

# ДОПОВІДЬ

з магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: «СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ»

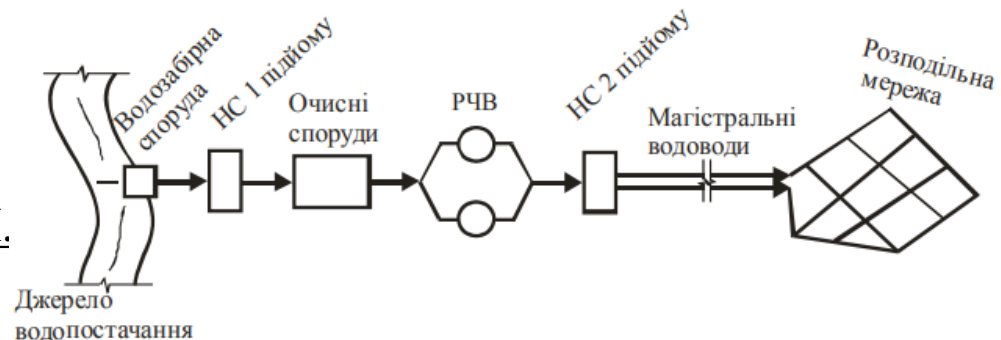
Виконав: студент 2 курсу, групи ЕПА-18м

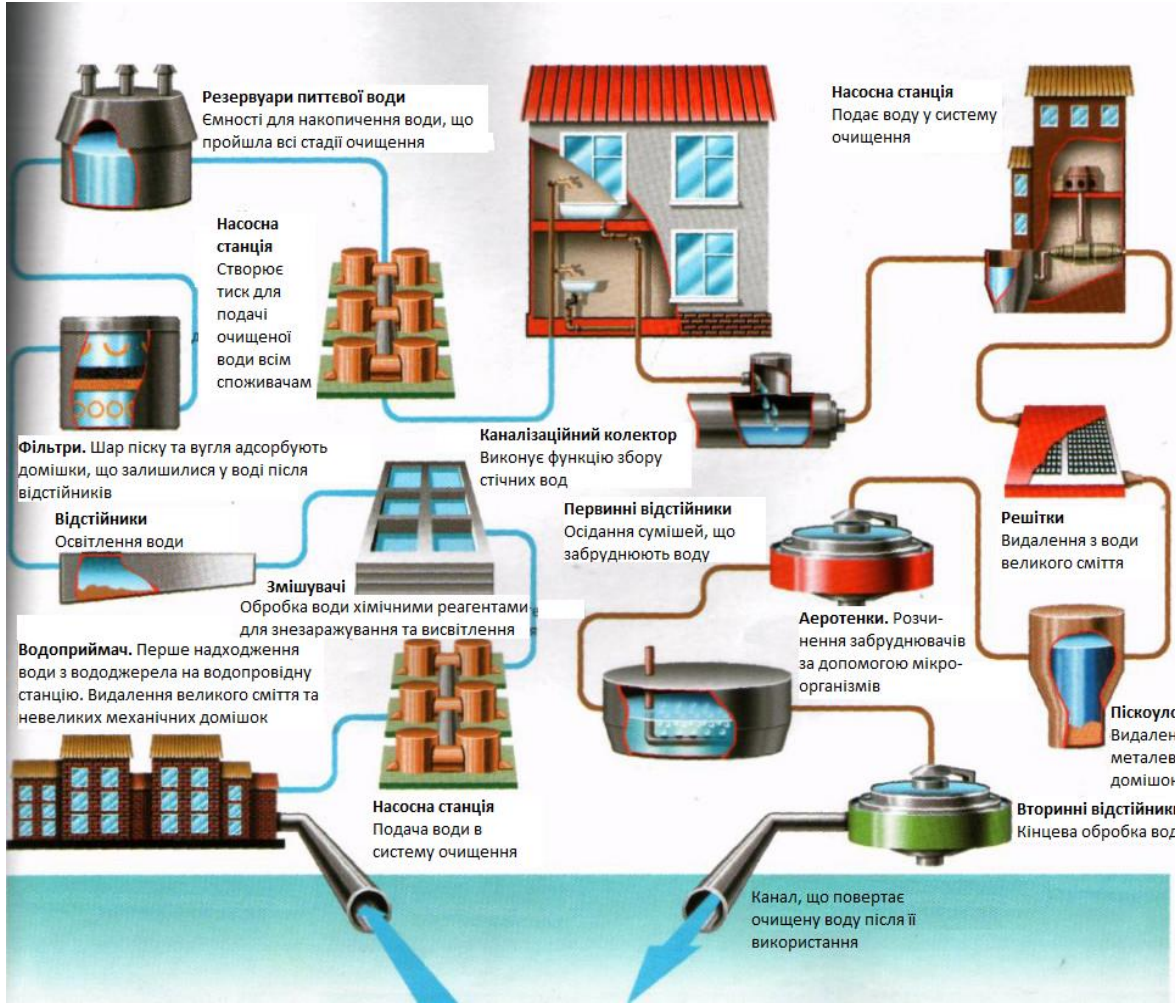
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

освітня програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

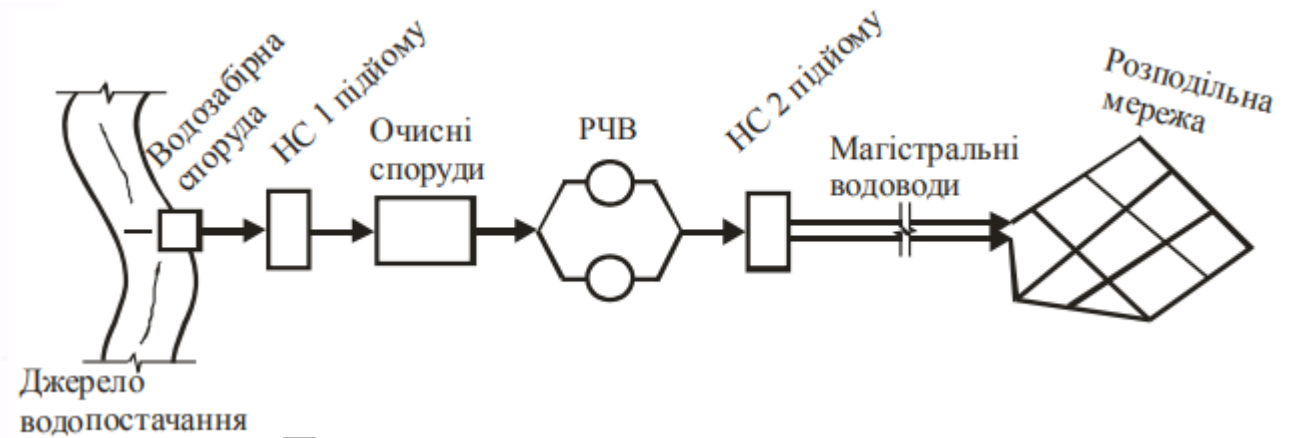
Горбань Андрій Сергійович

Керівник к.т.н., доц. Мошноріз М. М.





