots,n$):

$$\frac{\partial I}{\partial \alpha_i} = \frac{\partial I(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha_i}. \quad (2.13)$$

Так, при $I(\varepsilon)$, рівному середньому квадрату $\overline{\varepsilon^2}$ похибки ε , i -ту компоненту знаходимо так

$$I = \overline{\varepsilon^2}; \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial I}{\partial \alpha_i} = 2\varepsilon \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha_i}, \quad (2.15)$$

де межею символічно позначаємо операцію усереднювання за часом.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 23 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Градiєнтний алгоритм настройки параметрів α_i з умови досягнення мінімуму функціоналу $I(\varepsilon)$ запишемо в наступному вигляді:

$$p\alpha = -\lambda \cdot \text{grad } I(\varepsilon); p = \frac{d}{dt}, \quad (2.16)$$

де $\lambda = \text{diag} \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ — вектор коефіцієнту підсилення в контурі самоналаштування (КСН):

$$\text{grad } I(\varepsilon) = \nabla I(\varepsilon) = \begin{pmatrix} \frac{\partial I}{\partial \alpha_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial I}{\partial \alpha_n} \end{pmatrix} \text{ — вектор-стовбець часткових похідних } I \text{ по } \alpha_i;$$

$\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$ - вектор параметрів.

Скалярний запис алгоритму (2.16) для функціоналу має наступний вигляд:

$$p\alpha = -\lambda_i \varepsilon \frac{\overline{\partial \varepsilon}}{\partial \alpha_i}. \quad (2.17)$$

Поняття допоміжного оператора витікає з наступних міркувань.

В залежності від того, що являє собою похибка ε (різниця виходів об'єкту і паралельної, послідовної або послідовно-паралельної моделі, або самоналагоджувальної системи і еталонної моделі), вирази для допоміжних операторів будуть різними.

Для системи ідентифікації з паралельною моделлю отримуємо

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha_i} = \frac{\partial}{\partial \alpha_i} (y_0 - y_M) = -\frac{\partial y_M}{\partial \alpha_i} = -\frac{\partial W_M(p, \alpha)x}{\partial \alpha_i} = W_{Bi}(p, \alpha)x = u_{Bi}, \quad (2.18)$$

де $W_{Bi} = -\frac{\partial W_M(p, \alpha)}{\partial \alpha_i}$ - допоміжний оператор (ДО). Як видно з виразу (2.18), з

загальному випадку допоміжний оператор $W_{Bi}(p, \alpha)$ залежить від вектора параметрів α , які настроюються, що дещо ускладнює технічну реалізацію КСН.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 24 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Ще складнішою виходить технічна реалізація КСН при використанні складних критеріїв вигляду

$$I(\varepsilon) = \sum_{j=0}^l q_j (\varepsilon^{(j)})^2, \quad (2.19)$$

де q_j — вагові коефіцієнти.

Для цих критеріїв отримуємо наступний вираз компоненту градієнту

$$\frac{\partial I}{\partial \alpha_i} = 2 \sum_{j=0}^l q_j (\varepsilon^{(j)}) \frac{\partial \varepsilon^{(j)}}{\partial \alpha_i} \quad (i = 1, \dots, n), \quad (2.20)$$

де замість одного ДО, рівного $\frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha_i}$, слід визначити l операторів:

$$\frac{\partial \varepsilon^{(j)}}{\partial \alpha_i} = \frac{d^j}{dt^j} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha_i} = \frac{d^j}{dt^j} W_{Bi} x.$$

Надто складним буде КСН і при критерії виду

$$I(\varepsilon) = \left(\sum_{j=0}^l q_j \varepsilon^{(j)} \right)^2, \quad (2.21)$$

для якого компоненту $\frac{\partial I(\varepsilon)}{\partial \alpha_i}$ визначаємо по наступному виразу:

$$\frac{\partial I(\varepsilon)}{\partial \alpha_i} = 2 \left(\sum_{j=0}^l q_j \varepsilon^{(j)} \right) \frac{\partial}{\partial \alpha_i} \sum_{j=0}^l q_j \varepsilon^{(j)} = 2 \left(\sum_{j=0}^l q_j \varepsilon^{(j)} \right) \sum_{j=0}^l q_j \frac{d_j}{dt_j} W_{Bi}(p, \alpha) x, \quad (2.22)$$

де $p = \frac{d}{dt}$.

Перевагою методу ДО є можливість безпоціркової настройки варійованих параметрів α_i . В умовах стаціонарності параметрів об'єкту на інтервалі часу ідентифікації і унімодальності функціоналу $I(\varepsilon)$ точне визначення компоненту $\frac{\partial I}{\partial \alpha_i}$ градієнту гарантує асимптотичну стійкість процесу настройки. В деяких випадках при обмеженому класі Ω_x вхідних дій $x(t)$ умова асимптотичної стійкості забезпечується при неточно реалізованих ДО.

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|-----------------------|------|
| | | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | | 25 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

Метод істотного допоміжного оператора. З подальшим спрощенням структури допоміжних операторів з'явилася пропозиція використовувати тільки істотні (відмінні) частини допоміжних операторів — метод істотного допоміжного оператора (ІДО).

Запишемо алгоритм (2.17) з урахуванням виразу (2.18) для допоміжного оператора в наступному вигляді:

$$p\alpha_i = -\lambda_i \overline{\varepsilon W_{Bi}(p, \alpha)} x = -\lambda_i \overline{\varepsilon u_{Bi}}. \quad (2.22)$$

Проаналізувавши структуру ДО, покажемо, що ДО складаються з деякої загальної для всіх параметрів α_i ($i=1, \dots, n$) $W_{B.O.}(p, \alpha)$ частини та істотних частин $W_{B.Ci}(p, \alpha)$:

$$W_{Bi}(p, \alpha) = W_{B.O.}(p, \alpha) W_{B.Ci}(p, \alpha). \quad (2.23)$$

Виключаючи у виразі (2.22) загальні частини $W_{B.O.}(p, \alpha)$ і залишаючи тільки істотні, підставляємо їх в алгоритм (20). Тоді отримуємо

$$p\alpha_i = -\lambda_i \overline{\varepsilon W_{B.Ci}(p, \alpha)} x = -\lambda_i \overline{\varepsilon u_{B.Ci}} \quad (2.24)$$

Необхідні умови стійкості алгоритму (2.22) за умови стійкості алгоритму будуть виконані, якщо

$$\text{sign } \overline{\varepsilon u_{Bi}} = \text{sign } \overline{\varepsilon u_{B.Ci}}; \quad (2.25)$$

$$\overline{\varepsilon(\alpha^*) u_{B.Ci}} = \overline{\varepsilon(\alpha^*) u_{Bi}}; \quad \alpha^* = \alpha. \quad (2.26)$$

Умова (2.23) вимагає, щоб при опусканні загальної частини ДО, знак усередненого виразу $\varepsilon u_{B.Ci}$ не змінювався. Умова (3.40) визначає вимогу ортогональності сигналів помилки при оптимальних значеннях $\alpha^* = a$ параметрів a і сигналів ІДО. Умова (3.40) для ІДО виконується тільки у випадку, якщо похибки $\varepsilon(\alpha) = 0$ при оптимальних параметрах, що можливо при ідентичних структурах об'єкту і моделі або певних вхідних сигналах $x(t)$.

Методи ДО та ІДО використовують за наявності некорельованих з корисним сигналом перешкод на виході об'єкту. У тих випадках, коли перешкода на виході об'єкту мала, ефективнішим в завданні ідентифікації є метод допоміжного оператора з використанням послідовно-паралельних моделей.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 26 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Об'єкт з оператором $W(p, a, b)$ апроксимується моделлю з оператором меншого або того ж порядку:

$$W_M(p, \alpha, \beta) = \frac{\beta_m p^m + \dots + \beta_1 p + \beta_0}{p^n + \alpha_{n-1} p^{n-1} + \dots + \alpha_1 p + \alpha_0} = \frac{B_M(p)}{A_M(p)}, \quad (2.27)$$

де α_i, β_i — параметри моделі, що настроюються ($i = 0, 1, 2, \dots, n-1$; $j = 0, 1, 2, \dots, m$).

Ланка з оператором $A_M(p)$ включається послідовно з об'єктом, а $B_M(p)$ — паралельно. Для можливості фізичної реалізації $A_M(p)$ і $B_M(p)$ ввімкнені разом з операторами $W_\phi(p)$ рівного або вищого порядку, ніж $A_M(p)$ і $B_M(p)$:

$$W_\phi(p) = \frac{1}{p^k + c_{k-1} p^{k-1} + \dots + c_1 p + c_0}, \quad (2.28)$$

Рівняння узагальненої похибки запишемо у вигляді

$$\begin{aligned} \varepsilon &= W_\phi(p) A_M(p) \frac{B_0(p)}{A_0(p)} x - W_\phi(p) B_M(p) x = \\ &= W_\phi(p) [W_0(a_0, b_0, p) A_M(a_M, p) - B_M(b_M, p)] x. \end{aligned} \quad (2.29)$$

Сигнали допоміжних операторів в цьому випадку мають вигляд:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial b_{M_j}} = -W_\phi(p) \frac{\partial B_M(p)}{\partial \beta_j} x = -W_\phi(p) p^{(j)} x = -v_{B_j}; \quad (2.30)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial a_{M_i}} = W_\phi(p) W_0(p, a_0, b_0) \frac{\partial A_M(p)}{\partial \alpha_i} x = W_\phi(p) p^{(i)} y = u_{B_i}. \quad (2.31)$$

Оскільки в рівняння похибки (2.27) параметри a_M, b_M входять лінійно, то при використанні послідовно-паралельних моделей сигнали допоміжних операторів u_{B_i}, v_{B_j} не залежать від змінних параметрів моделі і визначаються диференціюванням i, j раз вихідного сигналу фільтру $W_\phi(p)$, яке практично реалізується без використання диференціюючих пристроїв, оскільки порядок k диференціального рівняння фільтру (2.31) вищий за порядок n рівняння моделі.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Висновок до розділу

У даному розділі розглянуто математичні моделі ідентифікація, функціонали якості й алгоритми пошуку їх оптимальних значень. Також проаналізовані методи ідентифікації об'єктів керування, порівняльна оцінка та їх застосування

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 28 |

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ НАСОСУ МАРКИ 1Д1250-63

Для здійснення адаптивного керування насосним агрегатом в умовах нормальної експлуатації розглянемо наступний алгоритм. Для того, щоб керувати об'єктом по заданому закону ми отримали перехідний процес, який змоделювали в програмному пакеті Matlab [8]. Змоделюємо поведінку системи при зміні параметрів перехідного процесу. Причиною такої зміни є зміна статичного коефіцієнту функції передачі об'єкта керування.

