

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

04-03-347М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт № 5-7
з навчальної дисципліни

«Моделювання систем автоматизації»

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології» спеціальності 151
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІАКОТ
Протокол № 10 від 20.09.2022 р.

Рівне – 2022

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт 5-7 з навчальної дисципліни «Моделювання систем автоматизації» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Сидорчук Б. П., Матус С. К. – Рівне : НУВГП, 2022. – 26 с.

Укладачі:

Сидорчук Б. П., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій;

Матус С. К., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Відповідальний за випуск: Древецький В. В., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Керівник освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: Древецький В. В., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

© Б. П. Сидорчук,
С. К. Матус, 2022
© НУВГП, 2022

ЗМІСТ

Вступ	4
Лабораторна робота №5	
Дослідження моделі системи автоматичного регулювання витрати	5
Лабораторна робота №6	
Дослідження моделей системи автоматичного регулювання рівня.....	14
Лабораторна робота №7	
Дослідження моделей системи автоматичного регулювання тиску.....	20
Список рекомендованої літератури.....	26

ВСТУП

Моделювання у різних галузях технології – це метод дослідження різного роду технологічних чи інших процесів або систем, який передбачає побудову та дослідження їх моделей. Моделі систем відрізняються від моделей об'єктів перш за все масштабами та необхідністю виділення окремих елементів (процесів), що складають систему. Для адекватного опису процесів, що відбуваються у системах автоматизації, необхідно мати властивості (характеристики) як самого об'єкта керування, так і кожного із елементів системи.

Моделювання є основним засобом дослідження як елементів системи так і системи автоматизації в цілому. Найбільш ефективним методом моделювання систем автоматизації є математичне (аналітичне та імітаційне) моделювання. Імітаційне моделювання передбачає використання комп'ютерних програм для поточного відображення стану системи, а також для прогнозування її режиму роботи в різних режимах її експлуатації. Також, такі моделі є ефективним засобом для вдосконалення систем автоматизації.

Методичні вказівки передбачають виконання лабораторних робіт, що відображають моделювання основних типів систем автоматизації.

Лабораторна робота № 5. Дослідження моделі системи автоматичного регулювання витрати

5.1 Мета роботи

Навчитись створювати моделі системи автоматичного управління витратою. Удосконалити вміння вибирати вид управляючого пристрою та визначати його оптимальні параметри.

5.2 Теоретичні відомості

Система автоматичного регулювання витрати речовини є однією з найважливіших, оскільки цей параметр використовується для зведення матеріальних балансів в теплообмінних, хімічних та інших масообмінних процесах.

Для створення математичної моделі трубопроводу розглянемо елемент трубопроводу довжиною L та площею поперечного перерізу S в якому протікає речовина густиною ρ та динамічною в'язкістю μ . При створенні математичної моделі трубопроводу вважатимемо, що:

1. рідина абсолютно нестислива;
2. витрата по всій довжині трубопроводу є постійною;
3. величина абсолютного тиску змінюється лише по довжині трубопроводу.

Запишемо рівняння за другим законом Ньютона для елемента трубопроводу (рис. 5.1).

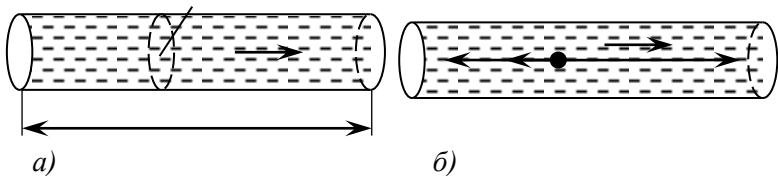


Рис. 5.1. Елемент трубопроводу

За другим законом Ньютона (рис. 5.1, а) можна записати:

$$m \frac{dv}{dt} = F_{BX} - F_{ВИХ} - F_{ОП} \quad (5.1)$$

де F_{BX} , $F_{ВИХ}$ - сили тиску на вході та виході з трубопроводу;

F_{OP} – сила опору трубопроводу.

Розділивши рівняння (1) на величину площі поперечного перерізу трубопроводу S отримаємо:

$$\frac{\rho L S}{S} \frac{dv}{dt} = \frac{F_{BX}}{S} - \frac{F_{ВИХ}}{S} - \frac{F_{OP}}{S},$$

або

$$\frac{\rho L}{S} \frac{d(Sv)}{dt} = p_{BX} - p_{ВИХ} - \Delta p_{OP}.$$

Звідки остаточно отримаємо рівняння динаміки трубопроводу:

$$\frac{\rho L}{S} \frac{dQ}{dt} = p_{BX} - p_{ВИХ} - \Delta p_{OP}. \quad (5.2)$$

де ρ – густина речовини в трубопроводі ($\text{кг}/\text{м}^3$); L і S – довжина (м) і площа поперечного перерізу (м^2) трубопроводу; Q – об'ємна витрата речовини через трубопровід ($\text{м}^3/\text{с}$); p_{BX} і $p_{ВИХ}$ тиск на вході та виході з трубопроводу (Па), Δp_{OP} – падіння тиску за рахунок сил опору трубопроводу (Па).

Втрати тиску опору складаються із статичного Δp_{OP}^{CT} (на зміну потенціальної енергії речовини за рахунок зміни геодезичного рівня між входом та виходом трубопроводу) та динамічного Δp_{OP}^D (на подолання сил тертя під час руху):

$$\Delta p_{OP} = \Delta p_{OP}^{CT} + \Delta p_{OP}^D. \quad (5.3)$$

Величина Δp_{OP}^{CT} визначається за співвідношенням:

$$\Delta p_{OP}^{CT} = \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (5.4)$$

де $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ – прискорення вільного падіння; Δh – різниця геодезичних рівнів входу та виходу трубопроводу.

