Магістерська кваліфікаційна робота

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ СТІЧНИХ ВОД ЗАСОБАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА В СИСТЕМАХ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ВЕЛИКИХ МІСТ

Виконав ст. гр. ЕПА-18м Гуцько М. С.

Керівник доц. Мошноріз М. М.

Метою роботи є підвищення енергоефективності роботи системи транспортування стічних води за рахунок розробки науково-методичних основ оптимального оперативного управління напірно-самопливними системами водовідведення великих міст як в нормальних, так і в аварійних режимах експлуатації, що досягається злагодженим керуванням електроприводами насосних станцій.

Мета досягається шляхом вирішення наступних **завдань**:

1. Аналіз літературних джерел по темі роботи.

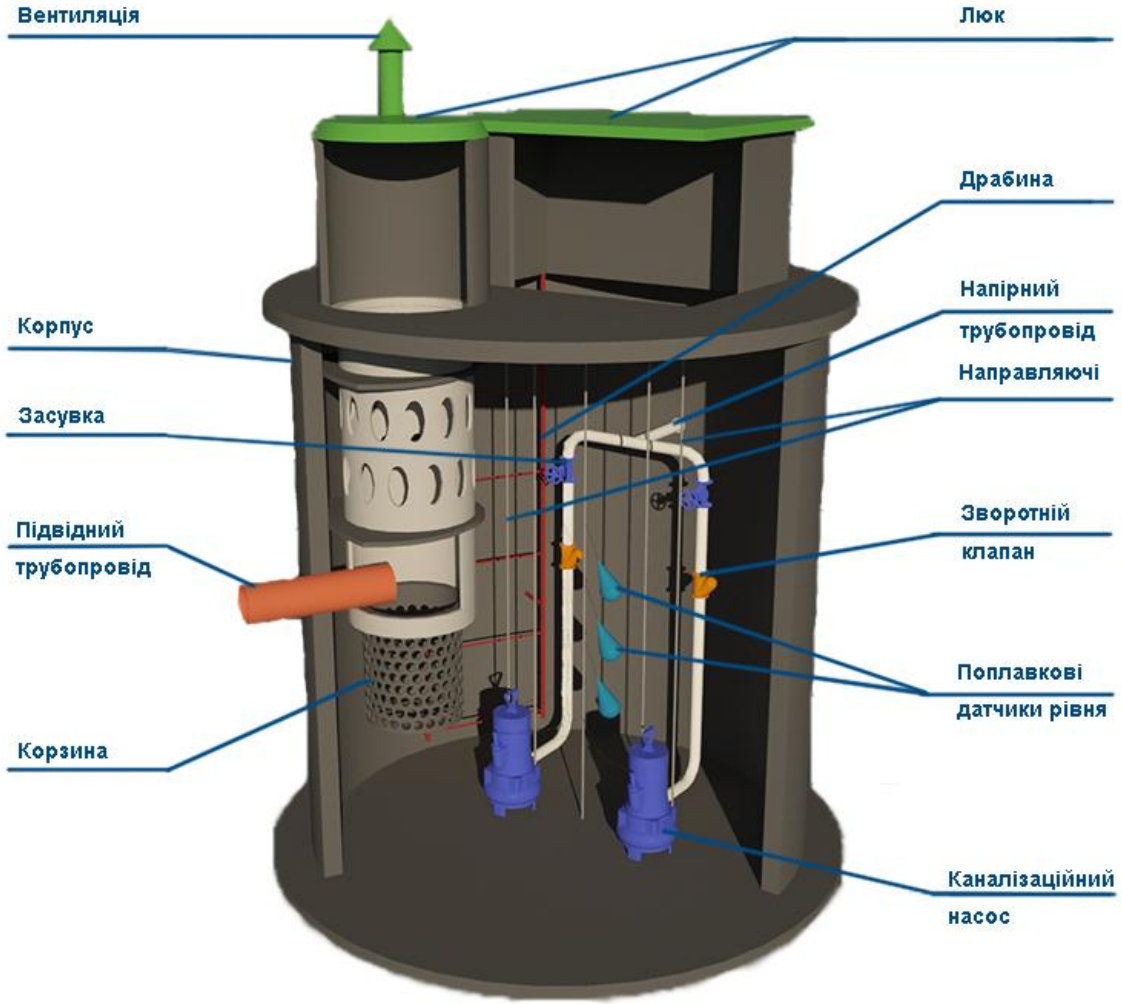
2. Розробка системи автоматизованої роботи електроприводів насосної станції.

3. Вибір критерію і розробка алгоритму оптимального оперативного управління системою водовідведення в нормальних експлуатаційних режимах на базі аналізу експлуатаційних економічних показників.

4. Розробка математичної моделі роботи системи транспортування стічних вод.

5. Моделювання роботи системи транспортування стічних вод відповідно до розроблено критерію.

