

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційно-аналітичних технологій та менеджменту
(повна назва)

Кафедра прикладної математики
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Математичне моделювання та оптимізація режимів роботи головної
каналізаційної насосної станції
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ПМм-18-1
Хандак Д.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 113 Прикладна математика
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Прикладна математика
(повна назва освітньої програми)

Керівник ст.викл. Матвієнко О.І
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ПМ

Тевяшев А.Д.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2019 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційно-аналітичних технологій та менеджменту

Кафедра прикладної математики

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 113 Прикладна математика

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Прикладна математика

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри ПМ _____

(підпис)

“ _____ ” _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Хандаку Даниїлу Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Математичне моделювання та оптимізація режимів роботи
головної каналізаційної насосної станції

затверджена наказом по університету від 31 жовтня 2019 р. № 1600 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 9 грудня 2019 р.

3. Вихідні дані до роботи дані з вахтового журналу головної каналізаційної
насосної станції комунального підприємства «Харківводоканал»

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1. Системний аналіз проблеми моделювання та оптимізації роботи
головної каналізаційної насосної станції

2. Вибір і обґрунтування методу розв'язання

3. Програмна реалізація

4. Результати обчислювального експерименту

5. Аналіз можливих застосувань

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій _____

1. Актуальність теми роботи _____

2. Постановка задачі _____

3. Системний аналіз проблеми _____

4. Метод чисельного аналізу _____

5. Результати обчислювального експерименту _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір та вивчення технічної літератури за темою роботи	вересень 2019 р.	виконано
2	Вибір та обґрунтування методу	жовтень – листопад 2019 р.	виконано
3	Розробка алгоритму і програми	листопад – грудень 2019 р.	виконано
4	Проведення аналітичних досліджень та розрахунків	листопад – грудень 2019 р.	виконано
5	Робота над текстом пояснювальної записки	грудень 2019 р.	виконано
6	Представлення роботи на рецензію в ЕК	грудень 2019 р.	виконано

Дата видачі завдання 2 вересня 2019 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ ст.викл. Матвієнко О.І.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 80 с., 14 табл., 24 рис., 1 дод., 27 джерел.

МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО СТОХАСТИЧНОГО КЕРУВАННЯ,
ГОЛОВНА КАНАЛІЗАЦІЙНА НАСОСНА СТАНЦІЯ, ТРИЗОННИЙ ТАРИФ
НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ОПТИМАЛЬНИЙ РЕЖИМ.

Об'єкт дослідження – Головна каналізаційна насосна станція міських очисних споруд №1 Комунального підприємства «Харківводоканал».

Мета роботи – оцінка обсягу економії фінансових витрат на оплату електроенергії, що витрачається насосними агрегатами на перекачку стічних вод на протязі доби, тижня та місяця при переході від однозонного тарифу на електроенергію до тризонного та при переході від існуючої системи управління режимами роботи головної каналізаційної насосної станції до сучасної системи оптимального стохастичного управління режимами роботи при тризонному тарифі на електроенергію.

Методи дослідження – системний аналіз, метод гілок і меж.

В атестаційній роботі також наведено математичну модель і метод оптимального стохастичного управління режимами роботи каналізаційної насосної станції для тризонного тарифу на електроенергію, реалізація якого забезпечує істотне зниження фінансових витрат електроенергії на перекачку стічних вод. Наведено математичну постановку задачі оптимального стохастичного управління з екстремальними і ймовірнісними обмеженнями на фазові змінні та ефективний алгоритм її вирішення. Запропонований метод оптимального стохастичного управління забезпечує мінімум математичного сподівання обсягів відкачуваних стічних вод на інтервалі часу з більш високим тарифом на електроенергію і максимум математичного сподівання обсягів відкачуваних стічних вод на інтервалі часу з мінімальним тарифом при виконанні всіх технологічних обмежень.

ABSTRACT

Thesis: 80 pages, 14 tables, 24 pictures, 1 addition, 27 sources.

OPTIMAL METHOD OF STOCHASTIC CONTROL, MAIN SEWAGE PUMPING STATION, THREE-ZONE ELECTRICITY TARIFFS, RESOURCE SAVINGS, OPTIMAL MODE.

The object of the research is the main sewage pumping station of the city treatment facilities №1 of the “Kharkivvodokanal” utility company.

The purpose of the work is to estimate the amount of saving financial expenses for the payment of electric power consumed by pumping units of water station during the day, week and month, when switching from a single-zone tariff on the electric power to the three-zone and at the transition from the existing control system to the modes of operation of the state modern system of optimal stochastic control of the operating modes.

The research methods are system analysis, brunch and bound method.

In the attestation work, a mathematical model and a method for optimal stochastic control of sewage pump station operating modes for a three-zone electricity tariff are presented. The proposed models and method most adequately take into account the stochastic properties of the control object and the environment.

A mathematical formulation of the problem of optimal stochastic control with extreme and probabilistic constraints on phase variables and an effective algorithm for solving it are given. The proposed method of optimal stochastic control provides a minimum of mathematical expectation of the volume of pumped waste water over a time interval with a higher electricity tariff and a maximum of mathematical expectation the volume of pumped waste water over a time interval with a minimum tariff when all technological constraints are met.