Колообіг води

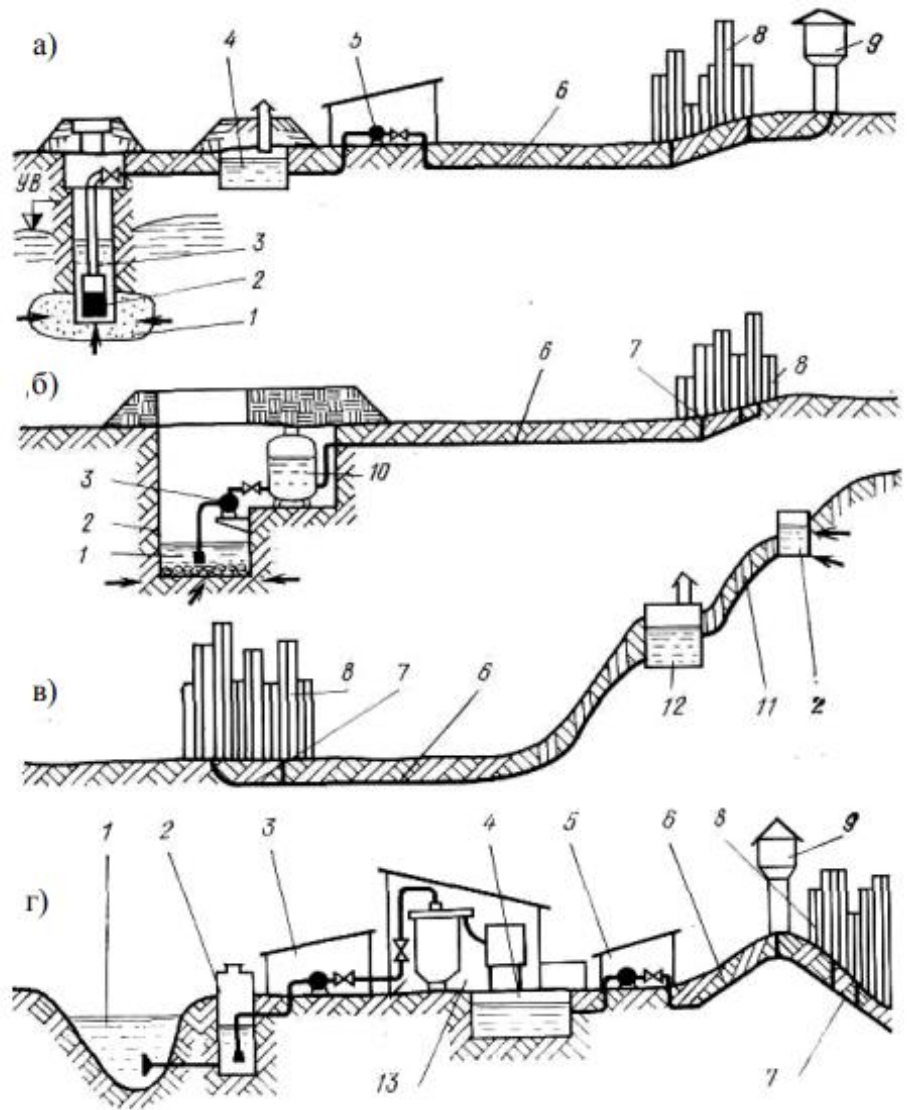


Принципова схема водопостачання

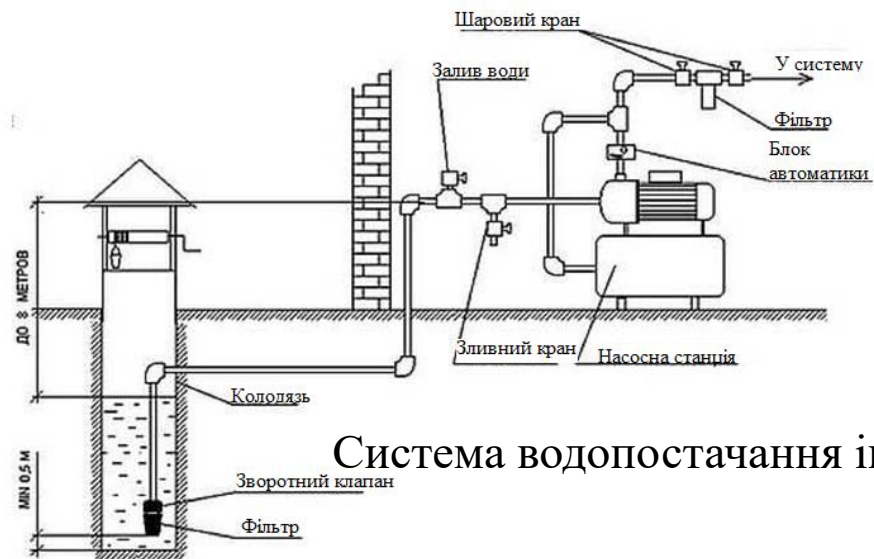


Класифікація систем транспортування води

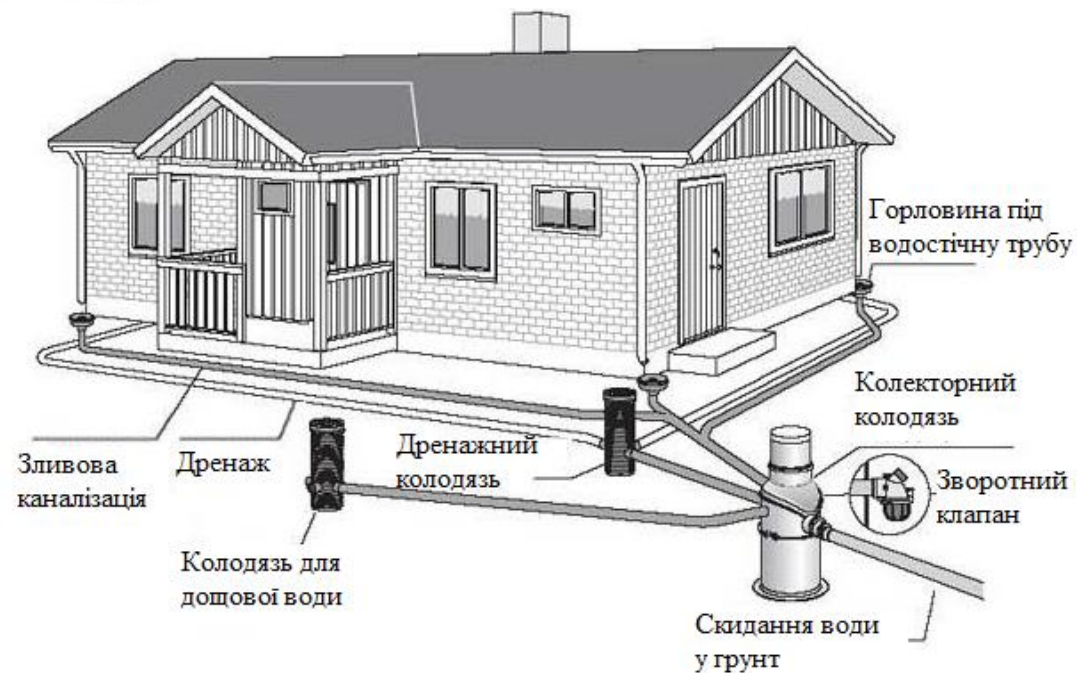
- **Метою роботи** є підвищення ефективності роботи системи транспортування води за рахунок раціонального керування електроприводами насосних станцій.
- **Об'єктом дослідження** є процес транспортування води у системі водопостачання при якому досягається висока ефективність роботи системи водопостачання.
- **Предметом дослідження** є математична модель системи водопостачання та методи підвищення ефективності роботи системи водопостачання.
- Для досягнення заданої мети в роботі необхідно розв'язати такі задачі:
  - 1. Провести аналіз існуючих систем транспортування води з метою виділення основних елементів, основних режимів роботи та основних способів підвищення ефективності роботи систем транспортування води.
  - 2. Розробити комплексний підхід до моделювання існуючих систем транспортування води.
  - 3. Розробити моделі основних елементів системи транспортування води з врахуванням комплексного підходу.
  - 4. Розробити модель системи транспортування води.
  - 5. Провести експеримент з метою підтвердження чи спростування існуючих способів підвищення ефективності роботи систем транспортування води.