6. Моделювання роботи насосної станції як одного з виконавчих елементів системи транспортування стічних вод.



Зовнішній вигляд каналізаційної насосної станції вертикального типу

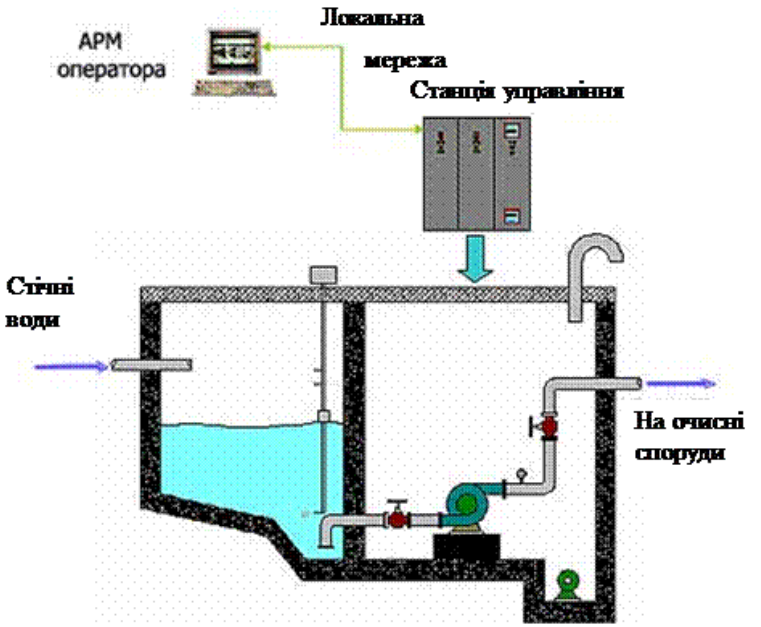


Схема надходження сигналів у сучасній КНС

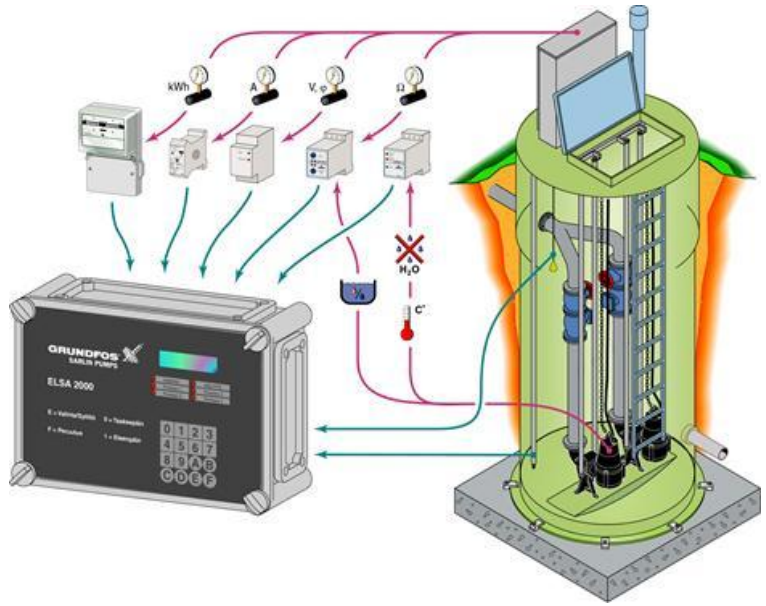
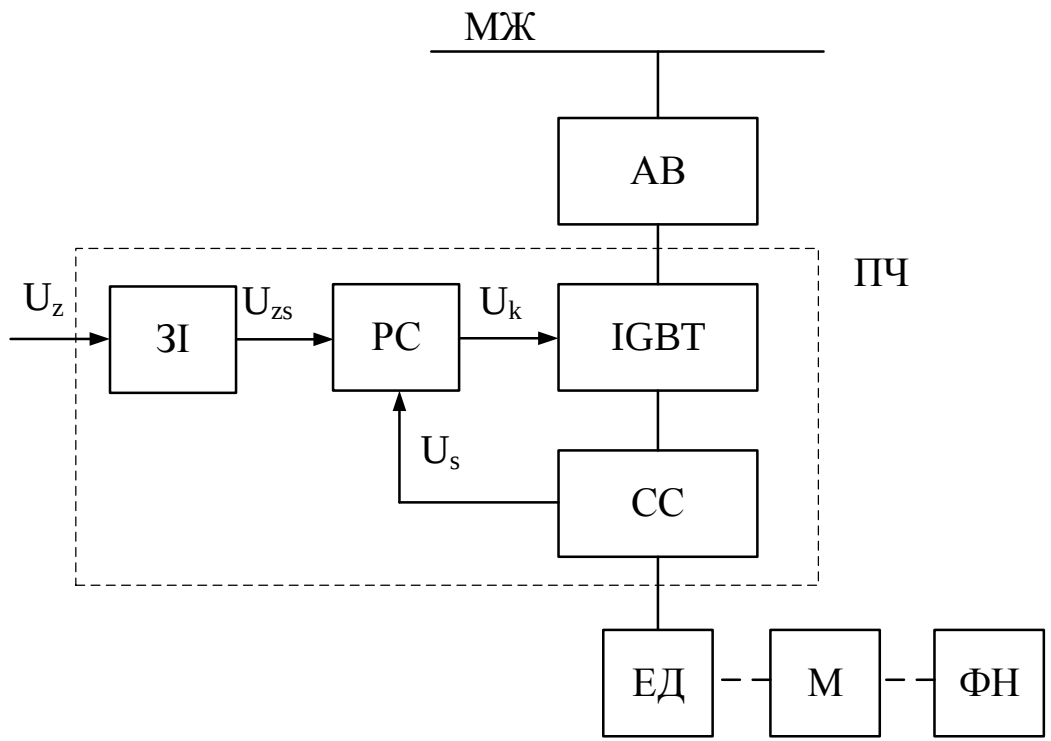