ЗМІСТ

	С.
Вступ	8
1 Системний аналіз проблеми математичного моделювання та оптимізації роботи головної каналізаційної насосної станції	10
1.1 Системний аналіз проблеми моделювання та оптимізації квазістаціонарних режимів роботи головної каналізаційної насосної станції	10
1.1.1 Вербальна модель системи	36
1.1.2 Морфологічний опис системи	37
1.1.3 Функціональна модель системи	38
1.1.4 Інформаційна модель системи	41
1.2 Аналіз сценаріїв вирішення проблеми математичного моделювання та оптимізації квазістаціонарних режимів роботи головної каналізаційної насосної станції	43
1.2.1 Модель аналізу проблеми	43
1.3 Постановка задачі управління головною каналізаційною насосною станцією	44
1.3.1 Змістовна постановка задачі	44
1.3.2 Формальна постановка задачі	45
1.3.3 Вербальна постановка задачі	46
2 Розробка стохастичних режимів роботи головної каналізаційної насосної станції	48
2.1 Детерміновані моделі технологічних елементів головної каналізаційної насосної станції	48
2.1.1 Детермінована модель насосного агрегату	48
2.1.2 Детермінована модель регулюючої засувки	50
2.1.3 Детермінована модель ділянок трубопроводів	51
2.1.4 Детермінована модель приймального резервуара	52

2.2 Стохастичні моделі елементів головної каналізаційної насосної станції.	52
2.2.1 Стохастична модель насосного агрегату	52
2.2.2 Стохастична модель регулюючої засувки	55
2.2.3 Стохастична модель ділянок трубопроводів	56
2.2.4 Стохастична модель приймального резервуара	57
2.3 Стохастична модель головної каналізаційної насосної станції	58
2.4 Детермінована модель головної каналізаційної насосної станції	60
2.5 Математична постановка задачі оптимального стохастичного управління режимами роботи головної каналізаційної насосної станції .	61
2.6 Метод рішення детермінованого еквіваленту задачі оптимального стохастичного управління режимами роботи головної каналізаційної насосної станції	63
3 Програмна реалізація	66
4 Результати обчислювального експерименту	67
5 Аналіз можливих застосувань	76
Висновки	77
Перелік джерел посилання	78
Додаток А	81

ВСТУП

У комунальному господарстві м. Харкова витрати на електроенергію в системах водопостачання і водовідведення займають близько 25% від усіх експлуатаційних витрат в системах водопостачання. Значне зростання тарифів на електроенергію призвело до гострої необхідності розробки та впровадження енергозберігаючих технологій управління головною каналізаційною насосною станцією (ГКНС). Специфічні особливості ГКНС – відносно малий обсяг приймального резервуару (ПР), жорсткі обмеження на умови його переливу або спорожнення (аварійні ситуації) і однозонний тариф на електроенергію призвели до широкого поширення класичних детермінованих стратегій керування насосними агрегатами (НА) ГКНС.

Метою роботи є оцінка обсягу економії фінансових затрат на оплату електроенергії, що витрачається насосними агрегатами ГКНС на перекачку стічних вод на протязі доби при переході від однозонного тарифу на електроенергію до тризонного та при переході від існуючої системи управління режимами роботи ГКНС до сучасної системи оптимального стохастичного управління режимами роботи ГКНС при тризонному тарифі на електроенергію.

Опис принципу дії насосних агрегатів, їх технічні характеристики, режими роботи, різні способи підключення викладені у праці Кареліна В. Я., Мінаєва А. В., Лобачева П. В. [8]. У роботах Тевяшева А. Д., Лезнова Б. С., Чупина Р. В., Мелехова Е. С. розглядаються проблеми енергозбереження та режими роботи насосних станцій, у тому числі та каналізаційних насосних станцій, оснащених насосними агрегатами з регулюючим приводом [10]. У роботах [12, 13] дані рекомендації по зниженню потреби електроенергії, води та інших ресурсів.

Оперативне планування режимів роботи НС [20], способи оптимізації роботи НС [22] розглянуті в роботах I. Pulido-Calvo, A. Ruuskanen, M. C. Steinbach [17, 18, 19].

В дослідженні [23] проводився гідравлічний аналіз для вивчення впливу експлуатаційних характеристик каналізаційних насосних станцій на погіршення стану каналізаційних колекторів.

У статті [24] досліджується гідравлічний удар у насосній станції з високим напором та характеристики зрівняльного клапана.

У статті [25] розглянуті питання реконструкції та модернізації насосних станцій у випадку аварії.

В роботі [26] розглядається розробка та реалізація налаштованої системи управління та контролю для об'єкту водопостачання.

Робота [23] пропонує метод оптимізації структури каналізаційної насосної станції та мережі каналізаційних труб.

Вивчивши вищевказані роботи, пропонуємо наступну стратегію оптимального планування режимів роботи насосної станції.

1 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ГОЛОВНОЇ КАНАЛІЗАЦІЙНОЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

1.1 Статистичний аналіз експериментальних даних про фактичні режими роботи технологічного обладнання головної каналізаційної насосної станції комунального підприємства «Харківводоканал»

Атестаційна робота присвячена вирішенню проблеми математичного моделювання та оптимізації режимів роботи ГКНС.

ГКНС відносяться до класу штучних систем, цільовим призначенням яких є відкачка стічних вод (СВ) від споживачів. ГКНС складається з наступних елементів: насосні агрегати, ділянки трубопроводу, регулюючі засувки, приймальний резервуар, вхідний колектор. На рис. 1.1 наведено схему типової ГКНС.