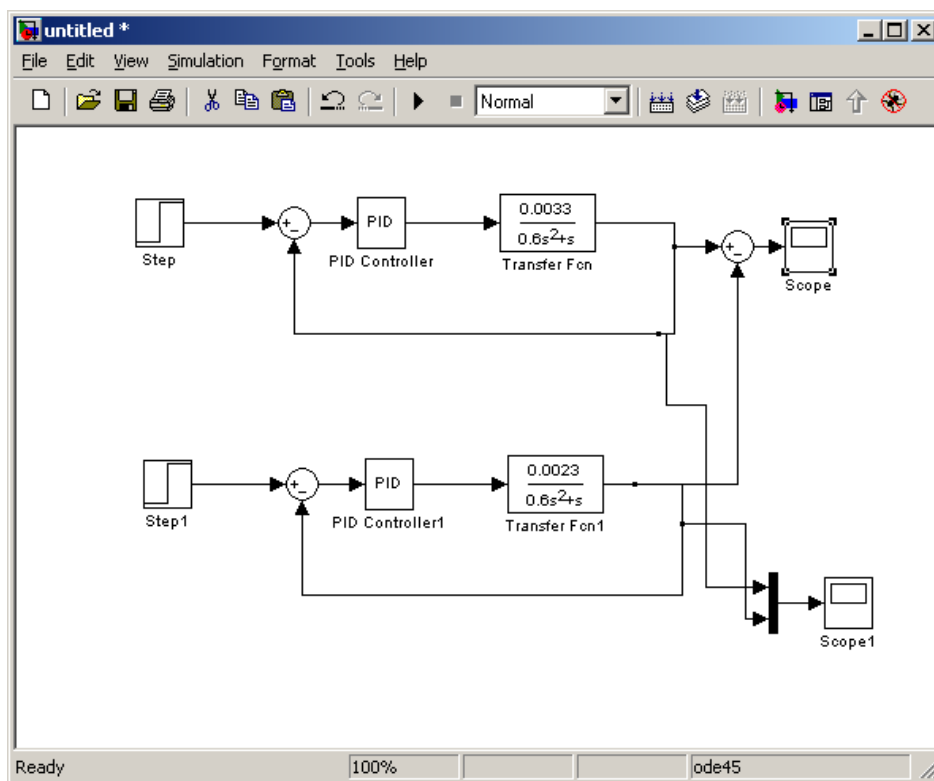


Рисунок 3.1 – Модель процесу зміни динамічних характеристик об'єкта керування

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

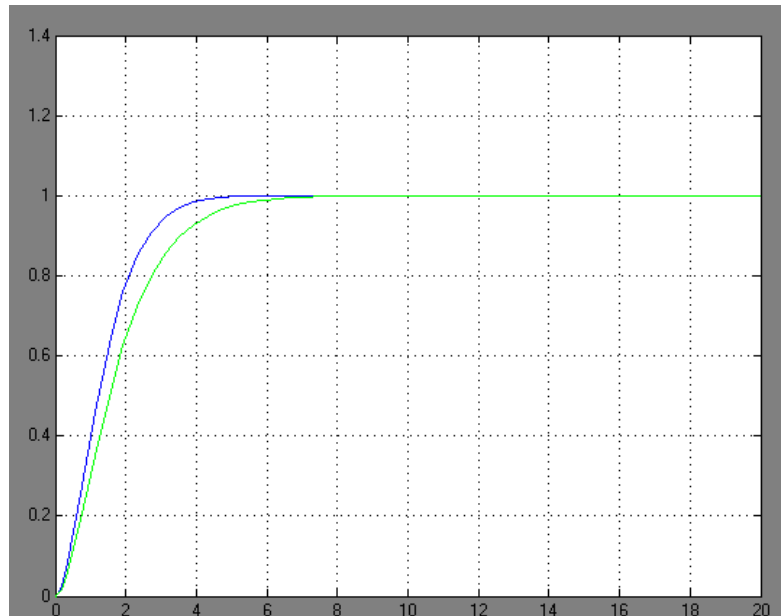


Рисунок 3.2 – Перехідні характеристики процесу при зміні статичного коефіцієнту

На рис. 3.2 зображено графіки основної функції передачі системи (моделі) і реальної. Для того, щоб повернути процес у заданий режим керування, знайдемо різницю ε характеристик еталонного та реального процесів [4]:

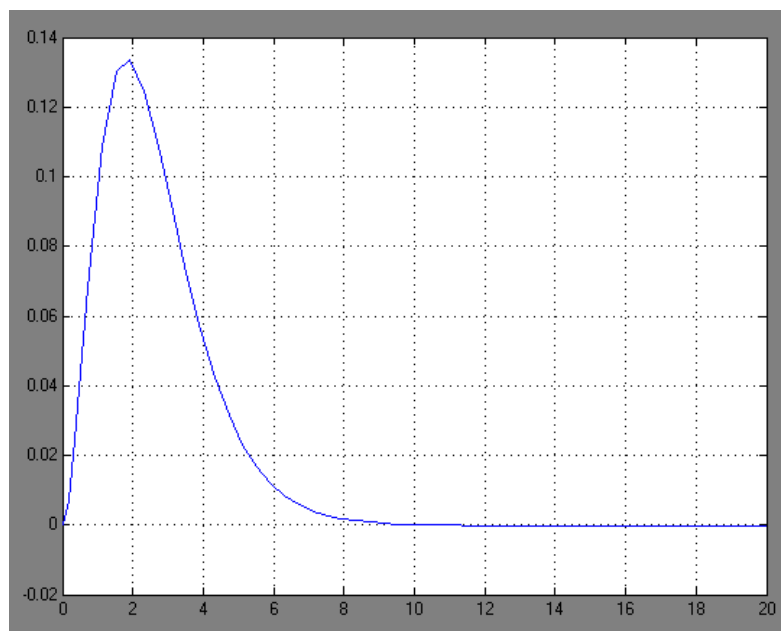


Рисунок 3.3 – Візуалізація міри відхилення ε перехідного процесу від еталонного

Як видно з графіка на рис.3.3, дана різниця не є сталою, тому для корекції системи будемо брати найбільше значення різниці ε_{\max} .

Змоделюємо перехідний процес в крайніх положеннях робочого інтервалу насосу. При цьому $K_1 = 0.014$ - верхня межа, $K_2 = 0.002538$ - нижня межа.

Для того, щоб дослідити, як змінюється K в залежності від ε_{\max} , будемо рухатися від верхньої межі робочого інтервалу до нижньої, змінюючи при цьому коефіцієнт K_1 . В результаті даного експерименту я отримав табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Результати експерименту

| K_1 | K_2 | ΔK | ε_{\max} |
|--------|--------|------------|----------------------|
| 0,014 | 0,0025 | 0,0115 | 0,493 |
| 0,0128 | 0,0025 | 0,0103 | 0,475 |
| 0,0116 | 0,0025 | 0,0091 | 0,461 |
| 0,01 | 0,0025 | 0,0075 | 0,434 |
| 0,0085 | 0,0025 | 0,0060 | 0,397 |
| 0,0073 | 0,0025 | 0,0048 | 0,357 |
| 0,006 | 0,0025 | 0,0035 | 0,299 |
| 0,0048 | 0,0025 | 0,0023 | 0,229 |
| 0,0036 | 0,0025 | 0,0009 | 0,133 |
| 0,0025 | 0,0025 | 0 | 0 |

Побудуємо графік залежності K_1 від ε_{\max} в програмі Mathcad (рис. 3.4)

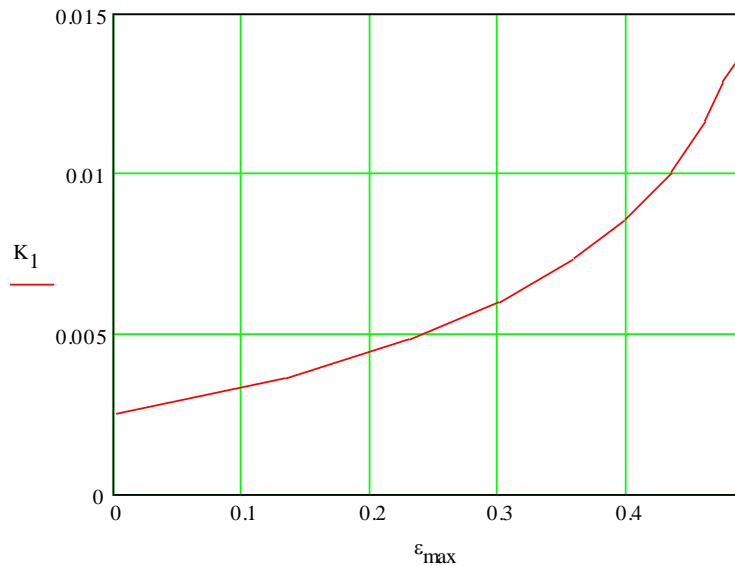


Рисунок 3.4 – Графік залежності K_1 від ε_{\max}

Знайдемо рівняння цієї кривої за допомогою інтерполяційного многочлену Лагранжа. Отримаємо наступну залежність [3]:

$$K_1(\varepsilon_{\max}) = 0.3222 \cdot \varepsilon_{\max}^3 - 0.1952 \cdot \varepsilon_{\max}^2 + 4.128 \cdot 10^{-2} \cdot \varepsilon_{\max} + 2.500 \cdot 10^{-3} \quad (3.1)$$

Отже, ми отримали криву значень K_1 . Це дає нам змогу знаючи ε_{\max} знайти значення статичного коефіцієнту K_1 . Щоб знайти на яку величину змінилася витрата Q потрібно розв'язати наступне рівняння:

$$\frac{\partial H(Q)}{\partial Q} = K_1 \quad (3.2)$$

Розв'язавши дане рівняння отримаємо діюче значення витрати Q_1 . Порівнявши його з еталонним, маємо різницю $\Delta Q = Q_0 - Q_1$. Ця різниця витрат і буде корегуючим сигналом в системі.