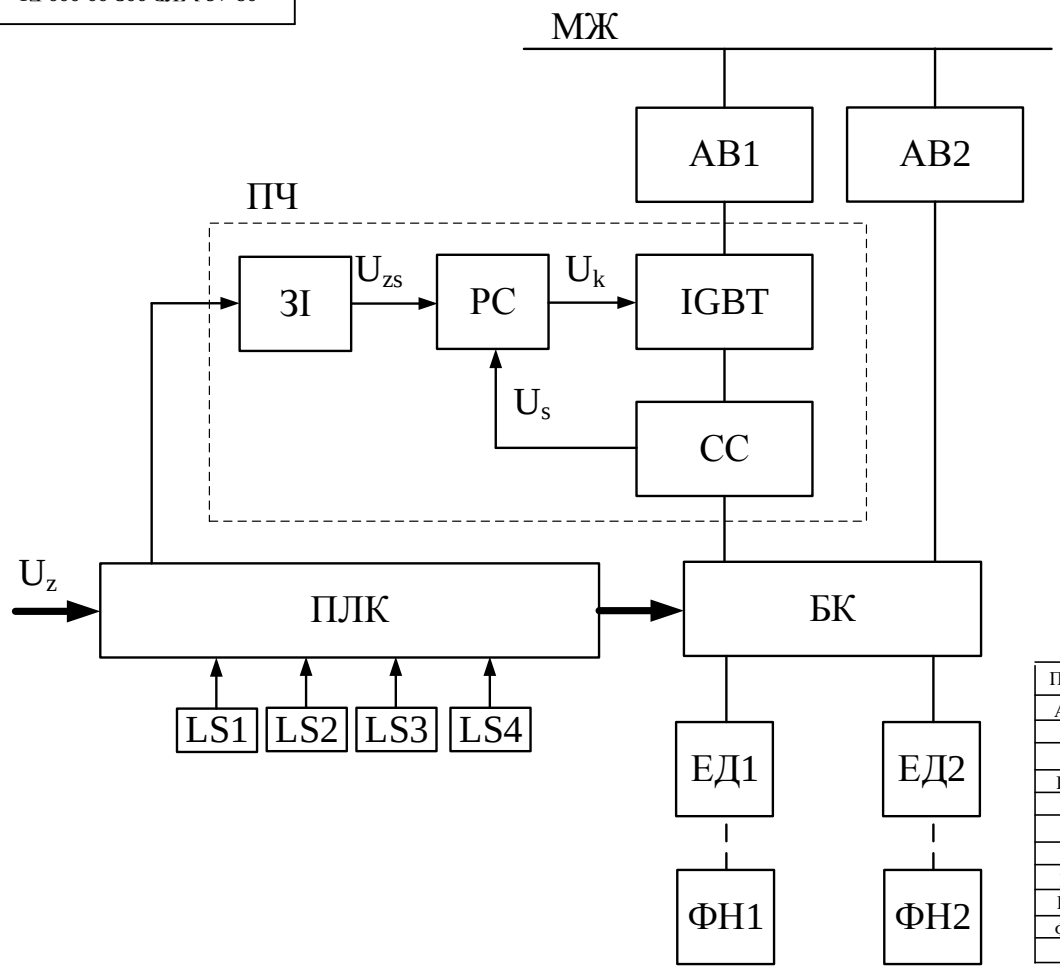
Схема надходження сигналів у сучасній КНС



Позначення	Найменування	Кіл	Примітка
МЖ	Мережа живлення	1	
АВ	Автоматичний вимикач	1	
IGBT	IGBT модуль	1	
ЗІ	Задавач інтенсивності	1	
РС	Регулятор струму	1	
ПЧ	Перетворювач частоти	1	
СС	Сенсор струму	1	
ЕД	Приводний двигун	1	
М	Муфта	1	
ФН	Фекальний насос	1	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	08-16.МКР.003.00.000 Е1			
Розробив		Гуцько М. С.			Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст. Схема електрична структурна	Літера	Маса	Масштаб
Перевірив		Мошноріз М.М.				У		
Т. контр.						Аркуш		Аркушів
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