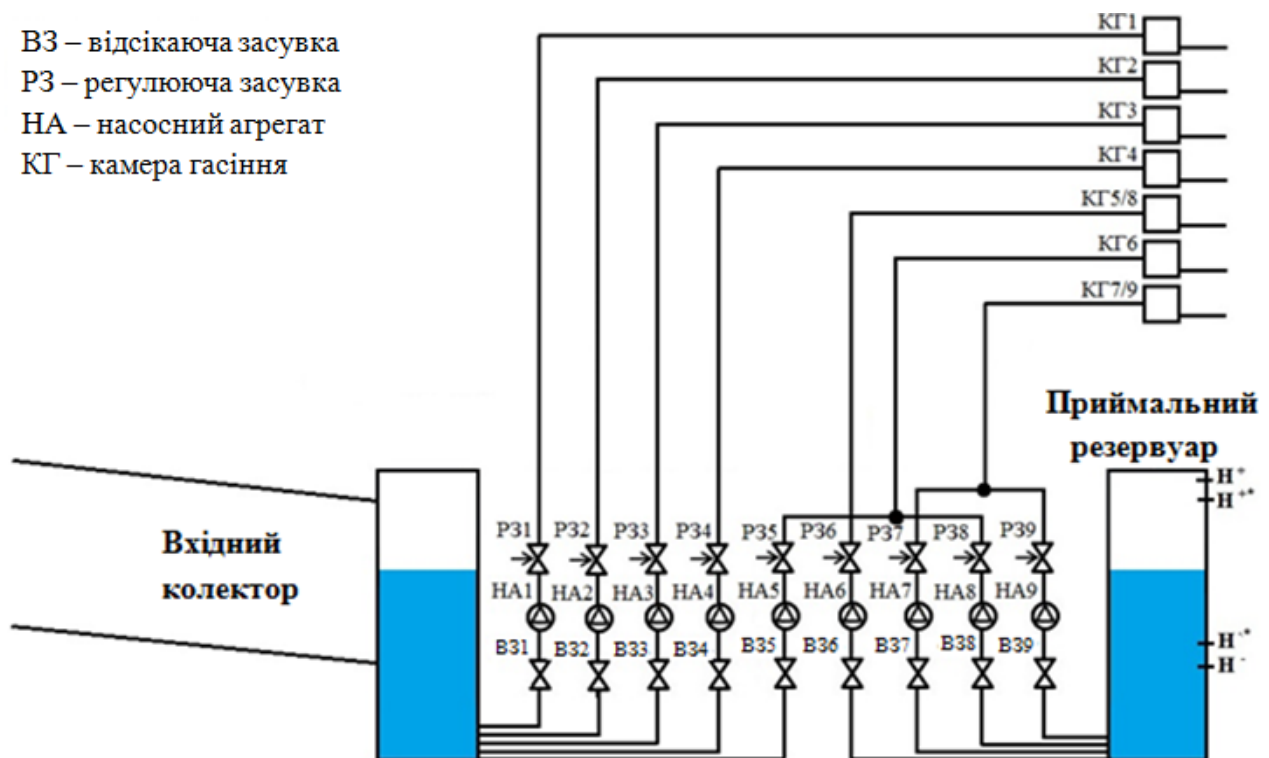


Рисунок 1.1 – Структура ГКНС

На рис. 1.1 H^+ , H^- – максимально допустимий та мінімально допустимий рівень води у ПР; H^{+*} , H^{-*} – розрахункові значення максимально допустимого і мінімально допустимого рівня води у приймальному резервуарі (ПР)

В даній роботі ГКНС розглядається як стохастичний об'єкт, що функціонує в стохастичному середовищі. До зовнішнього середовища відносяться процеси подачі води в ПР і споживачі, що характеризуються стохастичними процесами споживання води. Стохастичний характер зовнішнього середовища проявляється в стохастичному характері подачі води в ПР в ГКНС і стохастичному характері процесів споживання води всіма категоріями споживачів води. Стохастичний характер об'єкта управління проявляється:

а) В надзвичайно високій інтенсивності відмов технологічного обладнання, пов'язаних з його технічним зношенням внаслідок використання технологічного обладнання понад встановлені строки його експлуатації; порушення термінів і обсягів проведення профілактичних і ремонтно-відновлювальних робіт;

б) в тому, що параметри технологічного обладнання ГКНС апріорно відомі для його паспортних характеристик, які близькі до реальних при введенні технологічного обладнання в експлуатацію, внаслідок фізичного зносу технологічного устаткування в процесі експлуатації його фактичні параметри починають істотно відрізнятися від своїх паспортних значень і для моделювання та оптимізації повинні бути оцінені за експериментальними даними вибірок кінцевої довжини; відомо, що експериментальні оцінки, побудовані за вибірками кінцевої довжини, є випадковими величинами.

Основна мета розвитку ГКНС:

- а) безперебійна відкачка стічних вод у необхідних обсягах;
- б) підвищення ефективності організації та управління роботою ГКНС;
- в) модернізація та розвиток ГКНС;
- г) використання нових енерго та ресурсозберігаючих технологій;
- д) забезпечення екологічної безпеки.

Побудова ефективної системи управління ГКНС заснована на використанні сучасних засобів математичного моделювання і оптимального стохастичного управління процесами відкачки води.

Математичні моделі сталого потоку розподілу (СПР) дозволяють адекватно описувати стаціонарний режим роботи ГКНС у фіксований момент часу t . Фактичні режими роботи ГКНС є суттєво нестаціонарними, проте використання нестаціонарних моделей дозволяє адекватно описувати режими роботи ГКНС на інтервалі часу $[0, T]$, але вимагає такого обсягу оперативної інформації, який в реальних умовах забезпечити неможливо. Тому у даній роботі використовувалися математичні моделі квазістаціонарних режимів роботи ГКНС, які дозволяють не розраховувати кожен траєкторію (зміна тиску в вузлах і витрат по ділянках ГКНС для кожного моменту часу $t \in [0, T]$), а розраховувати тільки верхню і нижню межу цих траєкторій. В реальних умовах основними збуджуючими факторами є стохастичні процеси споживання води, які залежать від величезної кількості неконтрольованих і некерованих факторів, а параметри моделі СПР, які оцінюються за вибірками експериментальних даних кінцевої довжини, самі є випадковими величинами. Для оперативного управління раціональних режимів функціонування ГКНС більш адекватними є моделі квазістаціонарних режимів відкачки води на заданому інтервалі часу.