Схеми водопостачання з підземного (а, б, в) і поверхневого (г) джерел



Система водопостачання індивідуального будинку



Система водовідведення дощової води самопливного типу індивідуальної будівлі

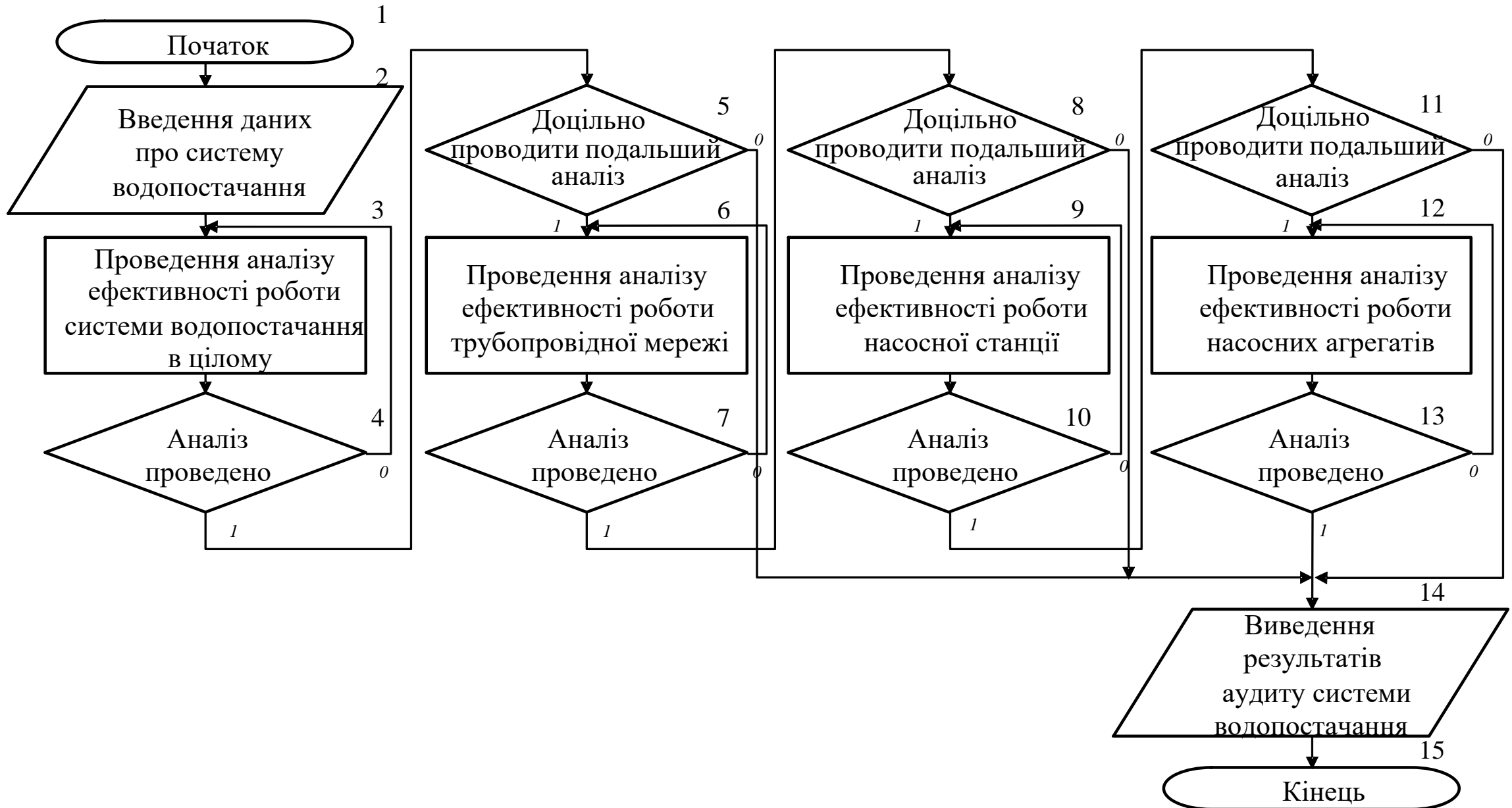
# ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання

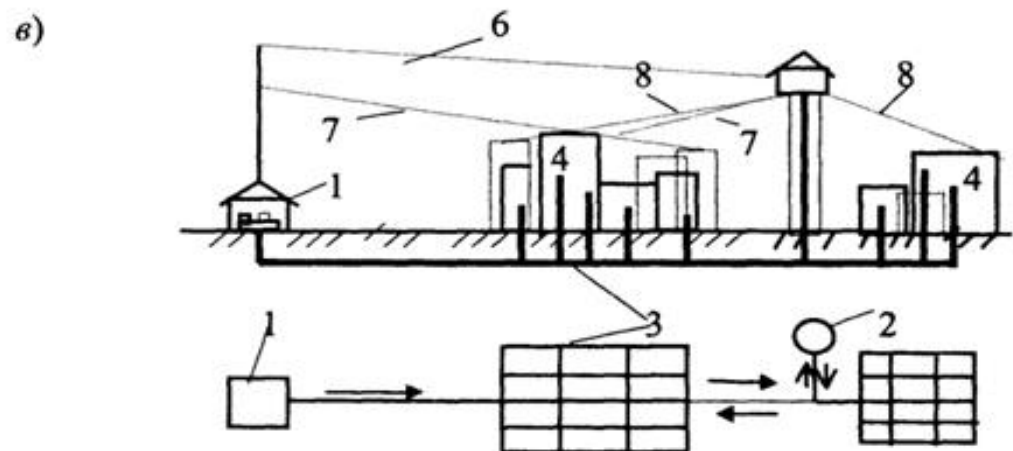
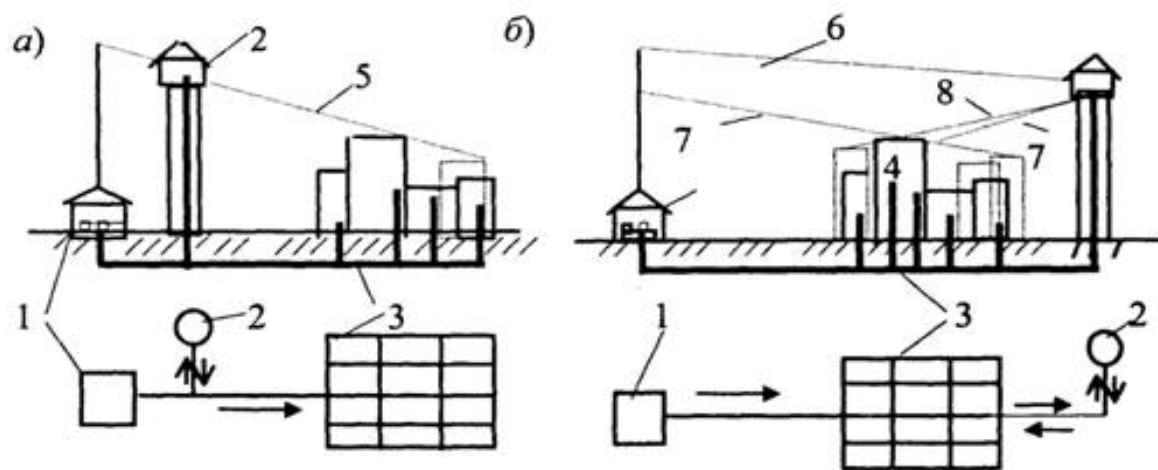
2. Регулювання продуктивності насосної станції з метою узгодження режиму роботи станції та споживача