На практиці дана система керування є корисною у аварійних ситуаціях, коли в насосі виникає явище кавітації.

Статична характеристика насосу при кавітації має наступний вигляд:

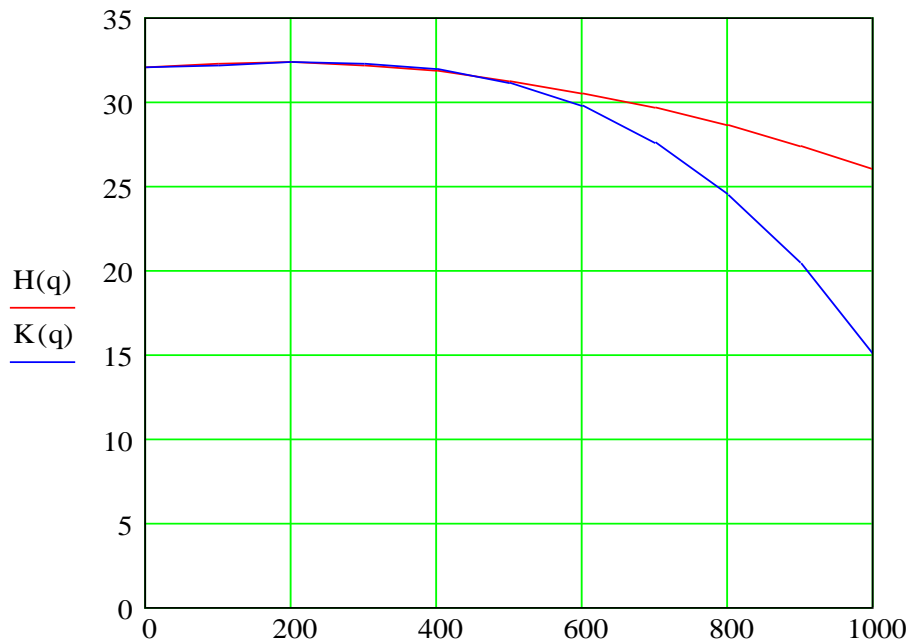


Рисунок 3.5 – Статична характеристика насоса при кавітації

Тому, контролюючи зміну напору, можна запобігти виникненню аварійних ситуацій при кавітації.

3.1 Вибір типу регулятора та побудова графіка перехідного процесу

Синтез систем автоматичного керування (САК) є основною стадією проектування, яка отримала в останні роки досить широке практичне застосування. Сутність задачі синтезу втілюється в такому виборі структурної схеми системи і її параметрів і такому конструктивному рішенні, при якому забезпечуються задані показники якості і точності процесів регулювання, а сама система складається з найбільш простих пристроїв керування. Найбільш відповідальною частиною цієї задачі є підбір і вибір регуляторів [7].

Законом регулювання називається рівняння, яке описується залежністю між входом регулятора і його виходом.

Процес автоматичного регулювання визначається динамічними властивостями об'єкту керування, характером збуреної дії, типом

автоматичного регулятора і значення його параметрів налаштування. Суттєво важливим являється правильний вибір регулятора у відповідності з вимогами закону регулювання і правильне його налаштування.

Існують такі алгоритми керування: пропорційний (П); інтегральний (І); пропорційно-інтегральний (ПІ); пропорційно-диференціальний (ПД); пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) [7].

Оптимальні параметри налаштування ПІД-регулятора шукатимемо за допомогою програми Matlab [8].

Для вибору параметрів налаштування регулятора запишемо функцію передачі розімкненої САК:

$$W_{PK}(p) = W_{BM}(p) \cdot W_{KO}(p) = \frac{K_{BM}}{p} \cdot \frac{K}{(T_1 p + 1)} = \frac{0.0033}{0.6 p^2 + p} \quad (3.3)$$

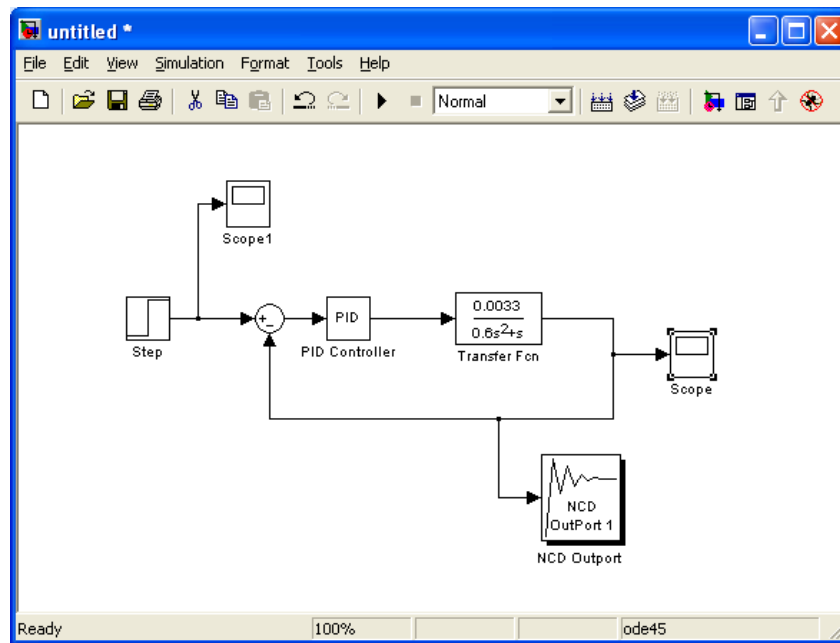


Рисунок 3.6– Моделювання перехідного процесу в програмі Matlab [8]

Для знаходження оптимальних параметрів регулятора використаємо блок NCD:

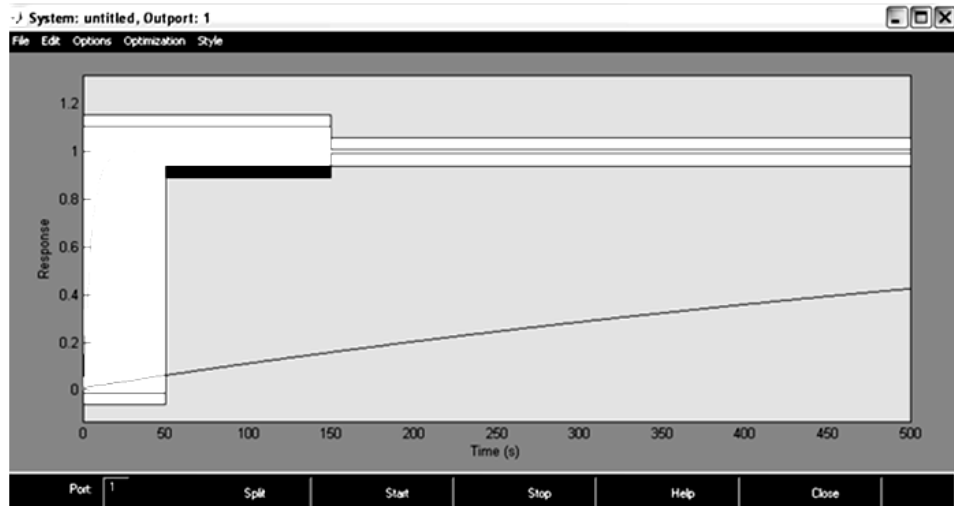


Рисунок 3.7 – Візуалізація обчислення параметрів регулятора з допомогою блоку NCD

Отже, ми отримали наступні параметри налаштування ПІД-регулятора (рис. 3.8) [7]:

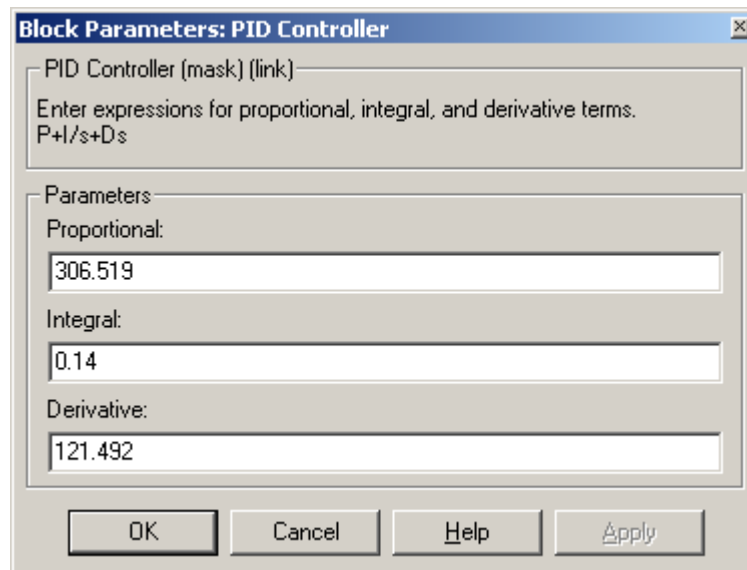


Рисунок 3.8 – Оптимальні параметри налаштування ПІД-регулятора [7]

Тоді графік перехідного процесу буде мати такий вигляд:

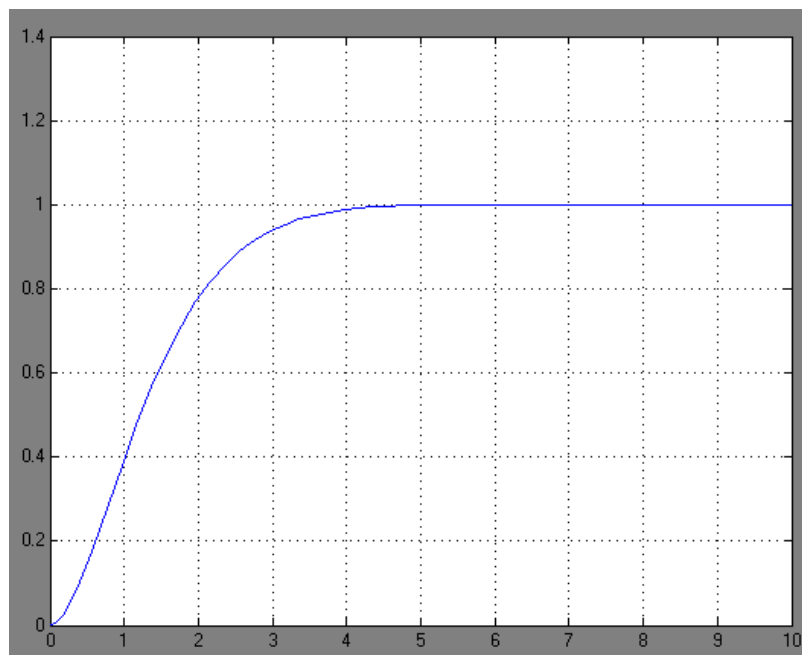


Рисунок 3.9 – Графік перехідного процесу

Отже, даний перехідний процес має наступні показники якості: час перехідного процесу $t = 3$ с, перерегулювання $\sigma = 0\%$.