ГКНС, представлена на рис. 1.1, оснащена п'ятьма насосними агрегатами (НА) типу FLYGT СТ 3531 (НА1, НА3, НА5, НА6, НА7) та чотирма НА типу СДВ 9000/45 (НА2, НА4, НА8, НА9), паспортні характеристики яких приведені далі на рис. 4.1, апроксимовані параметри у табл. 1.1

Для аналізу фактичних режимів роботи технологічного обладнання ГКНС були використані данні диспетчерських журналів у період з 2015-2016 г. при існуючій системі оперативно-диспетчерського управління режимами роботи ГКНС. Дані з оригіналів журналів наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Кількість перекачаних стоків та витрата електроенергії
ГКНС за березень – квітень 2015 р.

Березень	День тижня	Головна насосна станція		Квітень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок. по доб.	Фактич.			Розрахунок. по доб.	Фактич.
1	Нед.	345 580	47 513	1	Ср.	387 380	49 957
2	Пн.	353 940	48 988	2	Чт.	374 840	48 112
3	Вт.	318 360	46 722	3	Пт.	349 760	45 218
4	Ср.	353 860	47 873	4	Сб.	349 760	44 945
5	Чт.	353 860	47 264	5	Нед.	341 400	44 550
6	Пт.	349 680	48 369	6	Пн.	362 300	46 770
7	Сб.	349 680	48 737	7	Вт.	353 880	46 086
8	Нед.	337 140	47 189	8	Ср.	358 120	47 973
9	Пн.	337 140	46 946	9	Чт.	358 760	46 982
10	Вт.	345 500	46 059	10	Пт.	338 500	45 573
10	Усього:	3 444 740	475 660	10	Усього:	3 574 700	466 166
днів	Середн.:	344 474,0	47 566,0	днів	Середн.:	357 470,0	46 616,6
із них	Макс.:	353 940	48 988	із них	Макс.:	387 380	49 957
10	Мін.:	318 360	46 059	10	Мін.:	338 500	44 550
11	Ср.	337 140	45 924	11	Сб.	366 480	46 976
12	Чт.	328 780	45 004	12	Нед.	324 680	43 488
13	Пт.	341 320	46 453	13	Пн.	341 400	44 164
14	Сб.	337 140	46 242	14	Вт.	366 480	47 637
15	Нед.	341 320	46 782	15	Ср.	370 660	48 518
16	Пн.	345 500	47 480	16	Чт.	379 020	49 167

Продовження таблиці 1.1

Березень	День тижня	Головна насосна станція		Квітень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок. по доб.	Фактич.			Розрахунок. по доб.	Фактич.
17	Вт.	332 960	46 637	17	Пт.	374 840	48 488
18	Ср.	337 140	47 204	18	Сб.	374 840	48 465
19	Чт.	337 140	46 833	19	Нед.	379 020	49 486
20	Пт.	337 140	46 489	20	Пн.	399 920	51 993
10	Усього:	3 375 580	465 048	10	Усього:	3 677 340	478 382
днів	Середн.:	337 558,0	46 504,8	днів	Середн.:	367 734,0	47 838,2
із них	Макс.:	345 500	47 480	із них	Макс.:	399 920	51 993
10	Мін.:	328 780	45 004	10	Мін.:	324 680	43 488
20	Всього:	6 820 320	940 708	20	Усього:	7 252 040	944 548
днів,	Средн.:	341 016,0	47 035,4	днів	Середн.:	362 602,0	47 227,4
із них	Макс.:	353 940	48 988	із них	Макс.:	399 920	51 993
20	Мін.:	318 360	45 004	20	Мін.:	324 680	43 488
21	Сб.	341 320	46 036	21	Вт.	391 560	51 213
22	Нед.	332 960	45 623	22	Ср.	349 760	46 331
23	Пн.	337 140	47 157	23	Чт.	307 960	43 353
24	Вт.	332 960	46 699	24	Пт.	333 040	44 138
25	Ср.	332 960	46 349	25	Сб.	337 220	44 690
26	Чт.	337 140	46 650	26	Нед.	312 140	41 106
27	Пт.	328 780	44 704	27	Пн.	337 220	44 754
28	Сб.	345 500	46 946	28	Вт.	349 760	45 287
29	Нед.	341 320	46 408	29	Ср.	353 940	46 757

Кінець таблиці 1.1

Березень	День тижня	Головна насосна станція		Квітень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок. по доб.	Фактич.			Розрахунок. по доб.	Фактич.
30	Пн.	370 580	47 734	30	Чт.	328 860	44 617
31	Вт.	327 440	45 920	10	Усього:	3 401 460	452 246
11	Усього:	3 728 100	510 226	днів	Середн.:	340 146,0	45 224,6
днів	Середн.:	338 918,2	46 384,2	із них	Макс.:	391 560	51 213
із них	Макс.:	370 580	47 734	10	Мін.:	307 960	41 106
11	Мін.:	327 440	44 704	30	Усього:	10 653 500	1 396 794
31	Усього:	10 548 420	1 450 934	днів	Середн.:	355 116,7	46 559,8
день	Середн.:	340 271,6	46 804,3	із них	Макс.:	399 920	51 993
із них	Макс.:	370 580	48 988	30	Мін.:	307 960	41 106
31	Мін.:	318 360	44 704				

Таблиця 1.2 – Кількість перекачаних стоків та витрата електроенергії
ГКНС за травень – червень 2015 р.