Інв. № ориг.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата



Познач.	Найменування	Кіл	Примітка
АВ1,2	Автоматичний вимикач приводних двигунів	2	
ЗІ	Задавач інтенсивності	1	
РС	Регулятор струму	1	
IGBT	IGBT-модуль	1	
СС	Сенсор струму	1	
ПЛК	Програмований логічний контролер	1	
БК	Блок комутації	1	
LS1-4	Сенсори рівня	4	
ЕД1, 2	Приводний електричний двигун насосів	2	
ФН1, 2	Фекальний насос каналізаційної насосної станції	2	
МЖ	Мережа живлення насосної станції	1	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	08-16.МКР.003.00.000 Е2			
Розробив		Гущько М. С,			Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст. Схема електрична функціональна	Літера	Маса	Масштаб
Перевірив		Мошноріз М.М.				У		
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент								
Н.контр.						ВНТУ, ЕПА-18м		
Затв.		Кутін В. М.						

Підпис і дата	Інв. № дубл.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № ориг.

Критерій оптимізації

$N = N(q)$ - рівняння перетворення СТСВ

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо i – та вершина належить j – му маршруту;} \\ 0, \text{ якщо i – та вершина не належить j – му маршруту.} \end{cases}$$ - елементи матриці споруд СТСВ

$\left(i = \overline{1,R}; j = \overline{1,P}\right)$ R – Кількість споруд в СТСВ, P – кількість маршруті транспортування води

$$[A] = \begin{bmatrix} A_1 \\ \dots \\ A_2 \end{bmatrix},$$ - складена матриця з описом об'єктів СТСВ активного характеру транспортування (насосні станції) і пасивного характеру транспортування (комунікаційні споруди)

$$[q] = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_p \end{bmatrix},$$ - матриця продуктивностей СТСВ по кожному маршруту

$$[Q] = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_K \end{bmatrix}$$ - матриця вхідних продуктивностей СТСВ

$$[W] = \begin{bmatrix} w_{K+1} \\ w_{K+2} \\ \dots \\ w_R \end{bmatrix}$$ - матриця пропускних спроможностей споруд СТСВ

$B[b_1, b_2, \dots, b_p]$ - матриця-рядок питомих енергозатрат по кожному маршруту СТСВ

Модель роботи СТСВ

$$E = a_2 + b_2 \cdot Q + c_2 Q^2$$
$$[A_1][q] = [Q]$$
$$[A_2][q] \le [W]$$
$$q_j \ge 0$$

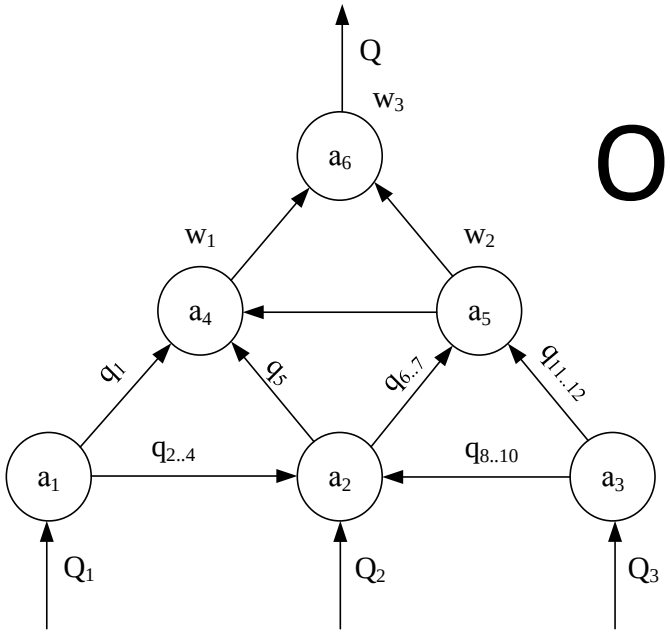
Сумарна кількість електричної енергії, що споживається СТСВ

$$E = \sum_{S=1}^{S} \left(a_S + b_S \cdot \sum_{j \in S} q_j + c_S \cdot \left(\sum_{j \in S} q_j \right)^2 \right)$$

Критерій оптимізації процесу перерозподілу потоків стічної води у СТСВ

$$E = [B][q] \Rightarrow \min$$

Оптимізація



Граф СТСВ

$$[A]=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} & a_{17} & a_{18} & a_{19} & a_{110} & a_{111} & a_{112} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} & a_{27} & a_{28} & a_{29} & a_{210} & a_{211} & a_{212} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} & a_{37} & a_{38} & a_{39} & a_{310} & a_{311} & a_{312} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} & a_{47} & a_{48} & a_{49} & a_{410} & a_{411} & a_{412} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} & a_{57} & a_{58} & a_{59} & a_{510} & a_{511} & a_{512} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} & a_{67} & a_{68} & a_{69} & a_{610} & a_{611} & a_{612} \end{bmatrix}$$