Динамічні втрати складаються із місцевих Δp_{OP}^{DM} (зумовлених різкими змінами діаметрів трубопроводу, внаслідок встановлення діафрагм, клапанів, сенсорів) та розподілених Δp_{OP}^{DP} (зумовлених силами тертя при протіканні рідини по трубопроводу):

$$\Delta p_{ОП}^Д = \Delta p_{ОП}^{ДМ} + \Delta p_{ОП}^{ДР} \quad (5.5)$$

Місцеві втрати тиску можна визначити за співвідношенням:

$$\Delta p_{ОП}^{ДМ} = k \frac{Re^2 v^2 \rho}{d^2} = k \frac{\left(\frac{4Q\rho}{\pi d \mu}\right)^2 v^2 \rho}{d^2} = 16 \frac{k \cdot \rho}{\pi^2 d^4} Q^2 \quad (5.6)$$

де $k = 0,952$ -для нафтопродуктів, d – еквівалентний діаметр ділянки звуження

Розподілені втрати визначаються за співвідношенням:

$$\Delta p_{ОП}^{ДР} = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho g^2}{2} \quad (5.7)$$

де $\Delta p_{ОП}^{ДР}$ – розподілені втрати тиску (Па); g – швидкість (м/с) рідини в трубопроводі (кг/м³); L і D – довжина (м) і діаметр поперечного перерізу (м) трубопроводу; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя, безрозмірна величина, що характеризує співвідношення сил тертя і інерції.

Враховуючи, що $g = 4Q/\pi D^2$ (5.7), можна переписати у виді:

$$\Delta p_{ОП}^{ДР} = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho (4Q/\pi D^2)^2}{2} = 8 \cdot \lambda \cdot \frac{L \cdot \rho}{\pi^2 D^5} Q^2 \quad (5.8)$$

де Q – об'ємна витрата речовини через трубопровід (м³/с).

Значення коефіцієнта тертя λ залежить від режиму течії, який характеризується критерієм (числом) Рейнольдса:

$$Re = \frac{4Q\rho}{\pi D \mu} \quad (5.9)$$

де; μ – динамічна в'язкість (Па·с) рідини в трубопроводі.

В ламінарному режимі течії (при $Re < 2320$) коефіцієнт тертя визначається теоретично в відповідності з рівнянням Пуазейля:

$$\lambda_{лам} = \frac{64}{Re} \quad (5.10)$$

$$\Delta p_{ОП}^{ДР} = 8 \cdot \frac{64}{Re} \cdot \frac{L \cdot \rho}{\pi^2 D^5} Q^2 = \Delta p_{ОП}^{ДР} = 8 \cdot \frac{64}{\frac{4Q\rho}{\pi D \mu}} \cdot \frac{L \cdot \rho}{\pi^2 D^5} Q^2 = 128 \frac{\mu L}{\pi D^4} Q$$

При турбулентному режимі коефіцієнт тертя визначається за експериментальними співвідношеннями Блязіуса:

$$\lambda = (0,3164 \cdot Re)^{-0,25} \text{ для } 3000 < Re < 100000, \quad (5.11)$$

або

$$\lambda = 1,01 \cdot \lg(Re)^{-2,5} \text{ для } 4000 < Re < 6300000 \quad (5.12)$$

Співвідношення (10-12) достатні для опису течії в гідравлічно гладких трубах.

У випадку коли величина числа Рейнольдса набуває значень:

$$Re > 27(D/\xi)^{1,14}, \quad (5.13)$$

значення коефіцієнта тертя λ набуває постійного значення:

$$\lambda = 0,5 / (\lg(3,7D/\xi))^2 \quad (5.14)$$

де D – діаметр трубопроводу, ξ – нормативна еквівалентна шорсткість труби.

Значення величини ξ , яке залежить від матеріалу труби приведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Значення нормативної еквівалентної шорсткості для труб

Матеріал трубопроводу	ξ , мм
Сталь нова	0,1-0,2
Чавун новий	0,3
Сталь стара, чавун старий, кераміка	0,8-1,0
Бетоновані канали	0,8-9
Чисті скляні труби	0,0015-0,01
Гумовий шланг	0,01-0,03
Полімерна DN50 мм	0,005
Полімерна DN100 мм	0,01
Полімерна DN200 мм	0,015
Полімерна DN300 мм	0,025
Полімерна DN600 мм	0,035
Полімерна DN1200 мм	0,05

При перекачуванні газів в газопроводах низького тиску втрати тиску опору визначаються в залежності від режиму руху газу

по газопроводу, що характеризується числом Рейнольдса, яке визначається за співвідношеннями

$$Re = 0,0354 \frac{Q}{D\nu} \quad (5.15)$$

де Q – витрата газу в $м^3 / год$ при температурі $0^{\circ}C$ і тиску $0,10132$ МПа, D – внутрішній діаметр газопроводу в $см$, ν – кінематична в'язкості газу в $м^2 / с$ (при температурі $0^{\circ}C$ і тиску $0,10132$ МПа).

В залежності від значення Рейнольдса падіння тиску в газопроводах визначається за формулами:

$$\Delta P_{on} = 1,132 \cdot 10^6 \frac{\nu \rho L}{D^4} Q \quad \text{для } Re < 2000, \quad (5.16)$$

$$\Delta P_{on} = 0,516 \frac{\rho L}{D^{5,333} \nu^{0,333}} Q^{2,333} \quad \text{для } 2000 < Re < 4000, \quad (5.17)$$

$$\Delta P_{on} = 69 \left(\frac{n}{D} + 1922 \frac{\nu D}{Q} \right)^{0,25} \frac{\rho L}{D^5} Q^2 \quad \text{для } Re > 4000, \quad (5.18)$$

де ΔP_{on} – падіння тиску в $Па$, ρ – густина газу в $кг / м^3$ при температурі $0^{\circ}C$ та тиску $0,10132$ МПа, L – довжина газопроводу в $м$, n – еквівалентна абсолютна шорсткість внутрішньої поверхні стінки (для сталевих труб $n = 0,01$, для поліетиленових труб $n = 0,02$), Q – витрата газу в $м^3 / год$ при температурі $0^{\circ}C$ і тиску $0,10132$ МПа, D – внутрішній діаметр газопроводу в $см$, ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості газу в $м^2 / с$ (при температурі $0^{\circ}C$ і тиску $0,10132$ МПа).