Травень	День тижня	Головна насосна станція		Червень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок. по доб.	Фактич.			Розрахунок. по доб.	Фактич.
1	Пт.	316 320	43 219	1	Пн.	312 140	43 064

Продовження таблиці 1.2

Травень	День тижня	Головна насосна станція		Червень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок. по доб.	Фактич.			Розрахунок. по доб.	Фактич.
2	Сб.	303 780	42 450	2	Вт.	310 260	43 431
3	Нед.	328 860	43 821	3	Ср.	305 140	42 431
4	Пн.	358 120	47 112	4	Чт.	305 140	42 229
5	Вт.	316 320	44 007	5	Пт.	305 140	42 611
6	Ср.	312 140	43 656	6	Сб.	296 780	41 948
7	Чт.	316 320	45 310	7	Нед.	292 600	41 441
8	Пт.	333 040	44 980	8	Пн.	318 960	44 077
9	Сб.	320 500	43 826	9	Вт.	300 960	41 730
10	Нед.	307 960	43 397	10	Ср.	284 240	40 146
10	Усього:	3 213 360	441 778	10	Усього:	3 031 360	423 108
днів	Середн.:	321 336,0	44 177,8	днів	Середн.:	303 136,0	42 310,8
із них	Макс.:	358 120	47 112	із них	Макс.:	318 960	44 077
10	Мін.:	303 780	42 450	10	Мін.:	284 240	40 146
11	Пн.	333 040	44 609	11	Чт.	305 140	41 850
12	Вт.	333 040	43 823	12	Пт.	317 680	43 105
13	Ср.	320 500	43 609	13	Сб.	313 500	42 716
14	Чт.	307 960	42 893	14	Нед.	305 140	41 790
15	Пт.	328 860	42 488	15	Пн.	321 860	43 245
16	Сб.	307 960	41 092	16	Вт.	334 400	43 731
17	Нед.	316 320	42 330	17	Ср.	363 320	45 545
18	Пн.	337 220	44 215	18	Чт.	319 260	44 077

Продовження таблиці 1.2

Травень	День тижня	Головна насосна станція		Червень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок. по доб.	Фактич.			Розрахунок. по доб.	Фактич.
19	Вт.	341 400	44 263	19	Пт.	345 320	45 033
20	Ср.	345 580	43 961	20	Сб.	333 040	43 032
10	Усього:	3 271 880	433 283	10	Усього:	3 258 660	434 124
днів	Середн.:	327 188,0	43 328,3	днів	Середн.:	325 866,0	43 412,4
із них	Макс.:	345 580	44 609	із них	Макс.:	363 320	45 545
10	Мін.:	307 960	41 092	10	Мін.:	305 140	41 790
20	Усього:	6 485 240	875 061	20	Усього:	6 290 020	857 232
дней	Середн.:	324 262,0	43 753,1	днів	Середн.:	314 501,0	42 861,6
из них	Макс.:	358 120	47 112	із них	Макс.:	363 320	45 545
20	Мін.:	303 780	41 092	20	Мін.:	284 240	40 146
21	Чт.	299 600	41 261	21	Нед.	316 320	42 224
22	Пт.	303 780	43 100	22	Пн.	311 240	41 950
23	Сб.	316 320	43 340	23	Вт.	305 140	41 825
24	Нед.	320 500	43 362	24	Ср.	305 140	41 813
25	Пн.	299 600	44 611	25	Чт.	305 140	41 770
26	Вт.	299 600	42 300	26	Пт.	375 480	46 721
27	Ср.	305 780	42 522	27	Сб.	307 960	41 302
28	Чт.	301 260	42 043	28	Нед.	291 240	40 974
29	Пт.	320 500	43 235	29	Пн.	357 140	45 990
30	Сб.	312 140	43 867	30	Вт.	360 040	46 173
31	Нед.	291 240	42 877	10	Усього:	3 234 840	430 742

Кінець таблиці 1.2

Травень	День тижня	Головна насосна станція		Червень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок. по доб.	Фактич.			Розрахунок. по доб.	Фактич.
11	Усього:	3 370 320	472 518	днів	Средн.:	323 484,0	43 074,2
днів	Середн.:	306 392,7	42 956,2	із них	Макс.:	375 480	46 721
із них	Макс.:	320 500	44 611	10	Мін.:	291 240	40 974
11	Мін.:	291 240	41 261	30	Усього:	9 524 860	1 287 974
31	Усього:	9 855 560	1 347 579	днів	Середн.:	317 495,3	42 932,5
день	Середн.:	317 921,3	43 470,3	із них	Макс.:	375 480	46 721
із них	Макс.:	358 120	47 112	30	Мін.:	284 240	40 146
31	Мін.:	291 240	41 092				

Таблиця 1.3 – Кількість перекачаних стоків та витрата електроенергії
ГКНС за липень – серпень 2015 р.

Липень	День тижня	Головна насосна станція		Серпень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок. по доб.	Фактич.			Розрахунок. по доб.	Фактич.
1	Ср.	290 000	41 432	1	Сб.	267 520	34 669

Продовження таблиці 1.3

Липень	День тижня	Головна насосна станція		Серпень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок по доб.	Фактич.			Розрахунок по доб.	Фактич.
2	Чт.	292 600	41 546	2	Нед.	259 160	33 445
3	Пт.	292 600	41 509	3	Пн.	284 240	35 297
4	Сб.	280 060	39 383	4	Вт.	292 600	36 387
5	Нед.	284 240	40 275	5	Ср.	292 600	36 317
6	Пн.	284 240	40 257	6	Чт.	288 420	35 855
7	Вт.	284 240	40 338	7	Пт.	267 520	33 365
8	Ср.	300 960	41 492	8	Сб.	254 980	31 831
9	Чт.	296 780	41 422	9	Нед.	250 800	31 374
10	Пт.	280 060	39 260	10	Пн.	274 860	34 320
10	Усього:	2 885 780	406 914	10	Усього:	2 732 700	342 860
днів	Середн.:	288 578,0	40 691,4	днів	Середн.:	273 270,0	34 286,0
із них	Макс.:	300 960	41 546	із них	Макс.:	292 600	36 387
10	Мін.:	280 060	39 260	10	Мін.:	250 800	31 374
11	Сб.	280 060	38 917	11	Вт.	290 000	36 262
12	Нед.	280 060	38 401	12	Ср.	280 060	34 963
13	Пн.	287 040	38 979	13	Чт.	267 520	33 566
14	Вт.	312 060	40 402	14	Пт.	267 520	33 380
15	Ср.	393 060	51 188	15	Сб.	280 060	35 038
16	Чт.	330 700	42 829	16	Нед.	259 160	32 341
17	Пт.	312 060	40 429	17	Пн.	275 880	34 470
18	Сб.	332 960	43 009	18	Вт.	275 880	34 890