Матриця споруд каналізаційної системи

$$[q]=\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \\ q_6 \\ q_7 \\ q_8 \\ q_9 \\ q_{10} \\ q_{11} \\ q_{12} \end{bmatrix}$$

$$[A]=\begin{bmatrix} 111100000000 \\ 011111111100 \\ 000000011111 \\ 111011011010 \\ 001101101111 \\ 111111111111 \end{bmatrix}$$

$$[A_1]=\begin{bmatrix} 111100000000 \\ 011111111100 \\ 000000011111 \end{bmatrix}$$

$$[A_2]=\begin{bmatrix} 111011011010 \\ 001101101111 \\ 111111111111 \end{bmatrix}$$

$$[Q]=\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix}$$

$$[W]=\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix}$$

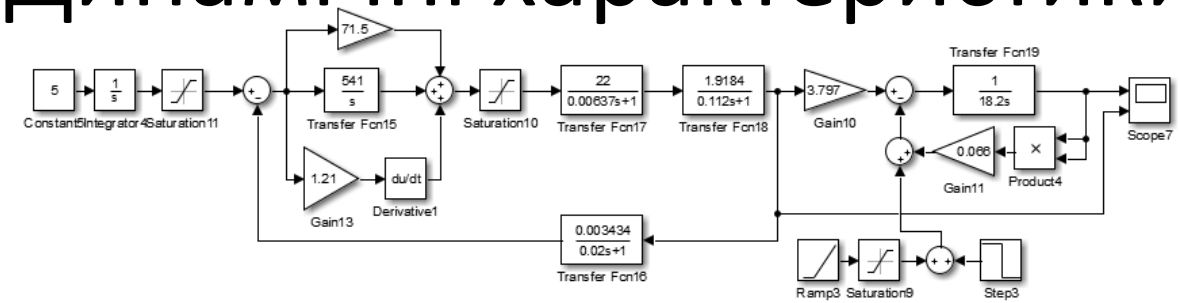
Q1-15, Q2-45, Q3-40%		Маршрут (j)												qR	E
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Споруди (i)	1	0,00	0,98	0,95	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	1,00
	2	0,00	0,42	0,37	0,48	1,00	0,48	0,57	0,42	0,37	0,48	0,00	0,00	0,90	
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,67	0,89	0,82	1,00	0,80	
	4	0,97	0,77	0,73	0,00	1,00	0,87	0,00	0,77	0,60	0,00	0,77	0,00	0,64	
	5	0,00	0,00	0,78	1,00	0,00	1,00	0,17	0,00	0,68	1,00	0,89	0,69	0,36	
	6	0,97	0,58	0,77	0,87	1,00	0,87	0,97	0,82	0,71	0,87	0,82	0,97	1,00	
qP		0,65	0,76	0,94	0,82	1,00	0,94	0,55	0,94	0,91	0,94	0,97	0,78		

Q1-25, Q2-35, Q3-40%		Маршрут (j)												qR	E
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Споруди (i)	1	1,00	0,90	0,86	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,97
	2	0,00	0,39	0,34	0,44	1,00	0,44	0,23	0,39	0,34	0,44	0,00	0,00	0,70	
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,67	0,89	0,82	1,00	0,80	
	4	0,97	0,77	0,73	0,00	1,00	0,87	0,00	0,77	0,60	0,00	0,77	0,00	0,64	
	5	0,00	0,00	0,78	1,00	0,00	1,00	0,17	0,00	0,68	1,00	0,89	0,69	0,36	
	6	0,97	0,58	0,77	0,87	1,00	0,87	0,97	0,82	0,71	0,87	0,82	0,97	1,00	
qP		0,90	0,80	0,98	0,86	0,99	0,93	0,44	0,94	0,92	0,93	1,00	0,81		