Функція передачі ПІД-регулятора матиме такий вигляд:

$$W(p) = \frac{2.52p^2 + 307p + 1.02 \cdot 10^4}{p} \quad (3.3)$$

3.2. Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації (ТЗА)

Існуюча система автоматичного керування роботою насосу забезпечена сучасними приладами контролю і автоматики [6].

Вибір приладів здійснюється у відповідності із їх призначенням, метрологічними характеристиками і умовами експлуатації. Метрологічні прилади характеризуються границею пропорційності і точністю вимірювання. Границя вимірювання характеризується нижньою і верхньою границею вимірювання, а точність - класом точності приладу.

В більшості клас точності позначається цифрами, рівними допустимому значенню основної приведенної похибки, вираженої у процентах. Класи точності

приладів повинні відповідати таким рядам :0,01; 0,015; 0,02; 0,025; 0,04; 0,05; 0,06;0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5;0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0.

В залежності від виду виконання вибухозахищені прилади і обладнання виготовляють: вибухонепроникні, маслонаповнені підвищеної точності проти вибуху, кварцевого заповнення і спеціальні. Вибухозахищене обладнання може мати різні види вибухозахисту.

Вибравши тип приладу у відповідності з його призначенням і умовами експлуатації, починаємо вибирати метрологічні характеристики приладу. Спочатку вибираємо границю виміру приладу, а потім клас точності. Вибір засобів автоматизації здійснюємо, виходячи з таких вимог:

- витрата з приведеною похибкою $\pm 2,5\%$;
- напір з приведеною похибкою $\pm 3,5\%$.

Виходячи з вищесказаного, вибираємо такі засоби автоматизації для регулювання роботи відцентрового насосу:

1) для витрати - багатопараметричний масовий витратомір моделі 3095MV Fisher-Rosemount забезпечує вимірювання масової витрати для рідин, газів і пари, всього одне врізання в технологічну лінію, досягається точність вимірювань $\pm 1,3\%$ від масової витрати при зміні діапазону вимірювань 8:1); вторинний регулюючий прилад фірми "Мікрол" типу МІК-51;

2) для напору – давач напору ДН-6 (характеристика приведена на рис. 3.5) і пневмо-електроперетворювач. Витратомір моделі 3095 MV Fisher-Rosemount – це багатопараметричний витратомір з вихідним сигналом 4-20 мА.

Дистанційний зв'язок виконується шляхом накладання високочастотного цифрового сигналу на аналоговий вихідний сигнал 4-20 мА.

Діапазони перепаду тиску:

- від 0-0,5 до 0-25 дюймів вод. ст. (від 0-0,12 до 0-6,22 кПа);
- від 0-2,5 до 0-250 дюймів вод. ст. (від 0-0,62 до 0-62,2 кПа);
- від 0-10 до 0-1000 дюймів вод. ст. (від 0-2,48 до 0-248 кПа).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 37 |



Рисунок 3.10 – Багатопараметричний масовий витратомір
MULTIVARIABLE моделі 3095MV

Витратомір моделі 3095MV має вибухобезпечний корпус, електронна схема є іскробезпечною і незаймистою. З витратоміром моделі 3095MV можуть бути використані фланцеві перехідники, виготовлені з вуглецевої сталі з покриттям, з нержавіючої сталі і з хастеллоя.

3.2.1. Загальна характеристика контролера МІК-51

Усі регулятори реалізуємо програмно на мікропроцесорному контролері МІК-51. Коротко опишемо його характеристики [6].

Загальна характеристика контролера МІК-51 – це компактний малоканалний багатфункціональний мікропроцесорний контролер, призначений для автоматичного регулювання і логічного управління технологічними процесами. Він призначений для вживання в електротехнічній, енергетичній, хімічній, металургійній, харчовій, цементній, скляній і інших галузях промисловості.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 3.11 - Загальний вигляд контролера МІК-51

МІК-51 ефективно вирішує як порівняно прості, так і складні задачі управління. Завдяки малоканальності МІК-51 дозволяє, з одного боку, економічно управляти невеликим агрегатом і, з іншою, забезпечити високу живучість крупних систем управління.

Контролер МІК-51 дозволяє вести локальне, каскадне, програмне, супервізорне, багатозв'язкове регулювання.

Архітектура контролера забезпечує можливість уручну або автоматично включати, відключати, перемикати і реконфігурувати контури регулювання, причому всі ці операції виконуються ненаголошений незалежно від складності структури управління. В поєднанні з обробкою аналогових сигналів контролер МІК-51 дозволяє виконувати також логічні перетворення сигналів і виробляти не тільки аналогові або імпульсні, але і дискретні команди управління. Логічні функціональні блоки формують логічну програму крокового управління з аналізом умов виконання кожного кроку, завданням контрольного часу на кожному кроці і умовним або безумовним переходом програми до заданого кроку. В поєднанні з обробкою дискретних сигналів контролер дозволяє виконувати також різноманітні функціональні перетворення аналогових сигналів і виробляти не тільки дискретних, але і аналогових керівників сигнали.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

МІК-51 містить засоби оперативного управління, розташовані на лицьовій панелі контролера. Ці засоби дозволяють уручну змінювати режими роботи, встановлювати завдання, управляти ходом виконання програми, уручну управляти виконавчими пристроями, контролювати сигнали і відображати помилки. Стандартні аналогові і дискретні датчики і виконавчі пристрої підключаються до контролера МІК-51 за допомогою індивідуальних кабельних зв'язків. У середині контролера сигнали обробляються в цифровій формі.

Контролери МІК-51 можуть об'єднуватися в локальну управляючу мережу шинної конфігурації. Для такого об'єднання ніяких додаткових пристроїв не вимагається. Через мережу контролери можуть обмінюватися інформацією в цифровій формі.

Система програмування реалізована відповідно до вимог стандарту Міжнародної Електротехнічної Комісії (МЕК) ІЕС 1131-3 і призначена для розробки прикладного програмного забезпечення збору даних і управління технологічними процесами, виконуваними на програмованих контролерах.

Як мова програмування в системі реалізований мову функціональних блокових діаграм Function Block Diagram (FBD), що надає користувачу механізм об'єктного візуального програмування.

Процес програмування зводиться до того, що шляхом послідовного натиснення декількох клавіш з бібліотеки, захистом в постійній пам'яті, викликаються потрібні функціональні блоки, ці функціональні блоки об'єднуються в систему заданої конфігурації і в них встановлюються необхідні параметри настройки.

У контролері МІК передбачено:

- до 8 незалежних контурів регулювання, кожний з яких може бути локальним або каскадним, з аналоговим або імпульсним виходом, з ручним, програмним (у тому числі багатопрограмним) або супервізорним задатчиком.
- до 8 незалежних логічних програм крокового управління, кожна з яких може бути лінійною (що виконується послідовно крок за кроком) або розгалуженою з безумовними або умовними переходами.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 40 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- до 89 етапів програми з можливістю реалізації в кожному етапі до 20 кроків. При цьому в кожному кроці задаються умови його виконання, контрольний час, протягом якого аналізуються умови і визначається поведінка програми у разі, коли ці умови не виконуються.

- більше 76 типів зашитих в ПЗП функціональних блоків безперервної і дискретної обробки інформації, включаючи функціональні блоки ПД регулювання, функціональні блоки математичних, динамічних, нелінійних, аналого-дискретних і логічних перетворень.

- до 99 блоків, що використовуються, з вільним їх заповненням будь-якими функціональними блоками з бібліотеки і вільною конфігурацією між собою і з входами-виходами контролера. Ручна установка або автопідстроювання будь-яких властивостей, параметрів і коефіцієнтів в будь-яких функціональних блоках.

- зміна режимів управління, включення/відключення, перемикання і реконфігурування контурів регулювання будь-якого ступеня складності.

- формування декількох (до 47) програм з можливістю оперативного вибору потрібної програми і її однократного, багатократного або циклічного виконання.

- оперативне управління контурами регулювання за допомогою клавіш лицьової панелі, 2-х чотирьохрозрядних, і одного трьохрозрядного цифрових індикаторів і набору світлодіодів, що дозволяють міняти режими, встановлювати завдання, управляти виконавчими механізмами, контролювати сигнали, відображати аварійні ситуації. При програмному регулюванні засобу оперативного управління дозволяють вибирати необхідну програму, пускати, зупиняти, і скидати програму, переходити до наступної ділянки програми, а також контролювати хід виконання програми.

- об'єднання до 32 контролерів в локальну управляючу мережу, причому в цю мережу можуть включатися також і інші моделі контролерів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 41 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

небудь функцій контролера. Така прив'язка здійснюється користувачем і реалізується в процесі програмування.