Практично використовуються три способи регулювання витрати:

- шляхом дроселювання потоку на лінії нагнітання;
- шляхом байпасування насосу;
- шляхом зміни швидкості обертання валу насоса.

Регулювання витрати шляхом дроселювання потоку на лінії нагнітання використовують у випадках, коли необхідно змінювати витрату при порівняно невеликих змінах тиску на лінії нагнітання $\Delta P \rightarrow 0$.

Функціональна схема системи при даному способі управління витратою має вид приведений на рис. 5.2.

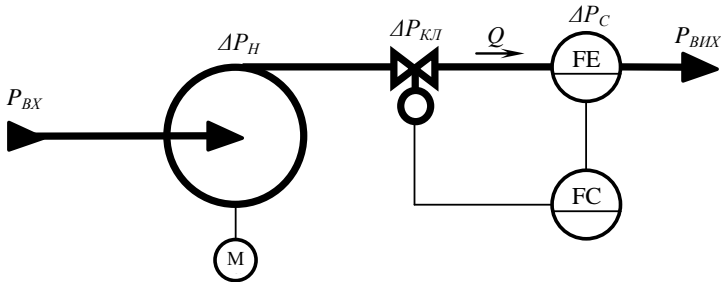


Рис. 5.2. Функціональна схема системи управління витратою шляхом дроселювання потоку на лінії нагнітання

Вона складається з трубопроводу, регулюючого клапана або заслінки, привода клапана (заслінки), регулятора та давача витрати.

Система управління працює наступним чином. Різниця тисків між входом та виходом сумарно з тиском насоса створює перепад тисків у трубопроводі. Сумарний перепад тиску в трубопроводі зумовлює рух рідини. Під час руху виникають розподілені втрати тиску в трубопроводі, та місцеві втрати на клапані та сенсори давача витрати. Давач витрати вимірює значення витрати та перетворює її в пропорційний уніфікований електричний сигнал, який передається на регулятор витрати. Регулятор порівнює отриманий сигнал давача із заданим та виробляє відповідно до закону управління сигнал керування приводом виконавчого механізму клапана. Виконавчий механізм клапана здійснює переміщення клапана. Зміна положення клапана зумовлює зміну перепаду тиску на клапані, яка в свою чергу зумовлює зміну витрати у трубопроводі.

Структурна схема контуру регулювання витрати матиме вид приведений на рис. 5.3.

Рівняння руху рідини в трубопроводі для даного випадку набуде виду:

$$\frac{\rho L}{S} \frac{dQ}{dt} = p_{B\text{X}} - p_{B\text{ИX}} + \Delta p_{\text{H}} - \Delta p_{\text{ОП}} - \Delta p_{\text{КЛ}} - \Delta p_{\text{С}}, \quad (5.19)$$

де L – загальна довжина трубопроводу від точки з тиском $p_{B\text{X}}$ до точки з тиском $p_{B\text{ИX}}$, в м; S – площа поперечного перерізу

трубопроводу, в m^2 ; $p_{ВХ}$ – абсолютний тиск на вході у трубопровід, в $Па$; $p_{ВИХ}$ – абсолютний тиск на виході з трубопроводу, в $Па$; Δp_H – надлишковий тиск створюваний насосом, в $Па$; $\Delta p_{ОП}$ – втрати тиску опору в трубопроводі, в $Па$; $\Delta p_{КЛ}$ – втрати тиску на регулюючому клапані або заслінці, в $Па$; Δp_C – втрати тиску на сенсорі давача витрати, в $Па$.

Математична модель системи регулювання витрати шляхом байпасування насосу

Регулювання витрати шляхом байпасування доцільно використовувати коли продуктивність насоса близька до продуктивності трубопроводу $Q_f \approx Q_\delta$.

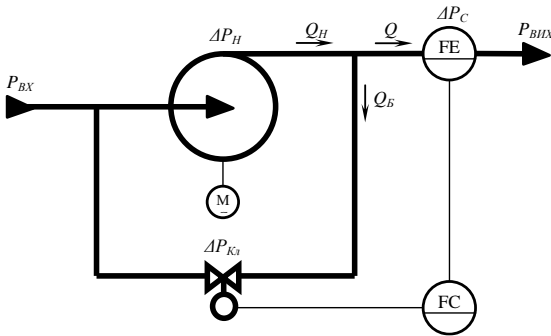


Рис. 5.3. Функціональна схема системи управління витратою шляхом дроселювання потоку на лінії байпасування

На основі функціональної схеми побудуємо структурну схему.

Запишемо рівняння руху рідини для трубопроводу

$$\frac{\rho L}{S} \frac{dQ}{dt} = p_{вх} + \Delta p_H - \Delta p_{оп} - p_{вих} - \Delta p_C.$$

Для лінії байпасування можна записати

$$\frac{\rho L_{\delta}}{S_{\delta}} \frac{dQ_{\delta}}{dt} = \Delta p_H - \Delta p_{оп_{\delta}} - \Delta p_{Кл}.$$

Записавши рівняння нерозривності потоку для вузла, отримаємо

$$Q_H = Q + Q_B$$

5.3 Програма роботи

1. Розробити структурну схему системи управління витратою.
2. Побудувати імітаційну модель в середовищі в додатку Simulink програми Matlab.
3. Побудувати перехідні характеристики.