Продовження таблиці 1.3

Липень	День тижня	Головна насосна станція		Серпень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок по доб.	Фактич.			Розрахунок по доб.	Фактич.
19	Нед.	295 340	39 602	19	Ср.	275 880	34 487
20	Пн.	303 700	39 982	20	Чт.	268 800	33 745
10	Усього:	3 127 040	413 738	10	Усього:	2 740 760	343 142
днів	Середн.:	312 704,0	41 373,8	днів	Середн.:	274 076,0	34 314,2
із них	Макс.:	393 060	51 188	із них	Макс.:	290 000	36 262
10	Мін.:	280 060	38 401	10	Мін.:	259 160	32 341
20	Усього:	6 012 820	820 652	20	Усього:	5 473 460	686 002
днів,	Середн.:	300 641,0	41 032,6	днів	Середн.:	273 673,0	34 300,1
із них	Макс.:	393 060	51 188	із них	Макс.:	292 600	36 387
20	Мін.:	280 060	38 401	20	Мін.:	250 800	31 374
21	Вт.	332 960	43 074	21	Пт.	271 700	33 880
22	Ср.	307 880	40 459	22	Сб.	280 060	34 984
23	Чт.	291 820	38 683	23	Нед.	280 060	35 044
24	Пт.	275 540	35 596	24	Пн.	280 060	35 033
25	Сб.	264 620	34 177	25	Вт.	292 600	36 389
26	Нед.	259 160	33 458	26	Ср.	284 240	35 518
27	Пн.	280 060	36 284	27	Чт.	280 060	35 039
28	Вт.	360 720	46 675	28	Пт.	280 060	35 050
29	Ср.	292 900	37 967	29	Сб.	284 240	35 535
30	Чт.	288 420	37 248	30	Нед.	275 880	34 459
31	Пт.	292 600	38 022	31	Пн.	292 600	36 295

Кінець таблиці 1.3

Липень	День тижня	Головна насосна станція		Серпень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок. по доб.	Фактич.			Розрахунок. по доб.	Фактич.
11	Усього:	3 246 680	421 643	11	Усього:	3 101 560	387 226
днів	Середн.:	295 152,7	38 331,2	днів	Середн.:	281 960,0	35 202,4
із них	Макс.:	360 720	46 675	із них	Макс.:	292 600	36 389
11	Мін.:	259 160	33 458	11	Мін.:	271 700	33 880
31	Всього:	9 259 500	1 242 295	31	Усього:	8 575 020	1 073 228
день	Середн.:	298 693,5	40 074,0	день	Середн.:	276 613,5	34 620,3
із них	Макс.:	393 060	51 188	із них	Макс.:	292 600	36 389
31	Мін.:	259 160	33 458	31	Мін.:	250 800	31 374

Таблиця 1.4 – Кількість перекачаних стоків та витрата електроенергії
ГКНС за вересень – жовтень 2015 р.

Вересень	День тижня	Головна насосна станція		Жовтень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок по доб.	Фактич.			Розрахунок по доб.	Фактич.
1	Вт.	309 320	39 767	1	Чт.	297 080	38 562
2	Ср.	316 720	40 866	2	Пт.	313 500	40 511
3	Чт.	312 060	40 338	3	Сб.	292 600	37 778

Продовження таблиці 1.4

Вересень		Головна насосна станція		Жовтень		Головна насосна станція	
2015	День тижня	Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015	День тижня	Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок по доб.	Фактич.			Розрахунок по доб.	Фактич.
4	Пт.	303 700	39 260	4	Нед.	305 140	39 402
5	Сб.	303 700	39 253	5	Пн.	334 400	43 449
6	Нед.	303 700	39 263	6	Вт.	334 400	43 451
7	Пн.	299 940	38 892	7	Ср.	309 320	39 951
8	Вт.	284 240	36 580	8	Чт.	313 500	40 532
9	Ср.	296 780	38 178	9	Пт.	326 040	42 093
10	Чт.	305 140	39 316	10	Сб.	330 220	42 861
10	Усього:	3 035 300	391 713	10	Усього:	3 156 200	408 590
днів	Середн.:	303 530,0	39 171,3	днів	Середн.:	315 620,0	40 859,0
із них	Макс.:	316 720	40 866	із них	Макс.:	334 400	43 451
10	Мін.:	284 240	36 580	10	Мін.:	292 600	37 778
11	Пт.	309 320	39 777	11	Нед.	347 580	45 017
12	Сб.	288 420	37 133	12	Пн.	332 140	43 160
13	Нед.	300 960	38 689	13	Вт.	334 400	43 450
14	Пн.	330 220	42 827	14	Ср.	334 400	43 456
15	Вт.	284 240	36 576	15	Чт.	354 640	45 849
16	Ср.	300 960	38 662	16	Пт.	325 860	42 271
17	Чт.	263 340	33 756	17	Сб.	338 580	44 015
18	Пт.	242 440	31 416	18	Нед.	355 940	46 030