3. Узгодження режимів роботи електроприводів насосних агрегатів між собою

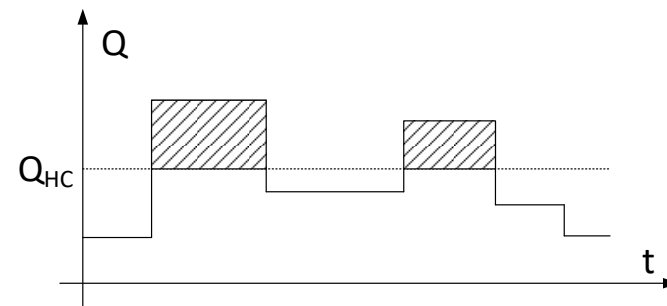
# Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання



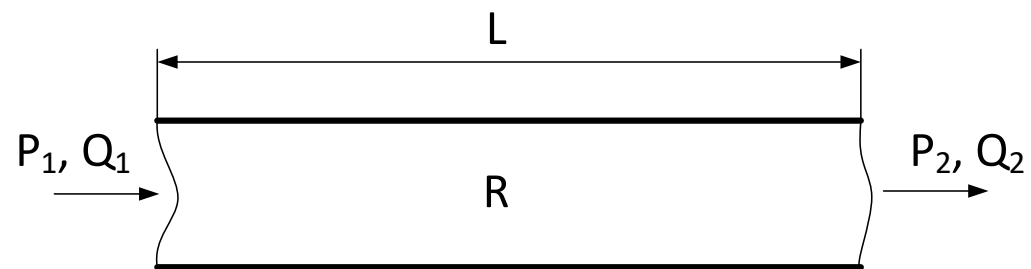
# Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання



Можливі способи розташування водонапірної вежі



Добовий графік водопостачання

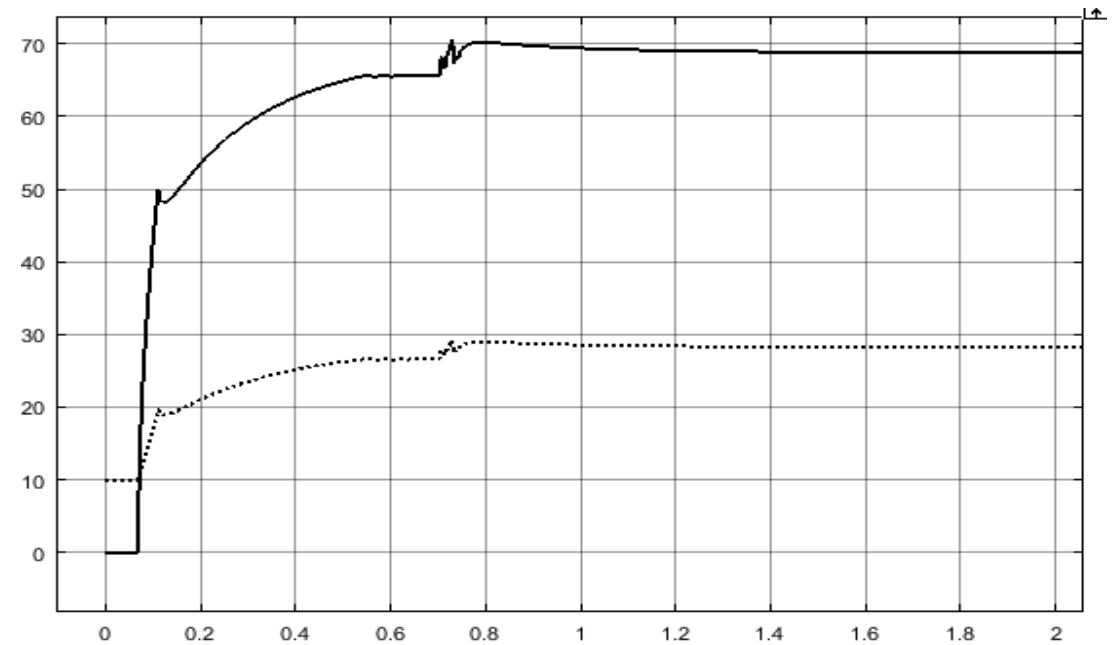


Ділянка водопровідної труби для діагностики її стану

$$\begin{cases} P_1 \neq P_2 + \Delta P_L, \\ Q_1 \neq Q_2, \end{cases}$$

де  $\Delta P_L = f(L, R)$ .