5.4 Порядок виконання роботи

1. Розробити структурну схему системи управління витратою для свого варіанту.
2. Скласти математичні моделі елементів системи управління.
3. На основі отриманих математичних моделей елементів розробити імітаційну модель в середовищі в додатку Simulink програми Matlab.
4. Задати параметри імітаційної моделі системи згідно варіанту.
5. Задати значення параметру приведенного в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Значення параметрів при регулюванні витрати

Спосіб управління витратою	Назва параметру	Значення параметру
Дроселювання	Кут повороту заслінки	φ_{max}
Зміна швидкості обертання	Номінальне значення швидкості обертання валу насоса згідно варіанту	n_n
Байпасування	Кут повороту заслінки,	φ_{min}

6. Провести імітаційне моделювання системи при значеннях параметрів приведених в таблиці п.5.

7. На основі проведеного моделювання по усталеному значенню витрати визначити максимально можливу витрату рідини в трубопроводі Q_{max} для свого варіанту.

8. Під'єднати блок управління виконавчим механізмом системи управління витратою.

9. Почергово, використовуючи блок step, задати параметри зміни витрати приведені та визначити кут повороту заслінки (при

дроселюванні чи байпасуванні) або швидкість обертання валу насоса в усталеному режимі, отримане значення витрати та тривалість перехідного процесу. Отримані значення привести в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Таблиця отриманих результатів

Задати	Визначити		
	$Q_{уст}$, $м^3 / год$	$\varphi_{уст}$, <i>град</i> ($n_{уст}$, <i>об / хв</i>)	Тривалість перехідного процесу t_n , <i>с</i>
$Q_3 = \begin{cases} 0, & \text{при } t \leq 0 \\ 0,2 \cdot Q_{max}, & \text{при } t > 0 \end{cases}$			
$Q_3 = \begin{cases} 0,2 \cdot Q_{max}, & \text{при } t \leq t_{П\ 0-0,2} \\ 0,4 \cdot Q_{max}, & \text{при } t > t_{П\ 0-0,2} \end{cases}$			
$Q_3 = \begin{cases} 0,4 \cdot Q_{max}, & \text{при } t \leq t_{П\ 0-0,2} + t_{П\ 0,2-0,4} \\ 0,6 \cdot Q_{max}, & \text{при } t > t_{П\ 0-0,2} + t_{П\ 0,2-0,4} \end{cases}$			
$Q_3 = \begin{cases} 0,6 \cdot Q_{max}, & \text{при } t \leq t_{П\ 0-0,2} + t_{П\ 0,2-0,4} + t_{П\ 0,4-0,6} \\ 0,8 \cdot Q_{max}, & \text{при } t > t_{П\ 0-0,2} + t_{П\ 0,2-0,4} + t_{П\ 0,4-0,6} \end{cases}$			
$Q_3 = \begin{cases} 0,8 \cdot Q_{max}, & \text{при } t \leq t_{П\ 0-0,2} + t_{П\ 0,2-0,4} + t_{П\ 0,4-0,6} + t_{П\ 0,6-0,8} \\ 0,99 \cdot Q_{max}, & \text{при } t > t_{П\ 0-0,2} + t_{П\ 0,2-0,4} + t_{П\ 0,4-0,6} + t_{П\ 0,6-0,8} \end{cases}$			

Примітка: $t_{П\ i-j}$ – тривалість перехідного процесу при зміні витрати з $i \cdot Q_{max}$ до $j \cdot Q_{max}$.

10. На основі отриманих результатів досліджень побудувати залежності кута повороту заслінки (швидкості обертання валу насоса) від витрати $\varphi_{уст}(Q_{уст})$ ($n_{уст}(Q_{уст})$) та тривалості перехідного процесу від витрати $t_{П}(Q_{уст})$ в усталених режимах.

5.5 Обладнання та програмне забезпечення: персональний комп'ютер, програма Matlab.

Опрацювання результатів роботи зводиться до наступного:

Зобразити функціональну схему системи управління, імітаційну модель системи в додатку Simulink програми Matlab, отримані розгінні характеристики.

5.6 Контрольні запитання

1. Який вигляд рівняння динаміки трубопроводу?
2. Від яких параметрів залежать втрати тиску при перекачуванні рідини?
3. Що характеризує коефіцієнт гідравлічного тертя?
4. За яким співвідношенням визначається коефіцієнт тертя в турбулентному режимі?
5. Від яких параметрів залежить нормативна еквівалентна шорсткість труби?
6. За якими формулами визначається падіння тиску в газопроводах?
7. Від чого залежать втрати тиску при перекачуванні газів?
8. Які є способи регулювання витрати?
9. В яких випадках використовується регулювання витрати шляхом дроселювання потоку на лінії нагнітання?
10. В яких випадках використовується регулювання витрати шляхом дроселювання?

Лабораторна робота № 6. Дослідження моделей системи автоматичного регулювання рівня

6.1 Мета роботи

Навчитись створювати моделі систем автоматичного регулювання рівня

6.2 Теоретичні відомості

Розглянемо резервуар із площею основи S в який поступає рідина з витратами на вході Q_{BX} та виході $Q_{ВИХ}$.

Об'єм рідини ΔV , який міститиметься в резервуарі за час Δt визначимо за співвідношенням:

$$\Delta V = (Q_{вх} - Q_{вих}) \Delta t$$

При $\Delta t \rightarrow 0$ дане рівняння набуде виду:

$$\frac{dV}{dt} = Q_{вх} - Q_{вих}$$

Замінивши $V = S \cdot h$, отримаємо:

$$S \frac{dh}{dt} = Q_{вх} - Q_{вих} \quad (6.1)$$

Як відомо регулювання рівня рідини в резервуарі можна регулювати шляхом зміни витрати рідини на вході $Q_{вх}$ або виході $Q_{вих}$.

При регулюванні рівня шляхом зміни витрати на вході витрата рідини на виході зумовлена гідростатичним тиском стовпа води в резервуарі.