Характеристики вхідних сигналів

- Сигнали від термопар ТХК(L), ТХА(K), ТПП(S), ТПР(V), ТВР (A), ТЖК(J), ТХКн(E)

- Сигнали від термометрів опорів ТСМ 50М, ТСМ 100М, ТСП 50П, ТСП 100П, Pt50, Pt100

- Уніфіковані аналогові сигнали постійного струму 0-5мА, 0-20мА, 4-20мА; 0-10В

- Дискретні й імпульсні сигнали: 24В постійного струму, лог."1" напругою від 19 до 32 В; лог."0" напругою від 0 до 7 В. Групова розв'язка

Характеристики вихідних сигналів

- Уніфікований аналоговий сигнал постійного струму 0-5мА, 0-20мА, 4-20мА; 0-10В

- Дискретні й імпульсні сигнали: транзисторний вихід ОК NPN-транзистора: 40В/0,1А; релейний вихід: 220 В/8А; Групова розв'язка

Технічні характеристики

- Обсяг пам'яті: ПЗП - 128 кбайт, ОЗП - 4 кбайт

- Поточний час (таймери, програмні задатчики і т.д.), постійні часу, інтервали від 0 до 9999 с, від 0 до 9999 год, таймер реального часу з батареєю резервного живлення

- Час циклу - від 0.1 до 2 с

- Кількість алгоблоків - до 99

- Похибка перетворення: АЦП: $\pm 0.2\%$; ЦАП: $\pm 0.25\%$

- Трьохрівнева (по входу, виходу і живленню) гальванічна ізоляція

- Збереження інформації при відключенні живлення

- Час збереження інформації при відключенні живлення - 10 років

- Канал інтерфейсного зв'язку RS-485 (2/4 wire), RS-232C, ИРПС, CAN 2.0B

- Швидкість обміну - до 921 кбит/с

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 43 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- Температура навколишнього середовища: від +0°C до +50°C
- Напруга живлення: від мережі змінного струму ~220(+22,-33)В, (50±1)Гц
- Споживана потужність: не більше 15 Вт
- Корпус (ВхШхГ): щитовий 96х96х185 мм DIN43700, IP30
- Монтажна глибина: 240 мм
- Маса блоку: не більше 2,0 кг

Для перетворення інтерфейсу *RS-485* в інтерфейс *RS-232*, що забезпечує можливість використання на верхньому рівні системи ПЕОМ, застосовуватимемо блок перетворення інтерфейсів *БПІ-485*. Коротко опишемо його технічні характеристики:

- Кількість каналів перетворення: 1
- Гальванічна ізоляція: трьохрівнева (по входу, виходу, живленню)
- Напруга ізоляції: 1000В
- Світлодіодні індикатори: живлення, прийому і передачі даних (для полегшення пошуку несправностей)
- Температура навколишнього середовища: від +5°C до +50°C
- Живлення: від мережі постійного струму від 20 до 30В
- Споживана потужність: не більше 2 Вт (65 мА)
- Корпус (ВхШхГ): 44х92х130 IP30, кріплення: рейка DIN35х7.5 EN50022,
- Маса: не більше 0,23 кг.

3.3 Дослідження САК на стійкість

Однією з найважливіших характеристик автоматичної системи керування є стійкість. Причому, якщо показники точності визначають степiнь корисності і ефективності системи, то від стійкості залежить працездатність системи.

Отже, функція передачі загального об'єкту має вигляд [3]:

$$W_o(p) := \frac{0.0033}{0.01p^2 + p} \quad (3.4)$$

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|-----------------------|------|
| | | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | 44 |

Запишемо функцію передачі розімкнутої системи:

$$W_{\delta\tilde{n}}(p) := W_i(p) \cdot W_o(p) \quad (3.5)$$

використовуючи (3.4) і (3.5) отримаємо:

$$W_{\delta\tilde{n}}(p) := \frac{8.32 \cdot 10^{-3} \cdot p^2 + 1.01p + 0.861}{.600p^3 + 1 \cdot p^2} \quad (3.6)$$

Критерій Гурвіца.

Головний визначник всі його діагональні мінори знайдемо з допомогою MathCad:

Сума чисельника і знаменника розімкнутого контура:

$$.600p^3 + 1 \cdot p^2 + 8.32 \cdot 10^{-3} \cdot p^2 + 1.01p + 0.861 \left| \begin{array}{l} \text{expand, p} \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow .600p^3 + 1.01p^2 + 1.01p + .861$$

Характеристичне рівняння: $.600p^3 + 1.01p^2 + 1.01p + 0.861 = 0$

Коефіцієнти характеристичного рівняння:

$$a_0 := 0.861 \quad a_1 := 1.01 \quad a_2 := 1.01 \quad a_3 := .600$$

$$\Delta_3 := \begin{pmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{pmatrix} \quad |\Delta_3| = 0.434 \quad - \text{головний визначник}$$

$$\Delta_1 := a_1 \quad \Delta_1 = 1.01$$

Як бачимо оскільки головний визначник і його діагональні мінори додатні, то система є стійкою.

Критерій Михайлова.

Критерій Михайлова відноситься до групи частотних критеріїв стійкості. Критерій Михайлова так само як і критерій Гурвіца заснований на аналізі характеристичного рівняння системи тому за його допомогою можна судити про стійкість замкнутих і розімкнутих систем.

Скористаємось знайденим вище характеристичним рівнянням і запишемо характеристичний поліном

$$F(p) := .600p^3 + 1 \cdot p^2 + 8.32 \cdot 10^{-3} \cdot p^2 + 1.01p + 0.861 \quad (3.7)$$

Підставивши у цей поліном $p = j\omega$, одержимо:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 45 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$F(\omega) := F(p) \begin{cases} \text{substitute, } p = i \cdot \omega \\ \text{complex} & \rightarrow -1.01 \cdot \omega^2 + .861 + 1. \cdot i \cdot (-.600 \omega^3 + 1.01 \cdot \omega) \\ \text{float, 3} \end{cases}$$

Розклавши останній вираз на дійсну $P(\omega)$ і уявну $Q(\omega)$ складові:

$$P(\omega) := \text{Re}(F(\omega)) \begin{cases} \text{complex} \\ \text{float, 3} \end{cases} \rightarrow -1.01 \cdot \omega^2 + .861$$

$$Q(\omega) := \text{Im}(F(\omega)) \begin{cases} \text{complex} \\ \text{float, 3} \end{cases} \rightarrow -.600 \omega^3 + 1.01 \cdot \omega$$

Отже автоматична система керування стійка, якщо при зміні ω від 0 до ∞ годограф Михайлова починається на додатній осі і проти годинникової стрілки походить 3 квадранти. Побудуємо годограф Михайлова.

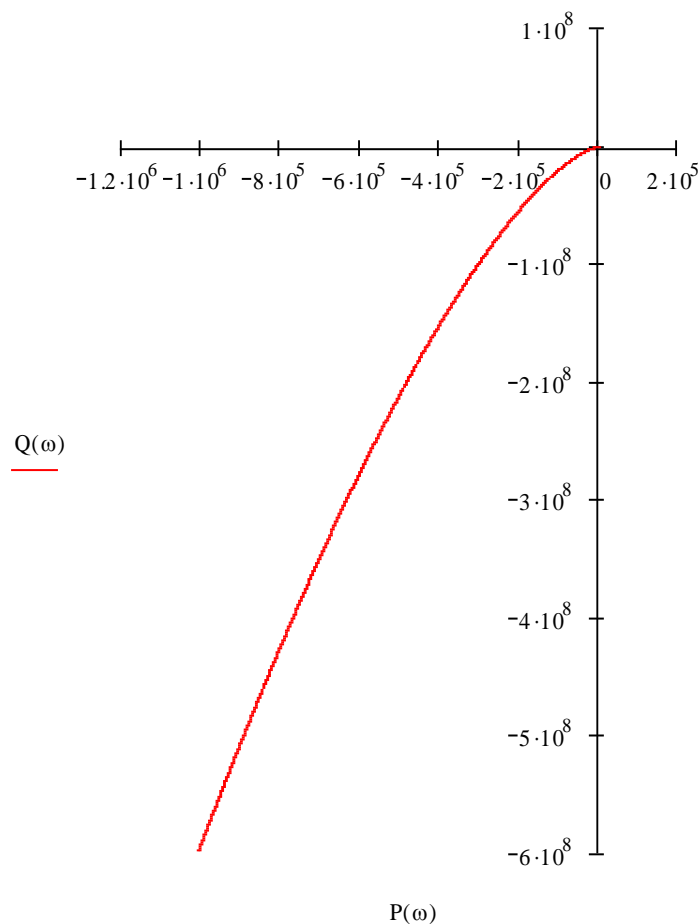


Рисунок 3.13 – Годограф Михайлова

Значення ω , $P(\omega)$ і $Q(\omega)$ [2]::

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

| $\omega =$ | $P(\omega) =$ | $Q(\omega) =$ |
|------------|---------------|---------------|
| 0 | 0.861 | 0 |
| 0.01 | 0.861 | 0.01 |
| 0.02 | 0.861 | 0.02 |
| 0.03 | 0.86 | 0.03 |
| 0.04 | 0.859 | 0.04 |
| 0.05 | 0.858 | 0.05 |
| 0.06 | 0.857 | 0.06 |
| 0.07 | 0.856 | 0.07 |
| 0.08 | 0.855 | 0.08 |
| 0.09 | 0.853 | 0.09 |
| 0.1 | 0.851 | 0.1 |
| 0.11 | 0.849 | 0.11 |
| 0.12 | 0.846 | 0.12 |
| 0.13 | 0.844 | 0.13 |
| 0.14 | 0.841 | 0.14 |
| 0.15 | 0.838 | 0.149 |

Отже, враховуючи отримані результати, ми можемо зробити висновок, що система стійка.

Критерій Найквіста.

Критерій Найквіста відноситься до групи частотних критеріїв стійкості. Критерій Найквіста так само як і критерій Михайлова заснований на аналізі характеристичного рівняння системи тому за його допомогою можна судити про стійкість замкнених і розімкнених систем [3].

Знайдемо характеристичне рівняння і запишемо характеристичний поліном

$$F(p) := \frac{1.01p + .861 + 8.3210^{-3} \cdot p^2}{.600p^3 + 1 \cdot p^2} \quad (3.8)$$

Підставивши у цей поліном (3.6) $p = j\omega$, і розклавши отриманий вираз на дійсну $P(\omega)$ і уявну $Q(\omega)$ складові, одержимо [3]:

дійсна частина

$$P(\omega) := \text{Re}(F(\omega)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow 2 \cdot (-.431 + 4.1610^{-3} \cdot \omega^2) \cdot \frac{\omega^2}{1 \cdot \omega^4 + .360\omega^6} - .606 \frac{\omega^4}{1 \cdot \omega^4 + .360\omega^6} +$$

$$+ 1 \cdot i \left[(.258 - 2.5010^{-3} \cdot \omega^2) \cdot \frac{\omega^3}{1 \cdot \omega^4 + .360\omega^6} + (-.258 + 2.5010^{-3} \cdot \omega^2) \cdot \frac{\omega^3}{1 \cdot \omega^4 + .360\omega^6} \right]$$

уявна частина

$$Q(\omega) := \text{Im}(F(\omega)) \begin{matrix} \text{complex} \\ \text{float, 3} \end{matrix} \rightarrow -1.01 \cdot \frac{\omega^3}{1 \cdot \omega^4 + .360 \omega^6} + (.517 - 4.99 \cdot 10^{-3} \cdot \omega^2) \cdot \frac{\omega^3}{1 \cdot \omega^4 + .360 \omega^6}$$

Отже, автоматична система керування стійка, якщо амплітудо-фазова частотна характеристика розімкнута система при зміні ω від 0 до ∞ не охоплює точку з координатами $(-1, j0)$.