# Регулювання продуктивності насосної станції з метою узгодження режиму роботи станції та споживача

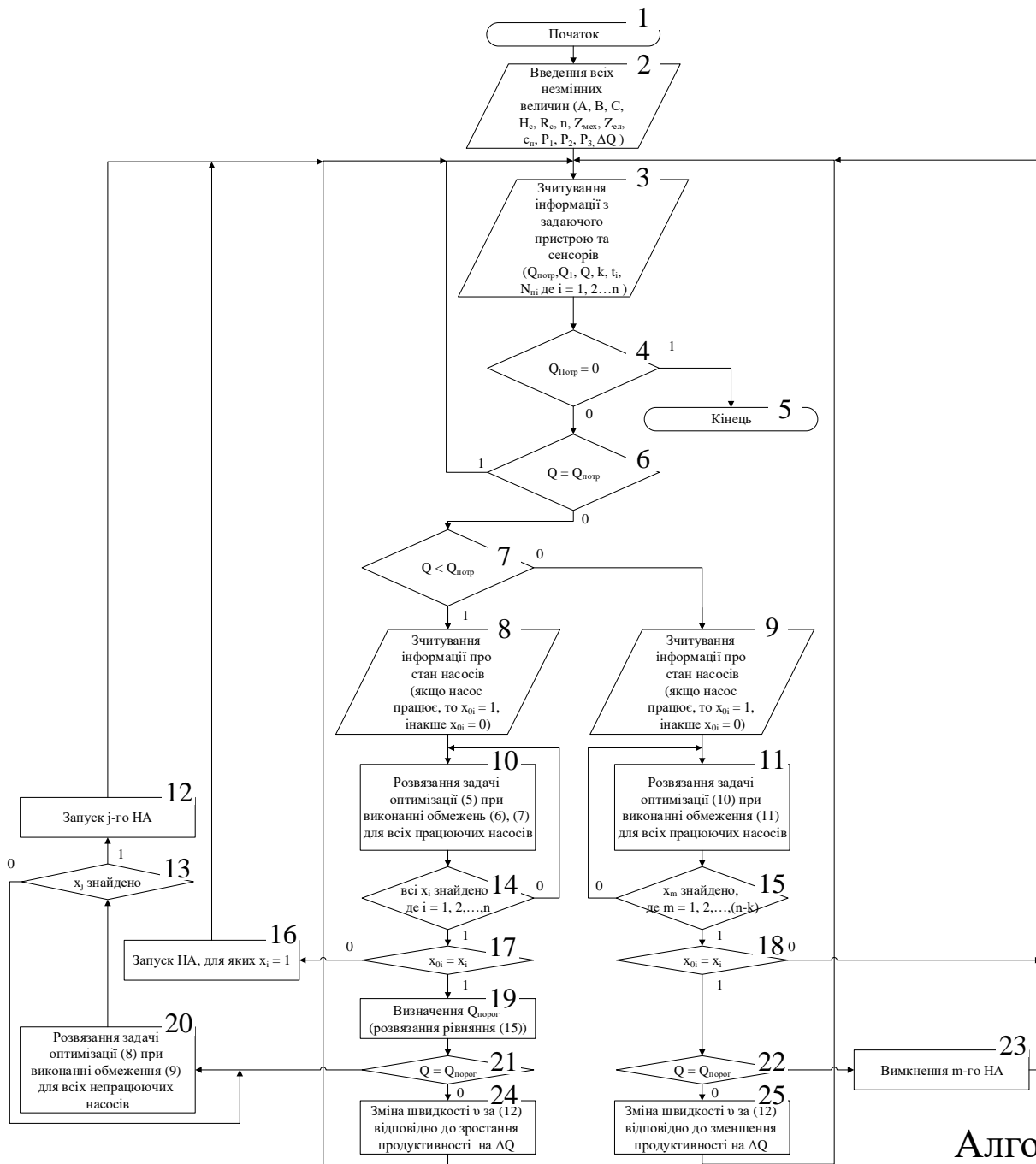


Результати роботи всієї системи, яка працює відповідно до розробленого алгоритму

Алгоритм роботи системи керування двома частотнокерованими насосними агрегатами станції водопостачання



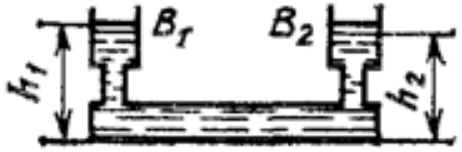
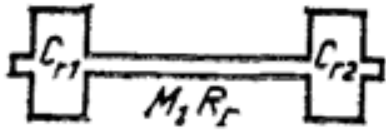
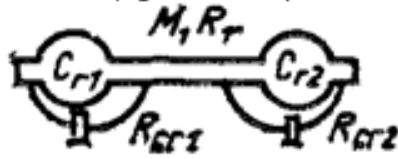
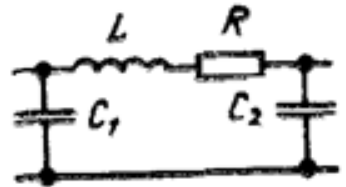
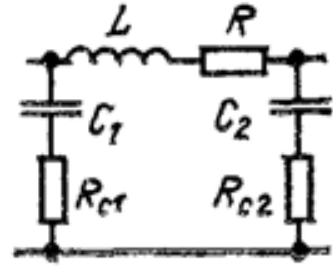
# Узгодження режимів роботи електроприводів насосних агрегатів між собою



Алгоритм роботи системи керування групою паралельно працюючих насосів станції водопостачання

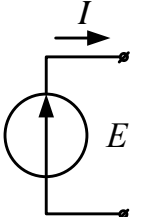
# Моделювання систем водопостачання

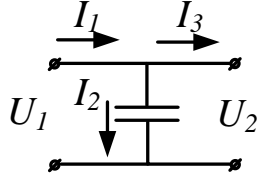
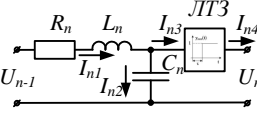
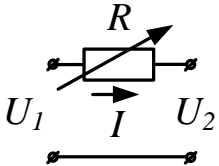
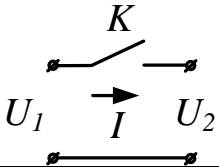
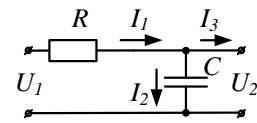
Метод електрогідролічних аналогій

Гідродинамічні системи		Електричні аналоги		
<p>Потік рідини, що не стискається, під напором</p> 	<p>Потік рідини (газу), що стискається під час відхилення від усталеного стану (акустичні аналогії)</p> 	<p>Потік рідини, що не стискається в пружнов'язких трубопроводах (кровообіг)</p> 	<p>Для гідродинамічних систем 1 та 2</p> 	<p>Для гідродинамічних систем 3</p> 
П'єзометричний напір $h$	Тиск $P$		Напруга $u$	
Об'єм рідини $V$		Заряд $q$		
Витрата $Q = dV/dt$		Струм $i = dq/dt$		
Дзеркало резервуару $B = V/h$	Гідролічна ємність $C_2 = V/P$		Ємність $C = q/u$	
Інерційність $M = P/(dQ/dt)$		Індуктивність $L = w/(di/dt)$		
Гідролічний опір $R_2$ : при фільтраційному та ламінарному потоці $R_2 = P/Q = const$ ; при турбулентному потоці $R_2 = k Q ^{n-1}$ , де $n \approx 2$ (для води)		Опір $R = w/i$		
Час $t$		Час $t$		

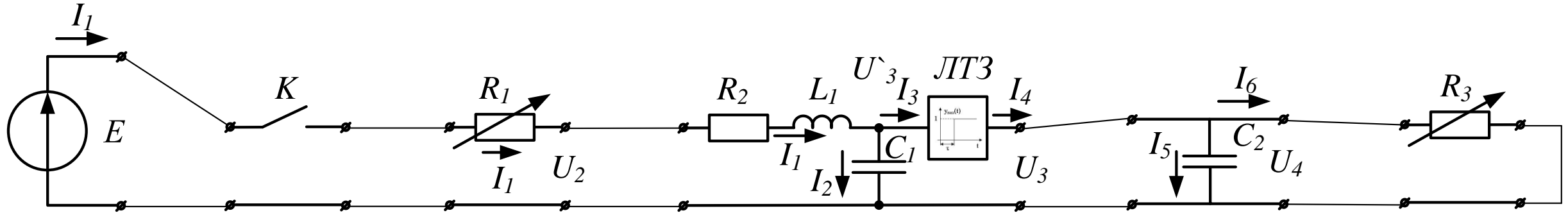
# Моделювання систем водопостачання

## Метод електрогідравлічних аналогій

Назва елемента системи транспортування води	Електрична схема-аналог елемента системи транспортування води	Математична модель, що описує електричну схему	Математична модель елемента транспортування води за методом аналогій
Джерело водозабору		$E = \frac{1}{C} \int Idt$	$H = \frac{1}{B} \int Qdt$
Насосна станція		$N = E \cdot I$	$N = H \cdot Q$
Водоводи (магістральні трубопроводи)		$\begin{cases} E - U' = R \cdot I_1 + L \frac{dI_1}{dt}, \\ U' = \frac{1}{C} \int I_2 dt, \\ I_1 = I_2 + I_3, \\ I_4 = I_3 \cdot e^{-pt}, \\ U = U' \cdot e^{-pt}. \end{cases}$	$\begin{cases} H_1 - H'_2 = R \cdot Q_1 + M \frac{dQ_1}{dt}, \\ H'_2 = \frac{1}{C} \int Q_2 dt, \\ Q_1 = Q_2 + Q_3, \\ Q_4 = Q_3 \cdot e^{-pt}, \\ H_2 = H' \cdot e^{-pt}. \end{cases}$