Витрату рідини на виході можна визначити записавши рівняння витрати для вихідного трубопроводу:

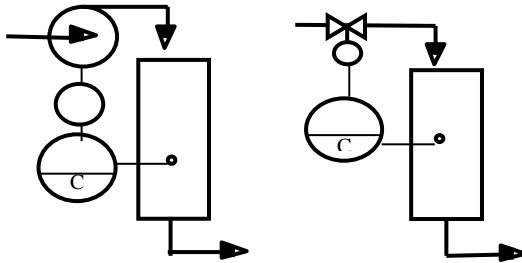


Рис. 6.1. Система автоматичного регулювання рівня шляхом зміни витрати на вході

$$S \frac{dh}{dt} = Q_{вх} - Q_{вих}, \quad \frac{\rho L}{S} \frac{dQ_{ВХ}}{dt} = p_{ВХ} - p_p - \Delta p_{ОП},$$

$$\frac{\rho L}{S} \frac{dQ_{ВИХ}}{dt} = p_p + \Delta p_{ГС} - p_{ВИХ} - \Delta p_{ОП_ВИХ},$$

$$\Delta p_{ОП} = k \frac{16 \cdot k \cdot \rho}{\pi^2 d^4} Q^2 + 128 \cdot \lambda \cdot \frac{L \cdot \rho}{\pi^2 \cdot D^5} \cdot Q^2$$

$$\Delta p_{тр} = \frac{128}{\pi} \frac{L}{D} \mu Q_{вх}$$

При регулюванні рівня шляхом зміни витрати на виході математична модель системи регулювання рівня складається з рівняння (6.1):

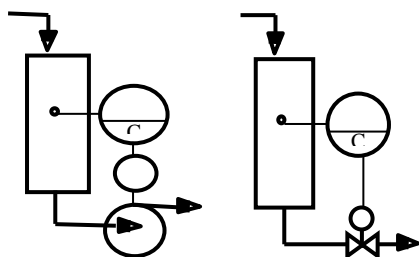


Рис. 6.2 Система автоматичного регулювання рівня шляхом зміни витрати на виході

та рівняння для вихідного трубопроводу.

Яке при керуванні витратою шляхом дроселювання має вид:

$$\frac{\rho L}{S} \frac{dQ_{вих}}{dt} = \Delta p_{mp} - \Delta p_m - K_{рк} \frac{\rho}{s_{рк}} Q_{вих}^2 \quad (6.2)$$

де тиск $\Delta p_{mp} = \rho gh$.

При керуванні витратою шляхом зміни швидкості обертання валу насоса набуває виду:

$$\frac{\rho L}{S} \frac{dQ_{вих}}{dt} = \Delta p_{mp} - \Delta p_m + \Delta p_n(Q, n) \quad (6.3)$$

6.3 Програма роботи

1. Розробити модель замкненої системи автоматичного регулювання.
2. Побудувати імітаційну модель в середовищі в додатку Simulink програми Matlab.
3. Здійснити аналіз замкненої системи.

6.4 Порядок виконання роботи

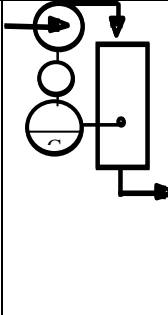
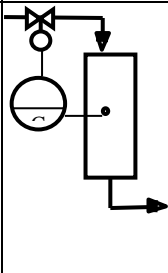
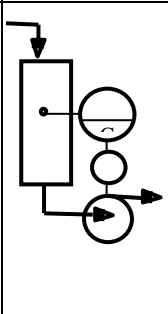
1. Розрахувати сталі часу та коефіцієнт передачі системи керування за даними згідно свого варіанту (табл. 6.1).
2. Набрати в системі Matlab замкнуту систему автоматичного регулювання, як показано.
3. На місце блоку “Закон регулювання” поставити блок з

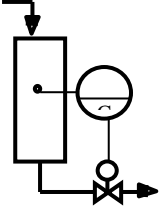
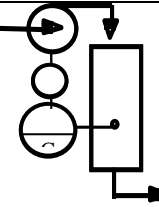
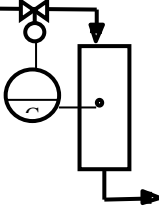
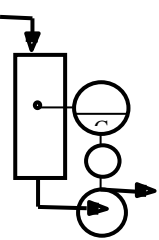
функцією передачі П - регулятора і проаналізувати роботу замкнутої системи, підставляючи різні значення коефіцієнтів настроювання регулятора.

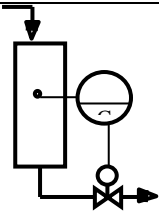
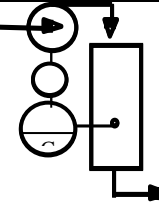
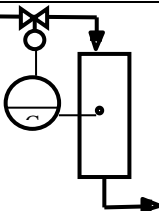
4. Зняти вказані викладачем перехідні процеси і на їх основі написати висновки.

Таблиця 6.1

Сталі часу та коефіцієнт передачі системи

№	Тип системи регулювання	Параметри трубопроводу
1		$D_{BX} = 25 \text{ мм}, L_{BX} = 100 \text{ м}, P_{BX} = 0 \text{ МПа},$ $D_{ВИХ} = 20 \text{ мм}, L_{ВИХ} = 100 \text{ м},$ $P_{ВИХ} = 0 \text{ МПа}, D_p = 0,5 \text{ м}, h_p = 2,5 \text{ м},$ $P_p = 0 \text{ МПа},$ Помпа: МХV 25-204, $(n_n = 2900 \text{ об/хв}),$ Привод помпи: _____, Регулятор: _____, Давач рівня: _____, Речовина: вода
2		$D_{BX} = 25 \text{ мм}, L_{BX} = 100 \text{ м}, P_{BX} = 0,6 \text{ МПа},$ $D_{ВИХ} = 20 \text{ мм}, L_{ВИХ} = 100 \text{ м},$ $P_{ВИХ} = 0 \text{ МПа}, D_p = 0,5 \text{ м}, h_p = 2,5 \text{ м},$ $P_p = 0 \text{ МПа},$ Клапан: SYLAX DN 25, Привод клапана: Valpes ER10, Регулятор: ____, Давач рівня: _____ Речовина: вода
3		$D_{BX} = 25 \text{ мм}, L_{BX} = 100 \text{ м}, P_{BX} = ______ \text{ МПа},$ $D_{ВИХ} = 25 \text{ мм}, L_{ВИХ} = 100 \text{ м},$ $P_{ВИХ} = 0 \text{ МПа}, D_p = 0,5 \text{ м}, h_p = 2,5 \text{ м},$ $P_p = 0 \text{ МПа}$ Помпа: МХV 25-204 $(n_n = 1450 \text{ об/хв})$ Привод помпи: _____, Регулятор: _____ Давач рівня: _____, Речовина: вода