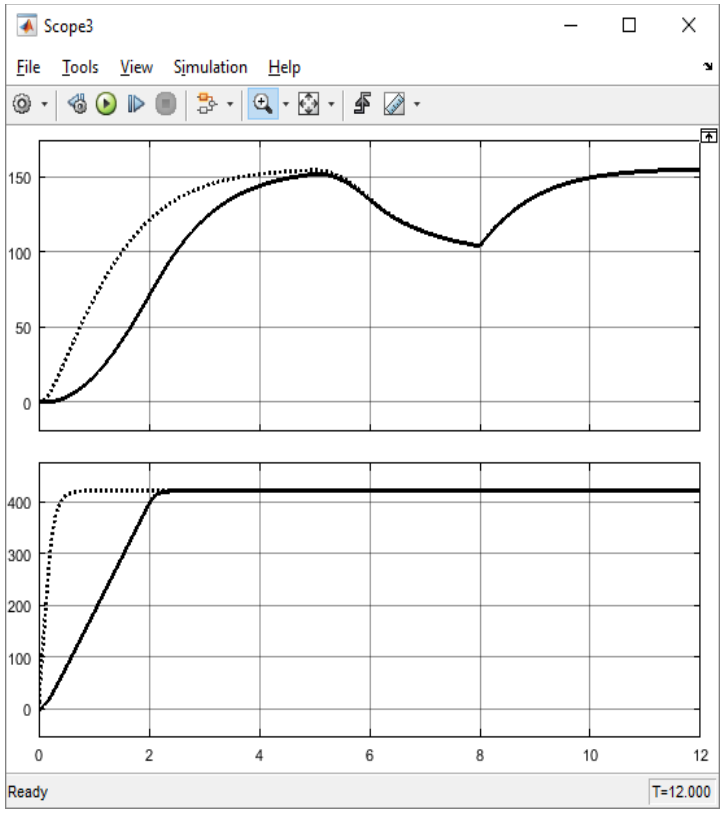
Q1-35, Q2-25, Q3-40%		Маршрут (j)												qR	E
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Споруди (i)	1	1,00	0,84	0,79	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,95
	2	0,00	0,89	0,78	1,00	0,00	1,00	0,50	0,89	0,79	1,00	0,00	0,00	0,50	
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,67	0,89	0,82	1,00	0,80	
	4	1,00	0,80	0,75	0,00	0,82	0,90	0,00	0,80	0,62	0,00	0,80	0,00	0,61	
	5	0,00	0,00	0,78	1,00	0,00	1,00	0,31	0,00	0,68	1,00	0,89	0,72	0,39	
	6	0,97	0,58	0,77	0,87	1,00	0,87	0,97	0,82	0,71	0,87	0,82	0,97	1,00	
qP		0,96	0,82	1,00	0,90	0,59	0,90	0,45	0,89	0,88	0,90	0,97	0,79		

Результат оптимізації для подач Q_1-Q_2-Q_3

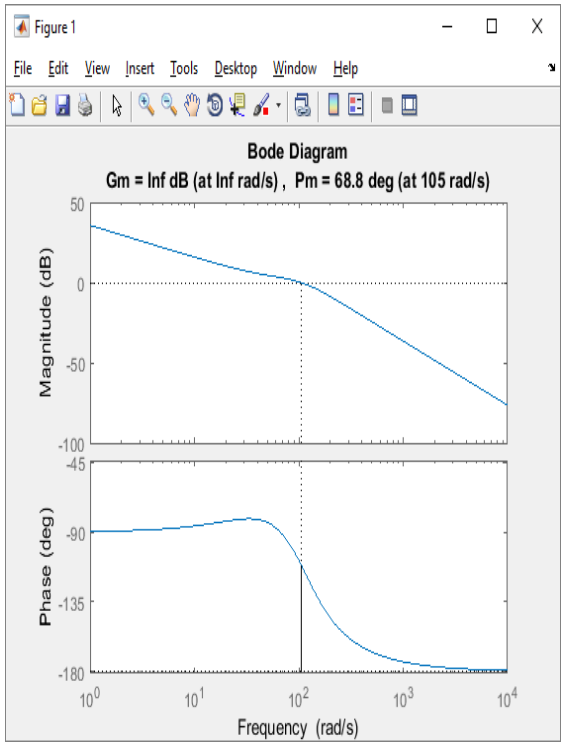
Динамічні характеристики



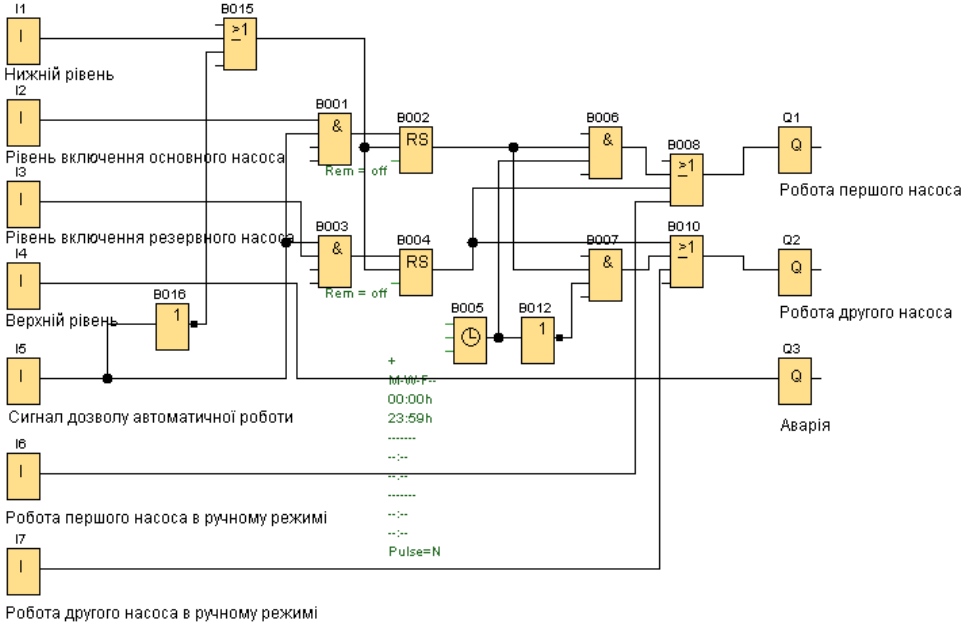
Комп'ютерна модель електропривода зі зворотним зв'язком за струмом статора двигуна