Резервуар води		$\begin{cases} U_2 = U_1 = U, \\ U = \frac{1}{C} \int I_2 dt, \\ I_1 = I_2 + I_3. \end{cases}$	$\begin{cases} H_2 = H_1 = H, \\ H = \frac{1}{C_2} \int Q_2 dt, \\ Q_1 = Q_2 + Q_3. \end{cases}$
Трубопровідна мережа		$\begin{cases} U_{n-1} - U'_n = R_n \cdot I_{n1} + L_n \frac{dI_{n1}}{dt}, \\ U'_n = \frac{1}{C_n} \int I_{n2} dt, \\ I_{n1} = I_{n2} + I_{n3}, \\ I_{n4} = I_{n3} \cdot e^{-pt}, \\ U_n = U'_n \cdot e^{-pt}. \end{cases}$	$\begin{cases} H_{n-1} - H'_n = R_n \cdot Q_{n1} + M_n \frac{dQ_{n1}}{dt}, \\ H'_n = \frac{1}{C_{zn}} \int Q_{n2} dt, \\ Q_{n1} = Q_{n2} + Q_{n3}, \\ Q_{n4} = Q_{n3} \cdot e^{-pt}, \\ H_n = H'_n \cdot e^{-pt}. \end{cases}$
Запірна арматура	 	$\Delta U = U_2 - U_1 = R \cdot I$	$\Delta H = H_2 - H_1 = R \cdot Q$
Фільтр води		$\begin{cases} U_1 - U_2 = R \cdot I_1, \\ U_2 = \frac{1}{C} \int I_2 dt, \\ I_1 = I_2 + I_3. \end{cases}$	$\begin{cases} H_1 - H_2 = R \cdot Q_1, \\ H_2 = \frac{1}{B} \int Q_2 dt, \\ Q_1 = Q_2 + Q_3. \end{cases}$

# Моделювання систем водопостачання



Еквівалентна електрична схема гідравлічної системи

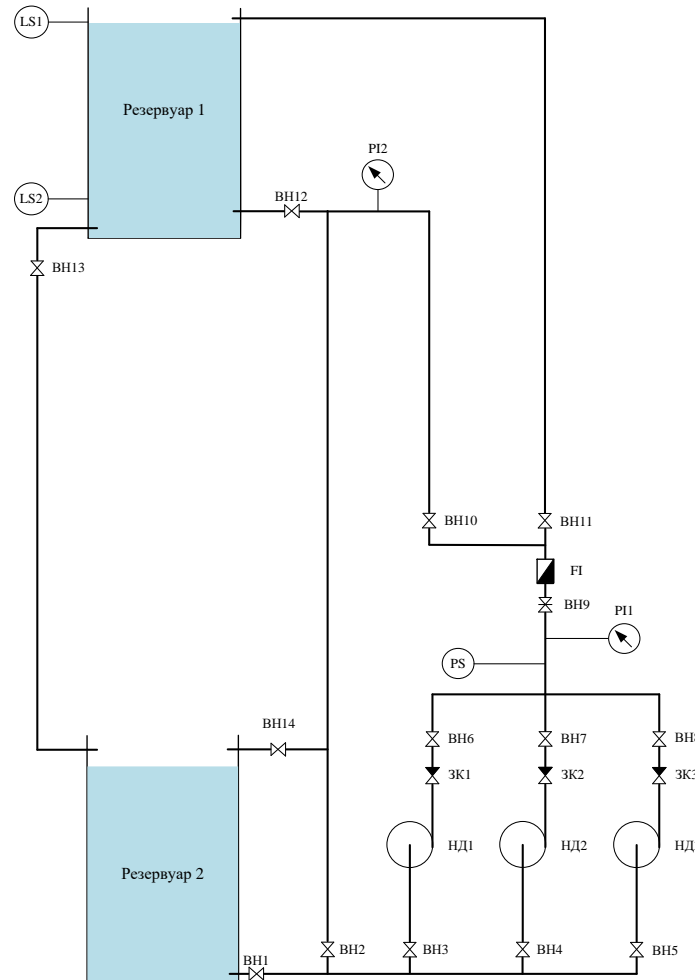
$$\left\{ \begin{array}{l} N = E \cdot I_1, \\ U_2 = E - I_1 \cdot R_1, \\ U_2 - U'_3 = R_2 \cdot I_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt}, \\ I_1 = I_2 + I_3, \\ U'_3 = \frac{1}{C_1} \int I_2 dt, \\ I_4 = I_3 \cdot e^{-pt}, \\ U_3 = U'_3 \cdot e^{-pt}, \\ I_4 = I_5 + I_6, \\ U_4 = \frac{1}{C_2} \int I_5 dt, \\ U_4 = R_3 \cdot I_6. \end{array} \right.$$

• Еквівалентна електрична схема на рисунку складається з таких елементів:

- 1. Насосна станція.
- 2. Запірна арматура.
- 3. Трубопровідна мережа.
- 4. Резервуар води.
- 5. Споживач.

$$\left\{ \begin{array}{l} N = H \cdot Q_1, \\ H_2 = H - Q_1 \cdot R_1, \\ H_2 - H'_3 = R_2 \cdot Q_1 + M_1 \frac{dQ_1}{dt}, \\ Q_1 = Q_2 + Q_3, \\ H'_3 = \frac{1}{B_1} \int Q_2 dt, \\ Q_4 = Q_3 \cdot e^{-pt}, \\ H_3 = H'_3 \cdot e^{-pt}, \\ Q_4 = Q_5 + Q_6, \\ H_4 = \frac{1}{B_2} \int Q_5 dt, \\ H_4 = R_3 \cdot Q_6. \end{array} \right.$$

# Лабораторний стенд для дослідження систем водопостачання



Максимальна глибина всмоктування:	до 8 м
Напір:	до 35 л/хв
Потужність:	370 Вт
Номинальна напруга:	220 В
Номинальний струм:	2,5 А
cos φ:	0,96
Частота:	50 Гц
Оберти:	2900 об/хв
Клас захисту:	IP 54
Режим роботи:	S1
Вага:	5 кг