1	2	3
4		<p> $D_{BX} = 25 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{BX} = \text{___ МПа}$, $D_{ВНХ} = 25 \text{ мм}$, $L_{ВНХ} = 100 \text{ м}$, $P_{ВНХ} = 0 \text{ МПа}$, $D_p = 0,5 \text{ м}$, $h_p = 2,5 \text{ м}$, $P_p = 0 \text{ МПа}$ Клапан: SYLAX DN 25, Привод клапана: Valpes VR25, Регулятор: _____, Давач рівня: _____ Речовина: вода </p>
5		<p> $D_{BX} = 32 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{BX} = 0 \text{ МПа}$, $D_{ВНХ} = 25 \text{ мм}$, $L_{ВНХ} = 100 \text{ м}$, $P_{ВНХ} = 0 \text{ МПа}$, $D_p = 0,6 \text{ м}$, $h_p = 3,2 \text{ м}$, $P_p = 0 \text{ МПа}$ Помпа: МХV 32-404 ($n_n = 2900 \text{ об/хв}$) Привод помпи: _____, Регулятор: _____ Давач рівня: _____, Речовина: вода </p>
6		<p> $D_{BX} = 32 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{BX} = 0,6 \text{ МПа}$, $D_{ВНХ} = 25 \text{ мм}$, $L_{ВНХ} = 100 \text{ м}$, $P_{ВНХ} = 0 \text{ МПа}$, $D_p = 0,6 \text{ м}$, $h_p = 3,2 \text{ м}$, $P_p = 0 \text{ МПа}$ Клапан: SYLAX DN 32, Привод клапана: Belimo SM230A, Регулятор: _____, Давач рівня: _____ Речовина: вода </p>
7		<p> $D_{BX} = 32 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{BX} = \text{___ МПа}$, $D_{ВНХ} = 32 \text{ мм}$, $L_{ВНХ} = 100 \text{ м}$, $P_{ВНХ} = 0 \text{ МПа}$, $D_p = 0,6 \text{ м}$, $h_p = 3,2 \text{ м}$, $P_p = 0 \text{ МПа}$ Помпа: МХV 32-404 ($n_n = 1450 \text{ об/хв}$) Привод помпи: _____, Регулятор: _____ Давач рівня: _____, Речовина: вода </p>

1	2	3
8		<p> $D_{BX} = 32 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{BX} = \text{___ МПа}$, $D_{ВИХ} = 32 \text{ мм}$, $L_{ВИХ} = 100 \text{ м}$, $P_{ВИХ} = 0 \text{ МПа}$, $D_p = 0,6 \text{ м}$, $h_p = 3,2 \text{ м}$, $P_p = 0 \text{ МПа}$, Клапан: SYLAX DN 32, Привод клапана: Bernard OA3, Регулятор: _____, Давач рівня: _____, Речовина: вода </p>
9		<p> $D_{BX} = 40 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{BX} = 0 \text{ МПа}$, $D_{ВИХ} = 32 \text{ мм}$, $L_{ВИХ} = 100 \text{ м}$, $P_{ВИХ} = 0 \text{ МПа}$, $D_p = 0,8 \text{ м}$, $h_p = 4,0 \text{ м}$, $P_p = 0 \text{ МПа}$ Помпа: MXV 40-804 ($n_n = 2900 \text{ об/хв}$) Привод помпи: _____, Регулятор: _____ Давач рівня: _____, Речовина: вода </p>
10		<p> $D_{BX} = 40 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{BX} = 0,6 \text{ МПа}$, $D_{ВИХ} = 32 \text{ мм}$, $L_{ВИХ} = 100 \text{ м}$, $P_{ВИХ} = 0 \text{ МПа}$, $D_p = 0,8 \text{ м}$, $h_p = 4,0 \text{ м}$, $P_p = 0 \text{ МПа}$ Клапан: SYLAX DN 40, Привод клапана: Valpes VR25, Регулятор: _____, Давач рівня: _____ Речовина: вода </p>

6.5 Обладнання та програмне забезпечення: персональний комп'ютер, програма Matlab.

Опрацювання результатів роботи зводиться до наступного:
 Зобразити схему системи управління, імітаційну модель системи в додатку Simulink програми Matlab, побудувати характеристики.

6.6 Контрольні запитання

1. Чому рівна швидкість зміни об'єму рідини в резервуарі?
2. Чому рівна стала часу одноємнісного резервуару з клапаном на виході?
3. На яку величину відстає зміна рівня рідини в вимірjuвальній камері від зміни рівня в резервуарі для двоємнісного об'єкта регулювання?
4. Який вигляд має функція передачі для двоємнісного об'єкта регулювання?
5. Чому рівна стала часу для двоємнісного об'єкта регулювання?
6. Як можна автоматично регулювати рівень рідини в резервуарі?
7. Який вигляд математичної моделі системи регулювання рівня шляхом зміни витрати на виході?
8. Який вигляд математичної моделі системи регулювання рівня шляхом зміни витрати на вході?
9. Чим зумовлена зміна витрати на виході при регулюванні рівня шляхом зміни витрати на вході?
10. Чим зумовлена зміна витрати на вході при регулюванні рівня шляхом зміни витрати на виході?