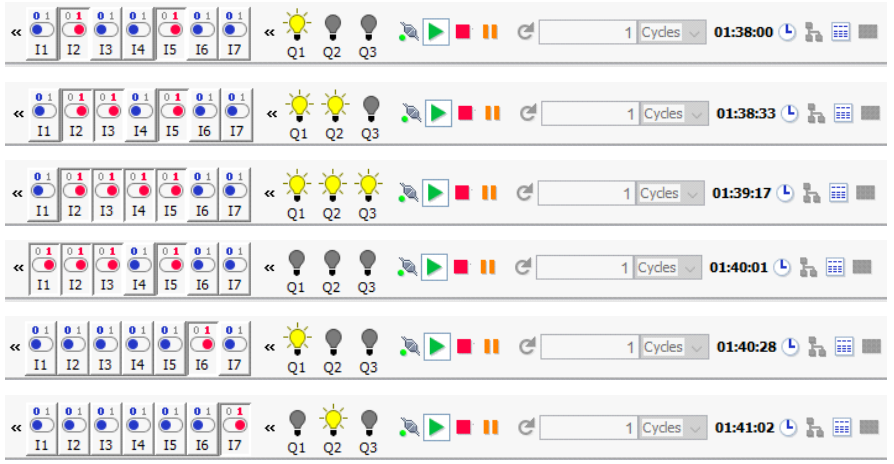
Порівняння графіків перехідних процесів швидкості двигуна (верхнє вікно) та його струму (нижнє вікно) зі зворотним зв'язком за струмом (штрихова лінія) і без зворотного зв'язку (суцільна лінія)



Логарифмічна амплітудо-частотна (вікно зверху) та фазочастотна (вікно знизу) характеристики електропривода



Програма роботи системи керування каналізаційною насосною станцією в програмному середовищі Logo Soft Comfort



Режим симуляції програмного середовища Logo Soft Comfort V8

Економічний розрахунок

	РКС-АД	ППП(Lovato electric)-АД	ППП(Schneider electric)-АД	ПЧ(Schneider electric)-АД
Вартість двигуна, грн.	332074	332074	332074	332074
Вартість сист. керув., грн.	35156	160059	87890	554048
Капітальні затрати, грн.	367230	492133	419964	886122
Річні кап. затрати, грн./рік	62429	83663	71394	150641
Затрати на електроен. грн./рік	4818000	4380000	4380000	3942000
Затрати на аморт., грн./рік	36723	49213	41996	88612
Затрати на ремонт, грн./рік	7345	9843	8399	17722
Затрати на обслугов., грн./рік	243103	221953	221520	202417
Приведені річні затрати, грн./рік	5167600	4744671	4723309	4401392

Техніко-економічне співставлення систем електроприводу

№ п/п	Найменування	Кіл.	Ціна за одиницю	Вартість	
				базова	Вартість нова
1	Двигун АИР 355 S4 потужністю 250 кВт	1	0	0	0
2	Силовий перетворювач	1	554048	0,0	554048,0
3	Система керування	1	-	55404,8	55404,8
4	Допоміжні матеріали (провідники, скоби, інструмент)		-	27702,4	27702,4
5	Вартість обладнання			83107,2	637155,2
6	Транспортні витрати (7%)			5817,5	44600,9
7	Вартість всього			88924,7	681756,1
8	Монтажні роботи (10%)			8892,5	68175,6
9	Капітальні вкладення всього			97817,2	749931,7

Визначення кошторису витрат для нового і старого варіантів

Експлуатаційні затрати

$$З_{ЕФ} = З_{ЕБ} - З_{ЕН} \qquad З_{ЕФ} = 1179837 - 622319 = 557518$$

Термін окупності

$$Т_{ОК} = \frac{К_{Н} - К_{Б}}{З_{ЕФ}} \qquad Т_{ОК} = \frac{749932 - 97817}{557518} = 1{,}17$$

Річний економічний ефект

$$ЕЕ = (З_{ЕБ} - З_{ЕН}) - Е_{Н} \cdot (К_{Н} - К_{Б}) \qquad ЕЕ = (398964 - 283633) - 0{,}2 \cdot (749932 - 97817) = 427096$$