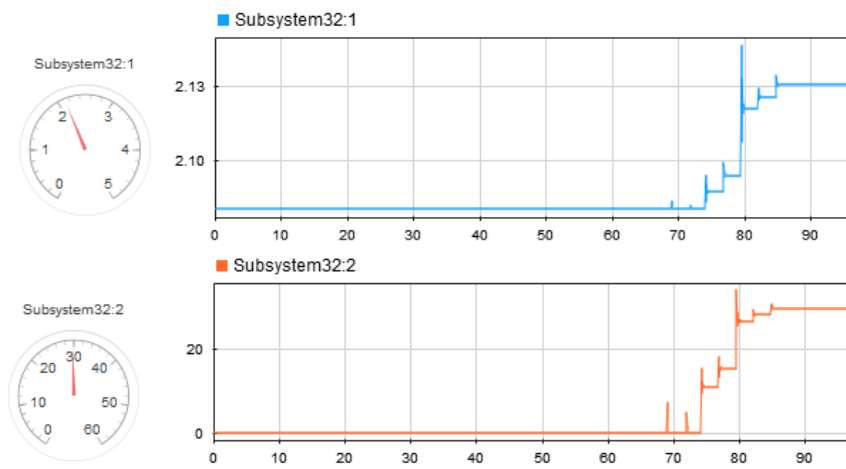
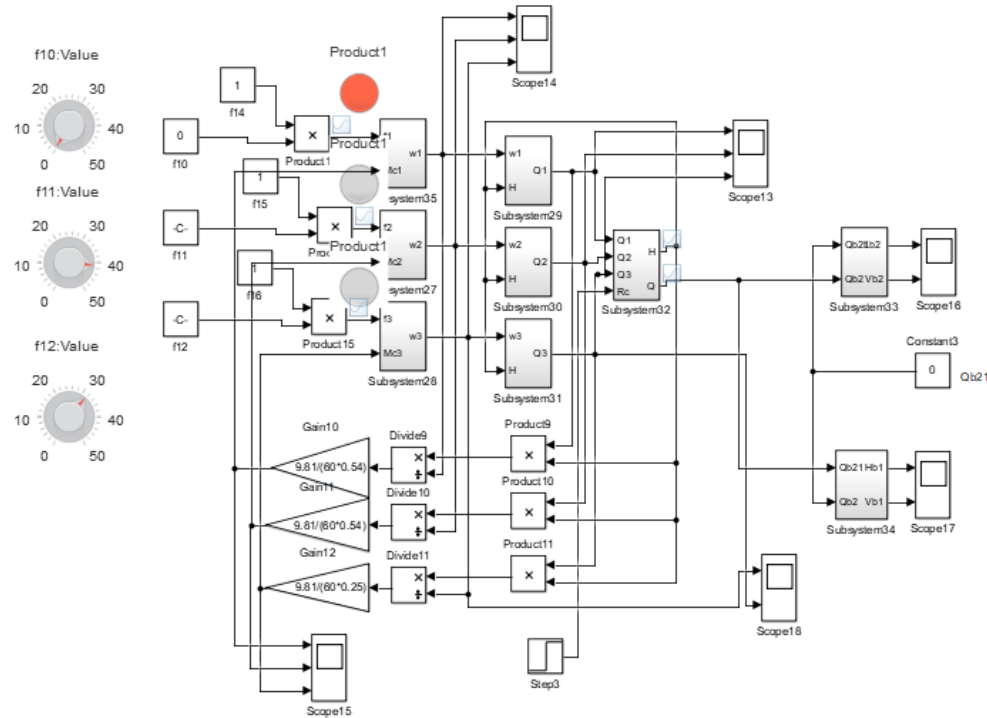
Технічні характеристики вихрового насоса НЕК QB-60

# Моделювання ефективності роботи системи водопостачання

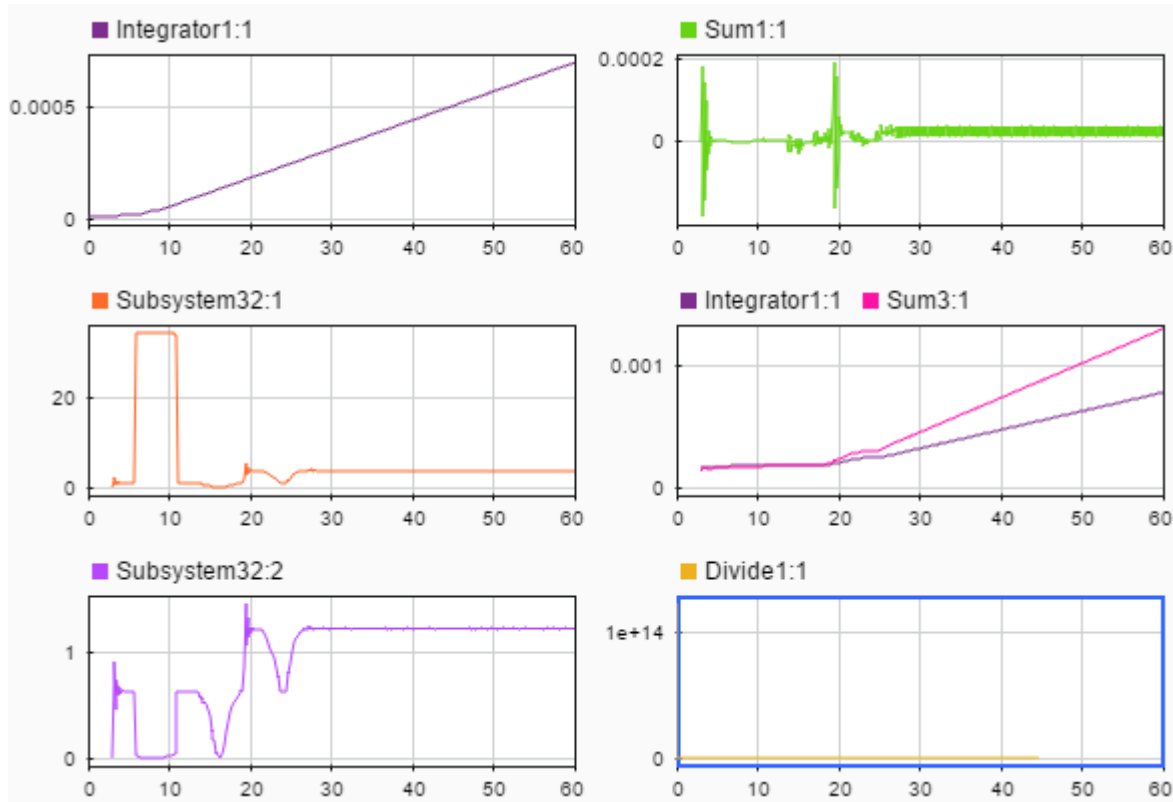
Комп'ютерна модель лабораторного стенда для дослідження системи водопостачання