Продовження таблиці 1.4

Вересень		Головна насосна станція		Жовтень		Головна насосна станція	
2015	День тижня	Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015	День тижня	Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок по доб.	Фактич.			Розрахунок по доб.	Фактич.
19	Сб.	296 780	38 212	19	Пн.	327 820	42 744
20	Нед.	288 420	37 206	20	Вт.	308 840	40 565
10	Усього:	2 905 100	374 254	10	Усього:	3 360 200	436 557
днів	Середн.:	290 510,0	37 425,4	днів	Середн.:	336 020,0	43 655,7
із них	Макс.:	330 220	42 827	із них	Макс.:	355 940	46 030
10	Мін.:	242 440	31 416	10	Мін.:	308 840	40 565
20	Усього:	5 940 400	765 967	20	Усього:	6 516 400	845 147
днів	Средн.:	297 020,0	38 298,4	днів	Середн.:	325 820,0	42 257,4
із них	Макс.:	330 220	42 827	із них	Макс.:	355 940	46 030
20	Мін.:	242 440	31 416	20	Мін.:	292 600	37 778
21	Пн.	305 140	39 354	21	Ср.	326 040	41 688
22	Вт.	305 140	39 367	22	Чт.	321 860	41 272
23	Ср.	292 600	37 737	23	Пт.	337 620	43 865
24	Чт.	300 960	39 068	24	Сб.	320 420	41 410
25	Пт.	313 500	40 718	25	Нед.	341 320	44 477
26	Сб.	309 320	40 120	26	Пн.	337 140	43 826
27	Нед.	284 240	36 591	27	Вт.	328 780	42 874
28	Пн.	312 480	40 623	28	Ср.	328 780	42 880

Кінець таблиці 1.4

Вересень	День тижня	Головна насосна станція		Жовтень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок по доб.	Фактич.			Розрахунок по доб.	Фактич.
29	Вт.	307 880	39 891	29	Чт.	325 560	42 518
30	Ср.	286 340	36 895	30	Пт.	315 720	41 041
10	Усього:	3 017 600	390 364	31	Сб.	317 680	41 196
днів	Середн.:	301 760,0	39 036,4	11	Усього:	3 600 920	467 047
із них	Макс.:	313 500	40 718	Днів	Середн.:	327 356,4	42 458,8
10	Мин.:	284 240	36 591	из них	Макс.:	341 320	44 477
30	Усього:	8 958 000	1 156 331	11	Мін.:	315 720	41 041
днів	Середн.:	298 600,0	38 544,4	31	Усього:	10 117 320	1 312 194
із них	Макс.:	330 220	42 827	день	Середн.:	326 365,2	42 328,8
30	Мин.:	242 440	31 416	із них	Макс.:	355 940	46 030
				31	Мін.:	292 600	37 778

Таблиця 1.5 – Кількість перекачаних стоків та витрата електроенергії
ГКНС за листопад – грудень 2015 р.

Листопад	День тижня	Головна насосна станція		Грудень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок по доб.	Фактич.			Розрахунок по доб.	Фактич.
1	Нед.	309 320	40 334	1	Вт.	349 680	45 203
2	Пн.	334 400	43 450	2	Ср.	358 040	46 124
3	Вт.	338 580	44 011	3	Чт.	370 580	47 445
4	Ср.	330 220	42 899	4	Пт.	341 320	44 329
5	Чт.	326 040	42 097	5	Сб.	328 780	42 821
6	Пт.	317 680	41 204	6	Нед.	358 980	46 434
7	Сб.	326 040	42 461	7	Пн.	336 840	43 726
8	Нед.	326 040	42 468	8	Вт.	316 240	41 012
9	Пн.	305 500	39 482	9	Ср.	312 060	40 544
10	Вт.	312 140	40 635	10	Чт.	320 420	42 063
10	Усього:	3 225 960	419 041	10	Усього:	3 392 940	439 701
днів	Середн.:	322 596,0	41 904,1	днів	Середн.:	339 294,0	43 970,1
із них	Макс.:	338 580	44 011	із них	Макс.:	370 580	47 445
10	Мін.:	305 500	39 482	10	Мін.:	312 060	40 544
11	Ср.	328 860	42 877	11	Пт.	312 060	40 549
12	Чт.	321 140	41 532	12	Сб.	307 880	39 853
13	Пт.	370 660	47 448	13	Нед.	324 600	44 387
14	Сб.	335 980	40 536	14	Пн.	350 920	46 085
15	Нед.	345 580	44 072	15	Вт.	316 320	41 004

Продовження таблиці 1.5

Листопад		Головна насосна станція		Грудень		Головна насосна станція	
2015	День тижня	Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015	День тижня	Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок по доб.	Фактич.			Розрахунок по доб.	Фактич.
16	Пн.	326 980	43 165	16	Ср.	325 320	43 127
17	Вт.	330 220	42 818	17	Чт.	328 780	42 822
18	Ср.	321 860	42 122	18	Пт.	324 600	42 908
19	Чт.	334 400	43 870	19	Сб.	324 600	42 902
20	Пт.	352 780	48 147	20	Нед.	341 320	45 228
10	Усього:	3 368 460	436 587	10	Усього:	3 256 400	428 865
днів	Середн.:	336 846,0	43 658,7	днів	Середн.:	325 640,0	42 886,5
із них	Макс.:	370 660	48 147	із них	Макс.:	350 920	46 085
10	Мін.:	321 140	40 536	10	Мін.:	307 880	39 853
20	Усього:	6 594 420	855 628	20	Усього:	6 649 340	868 566
днів	Середн.:	329 721,0	42 781,4	днів	Середн.:	332 467,0	43 428,3
із них	Макс.:	370 660	48 147	із них	Макс.:	370 580	47 445
20	Мін.:	305 500	39 482	20	Мін.:	307 880	39 853
21	Сб.	346 780	41 891	21	Пн.	362 220	46 715
22	Нед.	351 900	46 292	22	Вт.	349 680	45 201
23	Пн.	368 320	45 407	23	Ср.	345 500	44 793
24	Вт.	324 600	44 386	24	Чт.	311 420	41 173
25	Ср.	332 960	43 644	25	Пт.	333 040	43 187
26	Чт.	337 140	43 808	26	Сб.	353 940	46 511