Лабораторна робота №7. Дослідження моделей системи автоматичного регулювання тиску

7.1 Мета роботи

Навчитись створювати моделі систем автоматичного регулювання тиску

7.2. Теоретичні відомості

Розглянемо резервуар об'ємом V_p в який надходить газ із масовою витратою F_{BX} і виходить з витратою $F_{ВИХ}$.

Згідно рівняння Менделєєва-Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (7.1)$$

де p – тиск газу в резервуарі, V – об’єм резервуару; m – маса газу в резервуарі, M – молярна маса газу, R – універсальна газова стала, T – абсолютна температура.

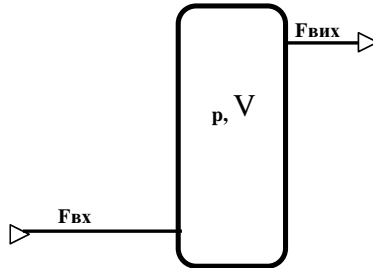


Рис. 7.1. Схема резервуара

Відповідно, при постійному об’ємі та температурі, залежність швидкість зміни тиску в ємності визначатиметься:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{dm}{dt} \cdot \frac{R \cdot T}{M \cdot V} \quad (7.2)$$

Швидкість зміни маси газу в ємності визначиться як:

$$\frac{dm}{dt} = F_{BX} - F_{ВИХ}$$

Тоді (.2) набуде виду

$$\frac{dp}{dt} = \frac{R \cdot T}{M \cdot V} \cdot (F_{BX} - F_{ВИХ}) \quad (7.3)$$

де F_{BX} і $F_{ВИХ}$ – номінальні масові витрати газу на вході і виході з резервуару.

Таким чином тиск у резервуарі можна регулювати шляхом зміни масової витрати газу на вході або на виході.

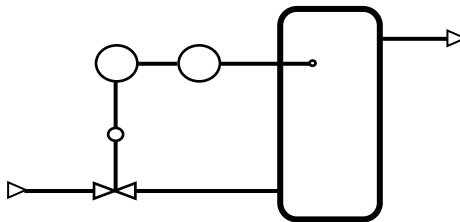


Рис. 7.2 Функціональна схема регулювання тиску в ємності шляхом регулювання витрати на вході

Для вхідного трубопроводу можна записати:

$$\frac{L}{S} \frac{dF_{6x}}{dt} = p_{6x} - p_{вих} - \Delta p_m - \Delta p_{рк}, \quad \Delta p_{рк} = \frac{\delta \cdot T}{P_c} \left(\frac{1.07Q}{K_v} \right)^2,$$

де $p_c = \frac{P_{вхкл} + P_{вихкл}}{2}$ – середнє значення тиску в клапані.

7.3 Програма роботи

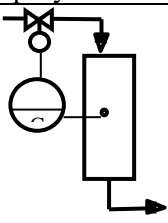
1. Розробити модель замкненої системи автоматичного регулювання.
2. Побудувати імітаційну модель в середовищі в додатку Simulink програми Matlab.
3. Здійснити аналіз замкненої системи.

7.4 Порядок виконання роботи

1. Розрахувати сталі часу та коефіцієнт передачі системи керування за даними згідно свого варіанту (табл. 7.1).
2. Набрати в системі Matlab замкнуту систему автоматичного регулювання, як показано на рисунку.
3. На місце блоку “Закон регулювання” поставити блок з функцією передачі П - регулятора і проаналізувати роботу замкненої системи, підставляючи різні значення коефіцієнтів настроювання регулятора.
4. Зняти вказані викладачем перехідні процеси і на їх основі написати висновки.

Таблиця 7.1

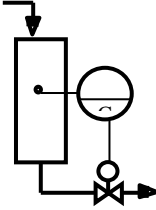
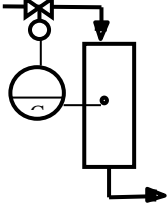
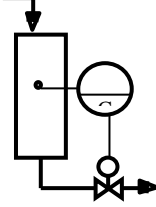
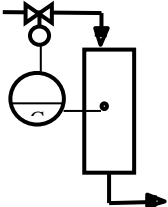
Сталі часу та коефіцієнт передачі системи керування

№	Тип системи регулювання	Параметри трубопроводу
1		$D_{вх} = 25 \text{ мм}, \quad L_{вх} = 100 \text{ м}, \quad P_{6x} = 0,6 \text{ МПа},$ $D_{вих} = 15 \text{ мм}, \quad L_{вих} = 100 \text{ м}, \quad P_{вих} = 0 \text{ МПа}$ $V_p = 0,25 \text{ м}^3, \quad P_p = 0,5 \text{ МПа}$ Клапан: SYLAX DN 25 . Привод клапана: Valpes ER10 , Регулятор: _____, Давач тиску: _____, Газ: _____