Побудуємо АФЧХ розімкнутої системи (рис 3.14) [2,3]:

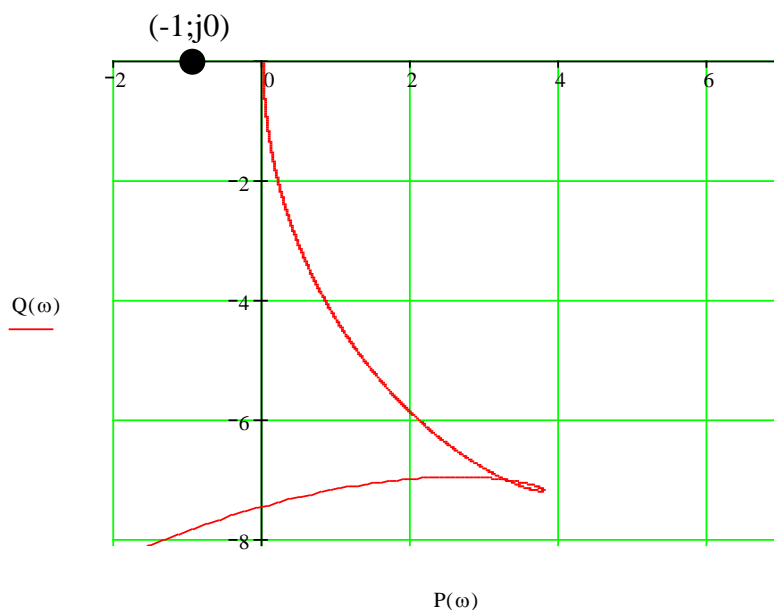


Рисунок 3.14 - АФЧХ розімкнутої системи

Як видно з рис. 3.14, система стійка.

3.4 Оцінка якості системи автоматичного керування

Якість автоматичної системи керування визначається сукупністю властивостей, які забезпечують ефективне функціонування як самого об'єкта керування, так і керуючого пристрою, тобто всієї системи керування в цілому. Точність системи в перехідних режимах оцінюють за допомогою прямих і непрямих показників. Прямі показники визначають по графіку перехідного

процесу, що виникає у системі при ступеневому зовнішньому впливі. Одним із головних прямих показників якості є перерегулювання $\sigma(\%)$ [3]:

$$\sigma = \frac{x_m - x(\infty)}{x(\infty)} \cdot 100\% , \quad (3.9)$$

де x_m - перше максимальне відхилення;

$x(\infty)$ - усталене значення.

Тривалість перехідного процесу (час регулювання) t_n - інтервал часу від моменту прикладання ступеневого впливу до моменту, після відхилення керованої величини від її кінцевого значення, що не перевищує деяке задане число δ_n . Як правило в промисловій автоматичі $\delta_n = 0,05 \cdot x(\infty)$.

Щодо непрямих показників якості, то найважливіші серед них є частотний показник коливальності M , який визначається по АЧХ замкнутого контуру; запас стійкості по фазі та амплітуді. Визначаємо перерегулювання для нашої САК : $\sigma_I = 0\%$.

Далі розглянемо такий показник якості системи, як час перехідного процесу t_n . Це один з вибраних показників якості регулювання. Його також отримують з перехідної характеристики. Допускають, що перехідний процес припиняється, коли відхилення від усталеного значення не перевищує 5%.

Таким чином, час перехідного процесу в системі:

$$t_{nI} = 3 \text{ с.}$$

Обчислимо частотні показники САК. Показник коливальності розраховуємо за формулою:

$$M = A_{max} / A_0. \quad (3.13)$$

Для розрахунку скористаємося графіками, наведеними нижче (рис. 3.15) зображено частотний показник коливальності для одноконтурної та каскадної систем відповідно).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 49 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

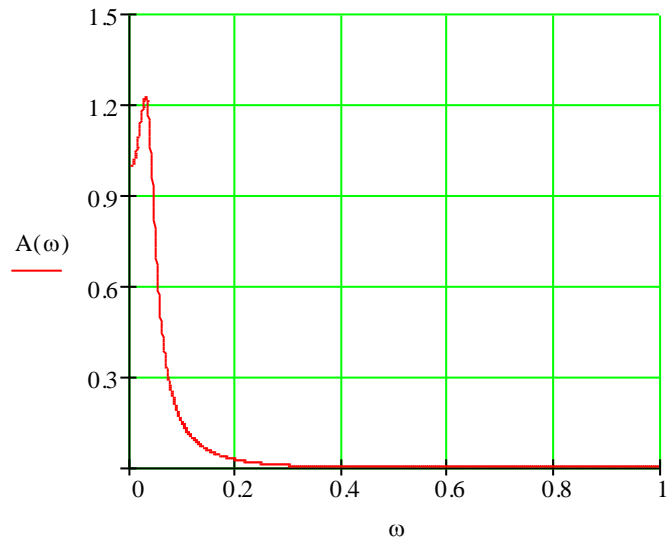


Рисунок 3.15 – Частотний показник коливальності одноконтурної САК

Аналізуючи графік можна прийти до висновку: $M = \frac{A_M}{A(0)} = \frac{1,228}{1} = 1,228$.

Запас стійкості системи по фазі і по амплітуді визначаємо по розімкнутій системі. На рис. 3.16 приведений графік розімкнутої системи в координатах [2,3]:

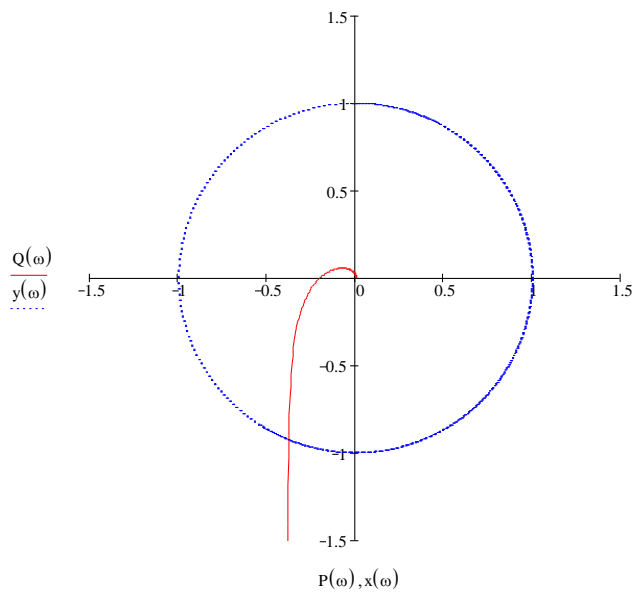


Рисунок 3.16 – Графік АФХ розімкнутого контуру САК

Як бачимо із вищенаведених графіків, запас по амплітуді для системи керування складає 0.78, запас по фазі складає 78°.

Виходячи із приведених вище обчислень, можемо стверджувати, що наша САК задовільняє вимогам якості регулювання.

Висновок до розділу

У розділі створена адаптивна система керування насосним агрегатом. Вибрано такі засоби автоматизації для регулювання роботи відцентрового насосу: багатопараметричний масовий витратомір моделі 3095MV; давач напору ДН-6. Усі регулятори реалізовано програмно на мікропроцесорному контролері МІК-51.

Досліджено САК на стійкість за критеріями Гурвіці, Михайлова та Найквіста. Всі три критерії виявили, що система стійка. Побудовано АФХ розімкнутого контуру САК. Отже, автоматична система керування стійка, так як амплітудо-фазова частотна характеристика розімкнутої системи при зміні ω від 0 до ∞ не охоплює точку з координатами $(-1, j_0)$.

Також було обчислено показники якості системи, на основі яких можна зробити висновки про відповідність системи всім вимогам якості.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 51 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Розробка програмного забезпечення верхнього рівня

МК-51 проводить обробку даних та їх передачу протоколом MODBUS-RTU на блок перетворення інтерфейсу БПІ-52, далі по інтерфейсу USB 2.0 дані поступають на робочу станцію (ПК) з OPC сервером. Це в свою чергу дозволяє проводити аналіз даних різними методами та порівнювати отримані результати без додаткових затрат часу на синхронізацію, обробку, та передачу даних. Використання технології OPC [англ. OLE for Process Control], яка дає можливість одночасного доступу до даних в реальному часі довільної кількості клієнтів. Логічно, що такий режим доступу до даних відкриває широкі можливості їх наукового аналізу різними програмними пакетами, спеціалістами з експлуатації та науковцями. Накопичення та аналіз даних з різних типів ГПА є необхідною умовою при створенні адаптивних та інтелектуальних систем протипомпажного захисту.

Програма **ModBus OPC Server** - далі «сервер», розроблена підприємством «МІКРОЛ» призначена для автоматизації обміну інформацією між приладами, виробленими підприємством «МІКРОЛ» і додатками – клієнтами на ЕОМ. «Сервер» реалізує стандартний інтерфейс доступу до даним OPC Data Access 2.0 відповідно до специфікації OPC Data Access Custom Interface Specification 2.0.

Розробку програмного забезпечення верхнього рівня будемо проводити на мові програмування Delphi.

Мова Delphi - строго типізована об'єктно-орієнтована мова, в основі якого лежить Object Pascal. Borland Delphi 7 Studio дозволяє створювати різноманітні програми: від простих одновіконних застосунків до програм управління розподіленими базами. До складу пакету включені різноманітні утиліти, що забезпечують роботу з базами даних, XML-документами, створення довідкової системи, вирішення інших завдань, підтримка технології .NET.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 52 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Borland Delphi 7 Studio може працювати в середовищі операційних систем від Windows 98 до Windows XP. Особливих вимог, по сучасних мірках, до ресурсів комп'ютера пакет не пред'являє: процесор повинен бути типу Pentium або Celeron з тактовою частотою не нижче 166 МГц (рекомендується Pentium II 400 МГц) оперативній пам'яті - 128 Мбайт (рекомендується 256 Мбайт), достатня кількість вільного дискового простору (для повної установки версії Enterprise необхідне приблизно 475 Мбайт).