ВИСНОВКИ

- Виконано розрахунок електроприводів каналізаційної насосної станції та розроблено алгоритм оптимального керування системою транспортування стічних вод.
- Для заданих умов роботи було розраховано і вибрано два насоси та приводні двигуни. Обрано насоси відцентрового типу СМ 250-200-400/4 та асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором. Потужність одного насосу становить 250 кВт.
- Для приводу насосів шляхом техніко-економічного обгрунтування обрано систему електропривода на базі перетворювача частоти Schneider Electric. При цьому даний електропривод порівнювався з приводами на основі пристроїв плавного пуску. Найкращою з точки зору економічних затрат стала система ПЧ-АД.
- Розроблено структурну та функціональну схеми одного електропривода. Розраховано та вибрано автоматичний вимикач, транзистори, сенсор струму, регулятор.
- Для розрахунку системи оптимального керування розглядався випадок, коли СТСВ складається з 6-ти каналізаційних насосних станцій. Для формалізації задачі оптимізації розроблено математичну модель роботи системи у матричному (табличному) вигляді.
- Для обраної конфігурації каналізаційної мережі, виконано розрахунок продуктивностей насосних станцій, при яких споживання енергії всією системою буде найменшим. Для цього модифіковано відомий критерій, внесено додаткові обмеження та отримано результати для різних значень вхідної подачі стоків. Отримано, що зі змільшенням вхідної подачі, продуктивність станції необхідно також збільшувати, але треба вірно обирати маршрут транспортування. Запропонований алгоритм дозволяє так розподілити потоки стічних вод між різними насосними станціями, щоб споживання ними було мінімальним, а вся вхідна вода подавалася на очисні споруди.
- Досліджено графіки перехідних процесів розмікнутої та замкнутої системи електропривода зі зворотним зв’язком за струмом статора двигуна. Порівняно з випадком, коли система розімкнута, у замкнутій отримано менший час перехідного процесу і відсутність коливань струму двигуна. У обох випадках електропривод працює без коливань по швидкості обертання.
- Замкнуту систему електропривода досліджено на стійкість в частотній області. Вона виявилася стійкою з безмежним запасом стійкості за амплітудою.
- Розроблено імітаційну модель роботи однієї насосної станції, що складається з двох насосів. Написано програму роботи такої насосної станції.

Наукова новизна магістерської роботи полягає у наступному:

1. Отримав подальший розвиток підхід до оперативного управління міською системою водовідведення шляхом цілеспрямованого перерозподілу потоків стічних вод по транспортних магістралях мережі за рахунок узгодження роботи насосних станцій між собою. На відміну від відомих підходів пропонується як цільову функцію оптимізації обрати енергозатрати всіх насосних станцій і ввести «коефіцієнт збитковості» кожного з маршрутів транспортування, що дозволить виконати більш точніший підбір оптимальних маршрутів транспортування води і зменшити споживання електроенергії.

2. Отримала подальший розвиток математична модель системи транспортування стічних вод, що на відміну від відомих дозволяє описати залежність енергетичних затрат цілої системи від продуктивностей кожної насосної станції з врахуванням коефіцієнта ефективності роботи всіх насосних станцій та «коефіцієнта збитковості» маршрутів транспортування.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблено алгоритм оптимального функціонування системи водовідведення великого міста в нормальних умовах експлуатації, при якому забезпечується мінімальне споживання електроенергії насосними станціями.

2. Розроблено алгоритм роботи системи керування каналізаційної насосної станції, що складається з двох насосних агрегатів і сенсорів рівня водоприймального резервуару.

3. Розроблено програмне забезпечення для роботи системи керування каналізаційної насосної станції, що складається з двох насосних агрегатів і сенсорів рівня водоприймального резервуару, на базі обладнання Siemens.

Апробація результатів роботи. Основні результати роботи апробовані на всеукраїнській науково-технічній конференції «IV всеукраїнська науково-практична конференція "Енергоефективність: наука, технології, застосування"». 27 листопада 2019 р. м. Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова з доповіддю «Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст»

Публікації. За тематикою роботи опубліковано тези доповідей на двох науково-технічних конференціях, а саме:

1. Мошноріз М. М. Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системх водовідведення великих міст: тези доповідей [текст] / М. М. Мошноріз, М. С. Гуцько // Матеріали IV всеукраїнської науково-практичної конференції "Енергоефективність: наука, технології, застосування". Частина І. Київ, 27 листопада 2019 р. - Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2019. - С. 45- 50.

2. Мошноріз М. М. Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст [електронний ресурс] / М. М. Мошноріз, М. С. Гуцько // Матеріали регіональної науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців "Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2020). Електроенергетика та електромеханіка», Вінниця, ВНТУ, 01.05.2020 – 05.05.2020. Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/view/8449.

Дякую за увагу!