продовження табл. 7.1

<p>2</p>		<p>$D_{BX} = 25 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{вх} = 0,6 \text{ МПа}$, $D_{ВИХ} = 25 \text{ мм}$, $L_{ВИХ} = 100 \text{ м}$, $P_{вих} = 0 \text{ МПа}$ $V_p = 0,25 \text{ м}^3$, $P_p = 0,5 \text{ МПа}$ Клапан: SYLAX DN 25. Привод клапана: Valpes VR25 Регулятор: _____ Давач тиску: _____ Газ: _____</p>
<p>3</p>		<p>$D_{BX} = 32 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{вх} = 0,6 \text{ МПа}$, $D_{ВИХ} = 20 \text{ мм}$, $L_{ВИХ} = 100 \text{ м}$, $P_{вих} = 0 \text{ МПа}$ $V_p = 0,32 \text{ м}^3$, $P_p = 0,5 \text{ МПа}$ Клапан: SYLAX DN 32. Привод клапана: Belimo SM230A Регулятор: _____ Давач тиску: _____ Газ: _____</p>
<p>4</p>		<p>$D_{BX} = 32 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{вх} = 0,6 \text{ МПа}$, $D_{ВИХ} = 32 \text{ мм}$, $L_{ВИХ} = 100 \text{ м}$, $P_{вих} = 0 \text{ МПа}$ $V_p = 0,32 \text{ м}^3$, $P_p = 0,5 \text{ МПа}$ Клапан: SYLAX DN 32. Привод клапана: Bernard OA3 Регулятор: _____ Давач тиску: _____ Газ: _____</p>
<p>5</p>		<p>$D_{BX} = 40 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{вх} = 0,6 \text{ МПа}$, $D_{ВИХ} = 25 \text{ мм}$, $L_{ВИХ} = 100 \text{ м}$, $P_{вих} = 0 \text{ МПа}$ $V_p = 0,4 \text{ м}^3$, $P_p = 0,5 \text{ МПа}$ Клапан: SYLAX DN 40. Привод клапана: Valpes VR25 Регулятор: _____ Давач тиску: _____ Газ: _____</p>

продовження табл. 7.1

6		<p>$D_{BX} = 40 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{вх} = 0,6 \text{ МПа}$, $D_{ВИХ} = 40 \text{ мм}$, $L_{ВИХ} = 100 \text{ м}$, $P_{вих} = 0 \text{ МПа}$ $V_p = 0,4 \text{ м}^3$, $P_p = 0,5 \text{ МПа}$ Клапан: SYLAX DN 40. Привод клапана: Valpes ER20 Регулятор: _____ Давач тиску: _____ Газ: _____</p>
7		<p>$D_{BX} = 50 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{вх} = 0,6 \text{ МПа}$, $D_{ВИХ} = 32 \text{ мм}$, $L_{ВИХ} = 100 \text{ м}$, $P_{вих} = 0 \text{ МПа}$ $V_p = 0,5 \text{ м}^3$, $P_p = 0,5 \text{ МПа}$ Клапан: SYLAX DN 50. Привод клапана: Bernard OA3, Регулятор: _____, Давач тиску: _____, Газ: _____</p>
8		<p>$D_{BX} = 50 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{вх} = 0,6 \text{ МПа}$, $D_{ВИХ} = 50 \text{ мм}$, $L_{ВИХ} = 100 \text{ м}$, $P_{вих} = 0 \text{ МПа}$ $V_p = 0,5 \text{ м}^3$, $P_p = 0,5 \text{ МПа}$ Клапан: SYLAX DN 50. Привод клапана: Belimo SM230A Регулятор: _____ Давач тиску: _____ Газ: _____</p>
9		<p>$D_{BX} = 65 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{вх} = 0,6 \text{ МПа}$, $D_{ВИХ} = 40 \text{ мм}$, $L_{ВИХ} = 100 \text{ м}$, $P_{вих} = 0 \text{ МПа}$ $V_p = 0,65 \text{ м}^3$, $P_p = 0,5 \text{ МПа}$ Клапан: SYLAX DN 65. Привод клапана: Valpes ER35 Регулятор: _____ Давач тиску: _____ Газ: _____</p>

продовження табл. 7.1

10		$D_{BX} = 65 \text{ мм}$, $L_{BX} = 100 \text{ м}$, $P_{вх} = 0,6 \text{ МПа}$, $D_{ВИХ} = 65 \text{ мм}$, $L_{ВИХ} = 100 \text{ м}$, $P_{вих} = 0 \text{ МПа}$ $V_p = 0,65 \text{ м}^3$, $P_p = 0,5 \text{ МПа}$ Клапан: SYLAX DN 65 . Привод клапана: Valpes VR45 Регулятор: _____ Давач тиску: _____ Газ: _____
----	--	---

7.5 Обладнання та програмне забезпечення: персональний комп'ютер, програма Matlab.

Опрацювання результатів роботи зводиться до наступного:

Зобразити схему системи управління, імітаційну модель системи в додатку Simulink програми Matlab, побудувати характеристики.

7.6 Контрольні запитання

1. Який вигляд має математична модель ємності з газом?
2. За яким співвідношенням, при постійному об'ємі та температурі, визначається швидкість зміни тиску в ємності?
3. За яким співвідношенням визначається швидкість зміни маси газу в ємності?
4. Як можна регулювати тиск у резервуарі?
5. Який вигляд має математична модель системи регулювання тиску шляхом зміни витрати на вході?
6. Який вигляд має математична модель системи регулювання тиску шляхом зміни витрати на виході?
7. Від яких параметрів залежить швидкість зміни тиску в ємності?
8. Від яких параметрів залежить швидкість зміни маси газу в ємності?
9. За яким співвідношенням визначається середнє значення тиску в клапані?
10. Яке рівняння покладене в основу моделювання системи автоматичного регулювання тиску?

Список рекомендованої літератури

1. Лазарев Ю. Ф. MATLAB і моделювання динамічних систем : навч. посіб. Київ : НТУУ “КПІ”, 2009. 79с.
2. Островерхов М. Я., Пижов В. М. Моделювання електромеханічних систем в “Simulink”. Київ : ВД СтилоС, 2008. 527 с.
3. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування : підручник. К. : Либідь, 2007. 656 с.
4. Моделювання електромеханічних систем : підручник / О.П. Чорний, А.В. Луговой, Д.Й. Родькін, Г.Ю. Сисюк, О.В. Садовой. Кременчук, 2001. 410 с.
5. Васильев В. В., Симак Л. А., Рибникова А. М. Математическое и компьютерное моделирование процессов и систем в среде Matlab/Simulink : учебное пособие для студентов и аспирантов. К.: НАН Украины, 2008. 91 с.
6. Дубовой В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об’єктів і систем керування : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2012. 308 с.