Завданням програми на Delphi є обчислення зміни витрати насосу при зміні його динамічної характеристики.

Для виконання даного завдання складемо наступну блок-схему, яка наведена на рис. 4.1: В даній блок-схемі є наступні блоки:

- 1 – початок програми;
- 2 – блок циклу для введення даних, який складається з двох блоків:
- 3 – блок вводу матриць значень А і В перехідних характеристик процесу, які поступають з ОРС-сервера;
- 4 – блок обчислення матриці Е значень різниці елементів матриць А і В;
- 5 – блок присвоєння значенню максимального елементу матриці Е значення 1-ого елементу матриці Е;
- 6 – блок циклу для обчислення максимального елементу матриці Е;
- 7, 8 – блоки розгалуження і обчислення, в яких, якщо і-ий елемент матриці Е більший за максимальний елемент, то максимальному елементу присвоюється значення і-ого елементу;
- 9 – блок обчислення зміни коефіцієнту К за заданою рівністю, яка одержується експериментальним шляхом і з допомогою використання інтерполяційного поліному Лагранжа;
- 10 – блок обчислення коефіцієнту К1 діючої перехідної характеристики об'єкту;
- 11 – блок обчислення дискримінанту квадратного рівняння для обчислення витрати Q;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 53 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

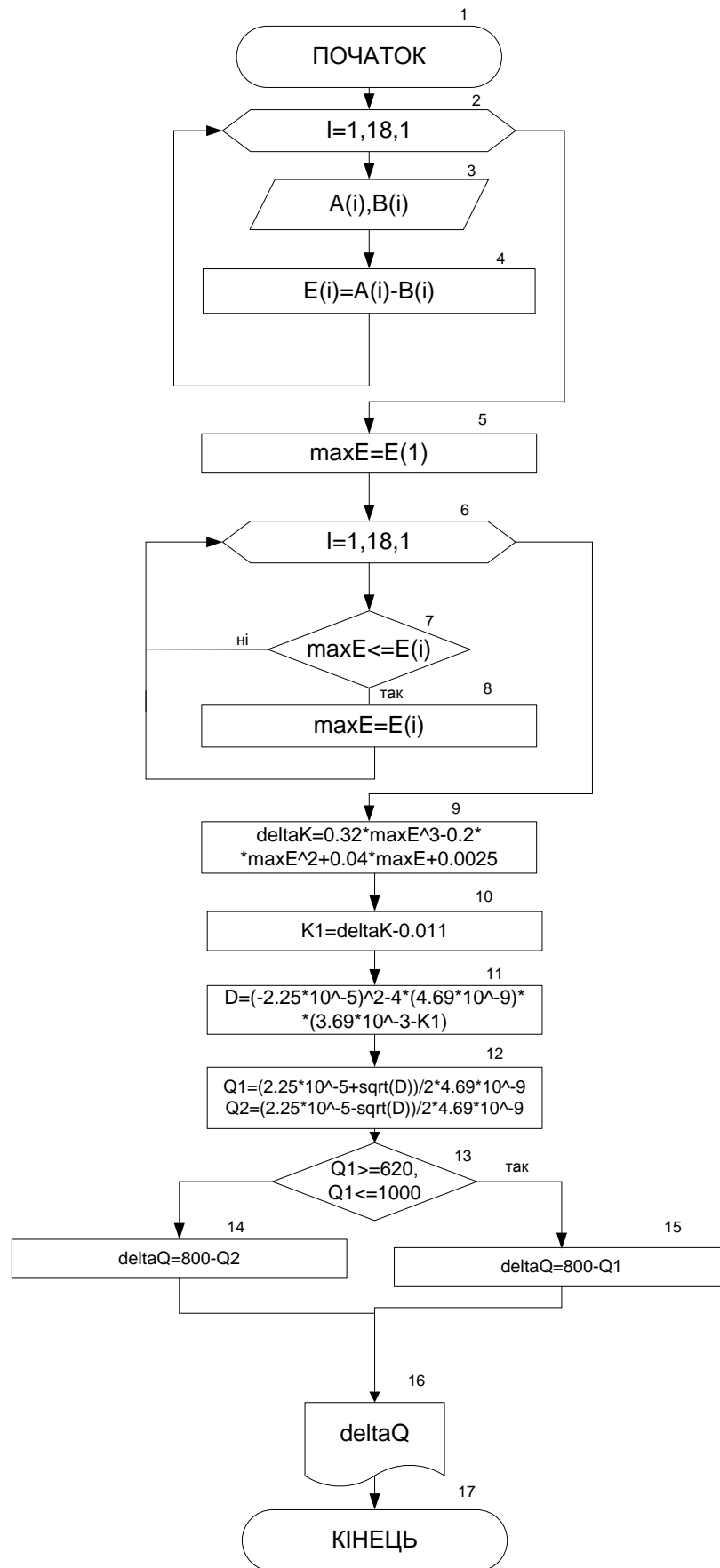


Рисунок 4.1 – Блок схема алгоритму програми для обчислення зміни витрати насосу при зміні його динамічної характеристики

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

12 – блок обчислення коренів квадратного рівняння;

13 – блок розгалуження, в якому визначається, який з коренів належить області значень витрати Q;

14, 15 – блоки обчислення зміни витрати Q залежно від значення коренів квадратного рівняння;

16 – блок виводу значення зміни витрати Q на OPC-сервер;

17 – кінець програми.

Спрощений приклад програми, де моделюється запуск/зупинка насоса та зміна його швидкості обертання:

```
unit Unit1;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
  Dialogs, StdCtrls, ComCtrls;
```

```
type
```

```
  TForm1 = class(TForm)
```

```
    ButtonStart: TButton;
```

```
    ButtonStop: TButton;
```

```
    TrackBarSpeed: TTrackBar;
```

```
    LabelStatus: TLabel;
```

```
    LabelSpeed: TLabel;
```

```
    procedure ButtonStartClick(Sender: TObject);
```

```
    procedure ButtonStopClick(Sender: TObject);
```

```
    procedure TrackBarSpeedChange(Sender: TObject);
```

```
  private
```

```
    PumpRunning: Boolean;
```

```
    procedure UpdateStatus;
```

```
  public
```

```
end;
```

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 55 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

```

var
  Form1: TForm1;
implementation
  {$R *.dfm}
  procedure TForm1.ButtonStartClick(Sender: TObject);
  begin
    PumpRunning := True;
    UpdateStatus;
  end;
  procedure TForm1.ButtonStopClick(Sender: TObject);
  begin
    PumpRunning := False;
    UpdateStatus;
  end;
  procedure TForm1.TrackBarSpeedChange(Sender: TObject);
  begin
    UpdateStatus;
  end;
  procedure TForm1.UpdateStatus;
  begin
    if PumpRunning then
    begin
      LabelStatus.Caption := 'Насос працює';
      LabelSpeed.Caption := 'Швидкість: ' + IntToStr(TrackBarSpeed.Position) + ' %';
    end
    else
    begin
      LabelStatus.Caption := 'Насос зупинений';
      LabelSpeed.Caption := 'Швидкість: 0 %';
    end;
  end;

```

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 56 |

4.2. Розробка програмного забезпечення нижнього рівня

Система автоматичного керування барабанним котлом базується на мікропроцесорному контролері МК-51. Програмування контролера здійснюємо по інтерфейсу за допомогою спеціального програмного забезпечення - візуального редактора FBD-програм *Альфа*. В якості мови програмування в системі реалізована мова функціональних блокових діаграм Functional Block Diagram (FBD), яка надає користувачу механізм об'єктного візуального програмування.

4.1.1. Характеристика програмного забезпечення

Процес програмування зводиться до того, що шляхом послідовного натискання декількох клавіш з бібліотеки викликаються потрібні функціональні блоки. Ці функціональні блоки об'єднуються в систему необхідної конфігурації. Для кожного функціонального блоку задаються параметри його налаштування. Створена на ЕОМ FBD-програма перевіряється і заноситься в контролер. За допомогою вбудованої енергонезалежної пам'яті контролера запрограмована інформація зберігається при відключенні живлення.

Функціональні можливості пакету:

1. Розробка FBD-програми для контролера в спеціальному редакторі. FBD-програма розробляється розміщенням функціональних блоків в робочому полі і з'єднанням їх в одну діаграму. У даному режимі є наступні можливості:
 - Вибір і розміщення функціональних блоків з відповідного функціонального розділу бібліотеки
 - Ручний розподіл
 - Програмування зв'язків
 - Налаштування параметрів блоків.
2. Запис FBD-програми в контролер
3. Читання FBD-програми з контролера для збереження в комп'ютері, перевірці, друку на принтері або редагування

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 57 |

4. Емуляція і відладка роботи програми. Є декілька можливостей відладки програм:

- Режим покрокової емуляції (одноразовий перерахунок програми, тобто за один цикл)
- Безперервний режим. У ньому програма безперервно перераховується із заданим періодом.

5. Додаткові сервісні можливості:

- Представлення програми на FBD у вигляді таблиці.
- Друк програми користувача на принтері.
- Автоматичний розподіл параметрів блоків в регістровій області пам'яті.
- Перевірка програми.
- Читання і запис параметрів функціональних блоків.
- Ініціація мережевого обміну.
- Режим автоматичної нумерації блоків в програмі.

Бібліотека функціональних блоків

Бібліотека функціональних блоків контролера МК-51 умовно розділена на наступні розділи:

- Функціональні блоки введення-виводу: інтерфейсний ввід-вивід, аналоговий ввід-вивід

дискретний ввід-вивід, імпульсний ввід-вивід;

- Математичні функціональні блоки: множення, підсумовування з масштабуванням, ділення

корінь квадратний, абсолютне значення, інтеграція, диференціювання із затримкою

- Логічні функціональні блоки: Логічне І, багатовходове І, логічне АБО, багатовходове АБО, мажоркування, тригер, регістр, виділення фронту

- Функціональні блоки управління програмою: мінімум, максимум, екстремум, обмеження, обмеження швидкості, перемикач по номеру, компаратор таймер, лічильник, мультивібратор, одновібратор, імпульсатор

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 58 |

- Функціональні блоки управління технологічним процесом: фільтр, масштабування кусочно-лінійна функція, програмний задатчик, таймер-сигналізатор реального часу, лінійна зміна параметра, регулятор аналоговий, регулятор каскадний, регулятор імпульсний, призначена для користувача панель
- Функціональні блоки дельта-регуляторів: регулятори аналогові і імпульсні з розширеними функціями, дельта-регулятор.