Порівняння результатів моделювання з експериментальними даними

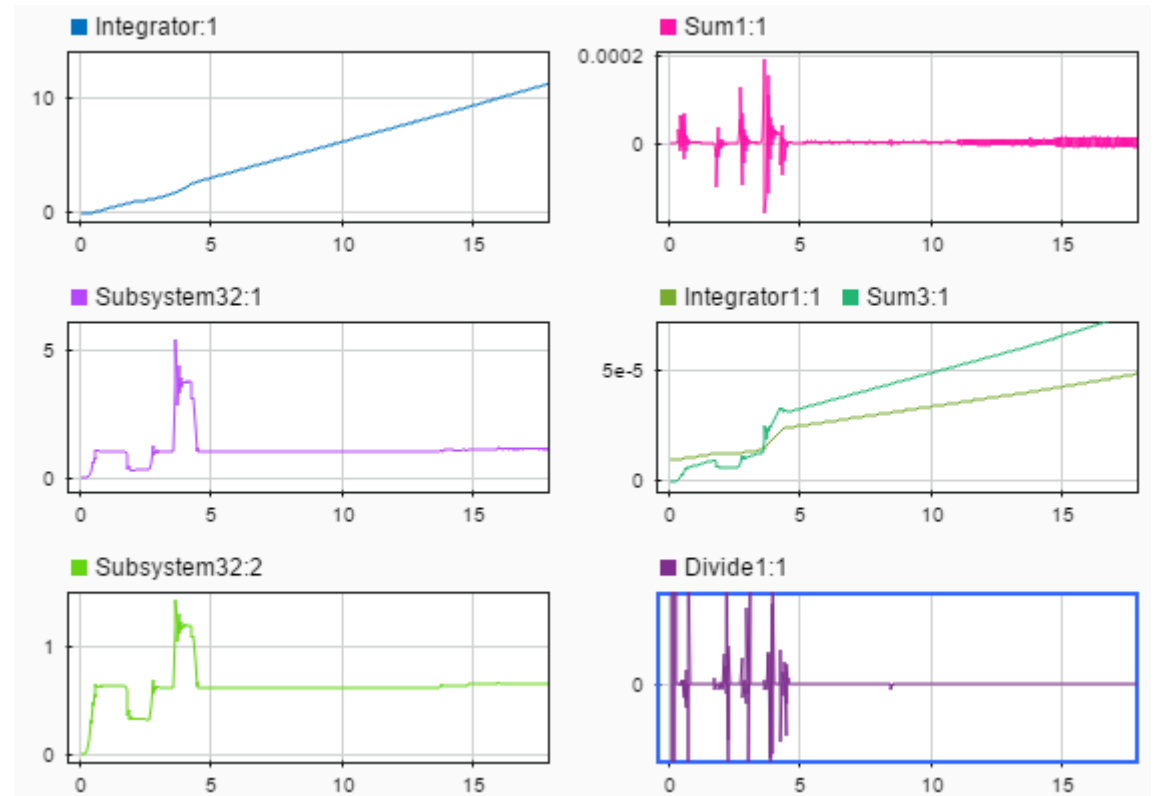
Режим роботи лабораторного стенда	Досліджуваний параметр	Значення, отримані експериментальним шляхом	Значення, отримані за результатами моделювання
Робота одного насоса Kenle HEK QB-60	Кількість перекачаної води	34 л.	33,6
	Тривалість перекачування	53 с.	53
	Напір в мережі, м.в.ст.	0,75	1,0
Робота двох насосів Kenle HEK QB-60	Кількість перекачаної води, л.	34	33,5
	Тривалість перекачування	27 с.	27,7
	Напір в мережі, м.в.ст.	3,2	3,8
Робота двох насосів Kenle HEK QB-60 та одного насосу Villo RS 25/4	Кількість перекачаної води, л.	34	33,6
	Тривалість перекачування, с	23	27,5
	Напір в мережі, м.в.ст.	3,4	3,8



# Моделювання ефективності роботи системи водопостачання



Моделювання роботи системи водопостачання в різних режимах (прямий пуск одного насоса, прикриття засувки, відкриття засувки, регулювання швидкості, пуск другого насоса, пуск третього насоса)



Моделювання роботи системи водопостачання в різних режимах (плавний розгін одного насоса, регулювання швидкості, плавний розгін другого насоса, регулювання швидкості другого насоса, розгін третього насоса, прикриття засувки)

# Економічна ефективність запропонованих рішень

№ п/п	Найменування	Кіл.	Ціна	Вартість	
				базова	Вартість нова
1	2 насосні агрегати Kenle HEK QB-60 та 1 – Villo RS25/4-1	3	2x639 + 1x550 грн	1828	1828
2	Силовий перетворювач	1	17098	0,0	17098,0
3	Система керування	1	-	1709,8	1709,8
4	Допоміжні матеріали (провідники, скоби, інструмент)		-	854,9	854,9
5	Вартість обладнання			2564,7	19662,7
6	Транспортні витрати (7%)			179,5	1376,4
7	Вартість всього			2744,2	21039,1
8	Монтажні роботи (10%)			274,4	2103,9
9	Капітальні вкладення всього			3018,7	23143,0

$$T_{ок} = \frac{23143 - 3019}{9469} = 2,12$$

$$EE = (205773 - 196304) - 0,2 \cdot 23216 = 5445$$



### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Отримав подальший розвиток метод побудови математичних моделей гідравлічних систем на основі електрогідравлічних аналогій, який на відміну від відомих дозволив побудувати моделі основних елементів системи транспортування води та пов'язати їх вхідні і вихідні характеристики між собою, що дозволить забезпечити універсальність математичного апарату для опису систем транспортування води та прискорить процес побудови математичних моделей всієї системи.

2. Розроблено математичну модель системи водопостачання, яка реалізована на лабораторному стенді, яка на відміну від відомих може бути трансформована до математичної моделі будь-якої системи водопостачання, що дозволяє спростити та прискорити процес проведення експерименту з метою підтвердження наукових гіпотез, виявлення несправності, прогнозування енергоспоживання, підбору елементів тощо.

### **Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:**

1. Розроблено алгоритм роботи пристрою моніторингу системи водопостачання, який на відміну від відомих враховує існуючі способи підвищення ефективності роботи системи транспортування води і можливі несправності в ній, що полегшує процес керування системою та прискорює процес прийняття рішення в перехідних режимах роботи.

2. Розроблено комп'ютерну модель системи водопостачання на основі лабораторного стенда для дослідження систем водопостачання, яка на відміну від відомих може бути трансформована до комп'ютерної моделі будь-якої системи водопостачання, що дозволяє спростити та прискорити процес проведення експерименту з метою підтвердження наукових гіпотез, виявлення несправності, прогнозування енергоспоживання, підбору елементів тощо.

**Апробація результатів роботи.** Результати роботи обговорювалися на такі науково-технічних конференціях:

1. Мошноріз М. М., Горбань А. С. Аналіз способів підвищення енергоефективності роботи системи водопостачання. XVI Міжнародна конференція КОНТРОЛЬ І УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ (КУСС-2018), Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 15-17 жовтня 2018 року.

2. Мошноріз М. М., Горбань А. С. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ НА ЛАБОРАТОРНОМУ СТЕНДІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ. XLVII науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2018), Вінниця, ВНТУ, 21.03.2018 – 23.03.2018.

**Публікації:**

1. Мошноріз М. М. Розробка методики виконання лабораторних робіт на лабораторному стенді для дослідження систем водопостачання [Електронний ресурс] / М. М. Мошноріз, А. С. Горбань // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2018/paper/view/4483>; <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/21313?show=full>.

2. Мошноріз Микола Аналіз способів підвищення енергоефективності роботи системи водопостачання [Електронний ресурс] / М. Мошноріз, А. Горбань // Матеріали XIV міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018)", м. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/22712>.

3. Мошноріз М. М. Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання [Текст]/ М. М. Мошноріз, А. С. Горбань // Електротехніка та електроенергетика. - №1 (2019). - Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. - С. 52 - 60. ISSN 1607-6761 (print), ISSN 2521-6241 (online). DOI 10.15588/1607-6761-2019-1-5. Режим доступу: <http://ee.zntu.edu.ua/article/view/165195>.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!!!