Програмування:

1. Вибір функціональних блоків здійснюється на панелі інструментів відповідного розділу бібліотеки.

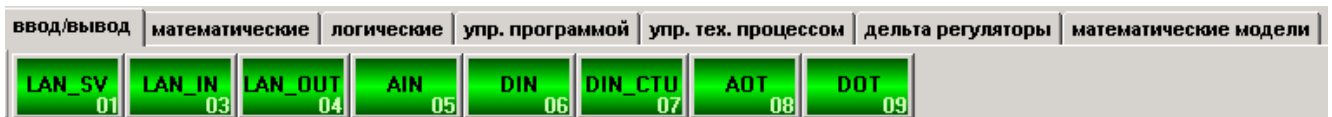


Рисунок 4.2 – Загальний вигляд панелі інструментів

2. Налаштування параметрів функціональних блоків здійснюється в наступному порядку:

- встановити курсор на відповідний блоку і натиснути ліву кнопку миші, при цьому блок виділяється підсвічуванням;
- натиснути праву кнопку миші на виділеному блоці;
- з меню, що з'явилося, вибрати пункт ВЛАСТИВОСТІ;
- у діалоговому вікні редагування параметрів блоку, що з'явилося, виконати відповідні настройки. При цьому властивість будь-якого параметра можна змінити на зв'язаний параметр і підключити його як вхід.

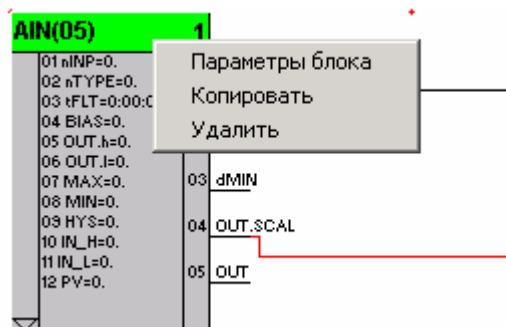


Рисунок 4.3 – Налаштування параметрів функціональних блоків

3. Розподіл параметрів блоку в регістровій області пам'яті можливо:

- автоматично за допомогою кнопки АВТОМАТИЧНИЙ РОЗПОДІЛ ПАМ'ЯТІ на панелі інструментів. При цьому виконується послідовний розподіл параметрів блоків в регістровій області пам'яті, прибираючи можливі пропуски в пам'яті (дефрагментація).


- вручну з вказівкою базової адреси блоку в регістровій області пам'яті

4.2.2. Запис і читання програми з контролера

1. Налаштування параметрів СОМ-порту. Параметри СОМ-порта настроюються

в меню ОПЦІЇ або по однойменній кнопці на панелі інструментів .

2. Запис, читання програми здійснюється по відповідній команді в меню ДІЇ або

після однойменних кнопок на панелі інструментів . Всі ці операції вимагають установки відповідної адреси контролера (Опції – адреса контролера)

Зазначимо, що програмування контролера можна здійснювати також за допомогою клавіш його передньої панелі.

Перелік функціональних блоків, які використовуються для програмування контролера МК-51:

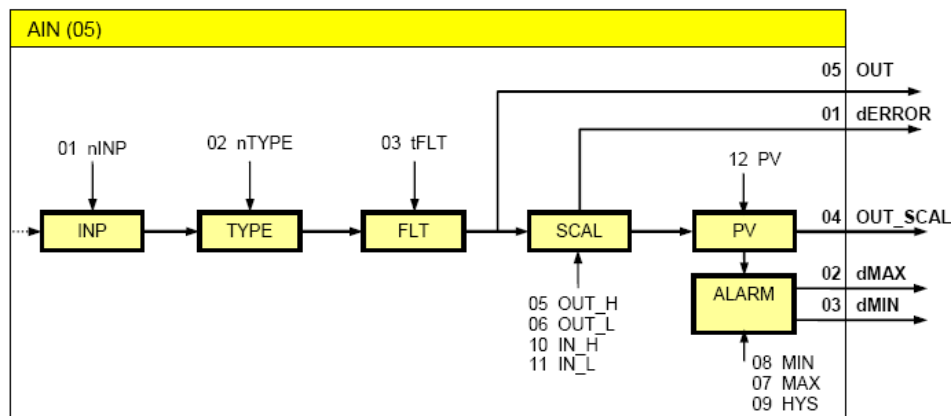


Рисунок 4.4 – Функціональна схема блоку аналогового вводу АІН(5)

Функціональний блок АІН(5) використовується для зв'язку функціональних блоків з апаратними засобами апаратного вводу. Номер аналогового входу контролера, з яким буде зв'язаний блок, вказується параметром nINT.

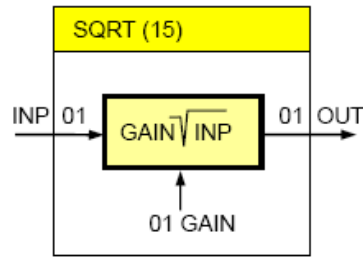


Рисунок 4.8 – Функціональна схема блоку квадратного кореня SQRT(15)

Функціональний блок SQRT(15) використовується в схемах статичної корекції. А особливо для лінеаризації характеристики давача витрати.

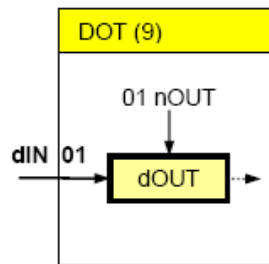


Рисунок 4.9 – Функціональна схема блоку дискретного виводу DOT(9)

Функціональний блок використовується для зв'язку функціональних блоків з апаратними засобами дискретних виходів.

Для введення сигналів по рівню води в котлі використовуємо блок аналогового вводу AIN (05). Для реалізації регуляторів рівня і витрати використовуємо функціональний блок аналогового ПІД-регулятора PID (60). Для задання внутрішнього завдання використаємо функціональний блок SP(53). Сумування сигналів по витраті пари здійснюємо за допомогою блоку сумування SUMM (13).

Висновок до розділу

Складена блок-схема алгоритму програми для обчислення зміни витрати. Створено FBD-програму для керування мікроконтролером та функціональний блок, який використовується для зв'язку функціональних блоків з апаратними засобами дискретних виходів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській вибрано об'єкт керування – відцентровий насос марки 1Д1250-63. Також розглянуто види відцентрових насосів та сфери їх застосування. Приведені характеристики насоса в робочій точці, а також його статична характеристика Q-H.

Було вибрано технічні засоби автоматизації, створено функціональну та структурну схеми системи автоматизації. Вибрано технічні засоби автоматизації для регулювання роботи відцентрового насосу: багатопараметричний масовий витратомір моделі 3095MV; давач напору ДН-6 Усі регулятори реалізовано програмно на мікропроцесорному контролері МК-51.

Створена адаптивна система керування насосним агрегатом. Знайдена передавальна функція керованого об'єкту та виконавчого механізму. За допомогою програмного пакету Matlab систему було змодельовано, побудовано перехідну характеристику процесу та знайдено оптимальні параметри настройки ПІД-регулятора. Система була досліджена на стійкість за критеріями Гурвіца, Михайлова та Найквіста.

Складена блок-схема алгоритму програми для обчислення зміни витрати Створено FBD-програму для керування мікроконтролером та функціональний блок, який використовується для зв'язку функціональних блоків з апаратними засобами дискретних виходів

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 63 |

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кушніренко М. І. Автоматизація технічних процесів: нечіткі системи: [навч. посібн.] / М. І. Кушніренко. – Львів: Видавництво ЛПІ, 2012. – 272 с.
2. Горбійчук М.І. Теорія автоматичного керування: [консп.лекцій] / М.І. Горбійчук: ІФНТУНГ, 2021. – 78 с.
3. Гутак О.В. Моделювання та ідентифікація процесу буріння для задач оптимізації управління: [Текст] / О.В.Гутак, Г.Н.Семенцов. – Одеса: Куприенко С.В. – 2014. – 295 с.
4. Ладанюк А. П. Системи автоматизації технологічних об'єктів в структурі комп'ютерно-інтегрованого управління технологічними комплексами харчових виробництв / А. П.Ладанюк, В. В.Іващук. - Режим доступу:
http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/eia/2009_1/09lapofp.pdf
5. Горбійчук М.І. Теорія алгоритмів, числові методи та програмні засоби моделювання: [навч.посібник] / М.І.Горбійчук, В.М. Гарасимів: ІФНТУНГ, 2021. – 299 с.
6. Когутяк М.І. Технічні засоби автоматизації. Ч4: лабор.практикум / М.І.Когутяк. ІФНТУНГ, 2025. – 127 с.
7. Семенцов Г.Н. Автоматизація неперервних технологічних процесів. Регулятори: [навч.посібник] / Г.Н.Семенцов. – Івано-Франківськ. – 2016. – 200 с.
8. MATLAB. Fuzzy Logic Toolbox User's Guide. – MathWorks, 2023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.mathworks.com/help/fuzzy/>

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
| | | | | | БР.АКП – 43.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 64 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: **«Розроблення адаптивної системи керування відцентровим насосом марки 1Д1250-63»**

Обсяг пояснювальної записки: 65 аркушів.

Перелік графічних матеріалів:

1. БР.АКП-43.00.00.001— Обробка експериментальних даних .
2. БР.АКП-43.00.00.002 — Моделювання перехідного процесу в програмі Matlab.
3. БР.АКП-43.00.00.003 — Показники якості САК.
4. БР.АКП-43.00.00.004 — Схеми системи ідентифікації з моделлю об'єкта керування.
5. БР.АКП-43.00.00.006 — Архітектура контролера МІК-51.
6. БР.АКП-43.00.00.005 — Модель процесу зміни динамічних характеристик ОК.
7. БР.АКП-38.00.00.007— Блок схема алгоритму програми для обчислення зміни витрати насосу при зміні його динамічної характеристики.