Кінець таблиці 1.5

Листопад	День тижня	Головна насосна станція		Грудень	День тижня	Головна насосна станція	
2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2015		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок по доб.	Фактич.			Розрахунок по доб.	Фактич.
27	Пт.	337 140	43 798	27	Нед.	324 680	42 909
28	Сб.	345 500	44 796	28	Пн.	333 040	43 182
29	Нед.	358 040	46 467	29	Вт.	307 960	39 920
30	Пн.	362 220	46 717	30	Ср.	333 040	43 185
10	Усього:	3 464 600	447 206	31	Чт.	353 940	46 510
днів	Середн.:	346 460,0	44 720,6	11	Усього:	3 708 460	483 286
із них	Макс.:	368 320	46 717	днів	Середн.:	337 132,7	43 935,1
10	Мін.:	324 600	41 891	із них	Макс.:	362 220	46 715
30	Усього:	10 059 020	1 302 834	11	Мін.:	307 960	39 920
днів	Середн.:	335 300,7	43 427,8	31	Усього:	10 357 800	1 351 852
із них	Макс.:	370 660	48 147	день	Середн.:	334 122,6	43 608,1
30	Мін.:	305 500	39 482	із них	Макс.:	370 580	47 445
				31	Мін.:	307 880	39 853

Таблиця 1.6 – Кількість перекачаних стоків та витрата електроенергії
ГКНС за січень – лютий 2016 р.

Січень	День тижня	Головна насосна станція		Лютий	День тижня	Головна насосна станція	
2016		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2016		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок по доб.	Фактич.			Розрахунок по доб.	Фактич.
1	Пт.	303780	39853	1	Пн.	342040	45319
2	Сб.	316320	40960	2	Вт.	328780	42820
3	Нед.	333040	43549	3	Ср.	376980	48627
4	Пн.	337220	44130	4	Чт.	368620	47797
5	Вт.	328860	42832	5	Пт.	328740	43185
6	Ср.	337220	44137	6	Сб.	341400	44886
7	Чт.	328860	42833	7	Нед.	324680	42293
8	Пт.	337220	44145	8	Пн.	366480	47514
9	Сб.	316320	40964	9	Вт.	320500	41627
10	Нед.	341400	45246	10	Ср.	316320	40966
10	Усього:	3280240	428649	10	Усього:	3414540	445034
днів	Середн.:	328024	42864,9	днів	Середн.:	341454	44503,4
із них	Макс.:	341400	45246	із них	Макс.:	376980	48627
10	Мін.:	303780	39853	10	Мін.:	316320	40966
11	Пн.	353940	46516	11	Чт.	337220	44143
12	Вт.	411480	53641	12	Пт.	349760	45202
13	Ср.	448460	59069	13	Сб.	337220	44146
14	Чт.	362300	46721	14	Нед.	452940	59647
15	Пт.	349760	45202	15	Пн.	402480	52475
16	Сб.	333700	43636	16	Вт.	408280	53230

Продовження таблиці 1.6

Січень	День тижня	Головна насосна станція		Лютий	День тижня	Головна насосна станція	
2016		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2016		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок по доб.	Фактич.			Розрахунок по доб.	Фактич.
17	Нед.	341320	45234	17	Ср.	370660	48056
18	Пн.	337780	44139	18	Чт.	342760	45411
19	Вт.	332960	43535	19	Пт.	337140	44129
20	Ср.	337140	44117	20	Сб.	345500	45932
10	Усього:	3608840	471810	10	Усього:	3683960	482371
днів	Середн.:	360884	47181	днів,	Середн.:	368396	48237,1
із них	Макс.:	448460	59069	із них	Макс.:	452940	59647
10	Мін.:	332960	43535	10	Мін.:	337140	44129
20	Усього:	6889080	900459	20	Усього:	7098500	927405
днів	Середн.:	344454	45023	днів	Середн.:	354925	46370,3
із них	Макс.:	448460	59069	із них	Макс.:	452940	59647
20	Мин.:	303780	39853	20	Мін.:	316320	40966
21	Чт.	328780	42815	21	Нед.	345500	45925
22	Пт.	341320	45235	22	Пн.	343940	45734
23	Сб.	345500	45915	23	Вт.	333040	43603
24	Нед.	345500	45921	24	Ср.	362300	46968
25	Пн.	349680	46201	25	Чт.	370660	48051
26	Вт.	345500	45924	26	Пт.	337220	44136
27	Ср.	337140	44128	27	Сб.	333040	43601
28	Чт.	341320	45221	28	Нед.	337220	44147
29	Пт.	368160	47728	29	Пн.	328860	43520

Кінець таблиці 1.6

Січень	День тижня	Головна насосна станція		Лютий	День тижня	Головна насосна станція	
2016		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт	2016		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
		Розрахунок по доб.	Фактич.			Розрахунок по доб.	Фактич.
30	Сб.	324680	42288	9	Усього:	3091780	405685
31	Нед.	353940	46520	днів	Середн:	343531,1	45076,1
11	Усього:	3781520	497896	із них	Макс:	370660	48051
днів	Середн:	343774,5	45263,3	9	Мін.:	328860	43520
із них	Макс:	368160	47728	29	Усього:	10190280	1333090
11	Мін:	324680	42288	днів	Середн:	351389	45968,6
31	Усього:	10670600	1398355	із них	Макс:	452940	59647
день	Середн:	344212,9	45108,2	29	Мін:	316320	40966
із них	Макс:	448460	59069				
31	Мін:	303780	39853				

Таблиця 1.7 – Кількість перекачаних стоків та витрата електроенергії ГКНС за березень – квітень 2016 р.

Березень	День тижня	Головна насосна станція		Квітень	День тижня	Головна насосна станція	
		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт			Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
2016		Розрахунок. по доб.	Фактич.	2016		Розрахунок. по доб.	Фактич.
1	Вт.	312140	40425	1	Пт.	312060	40768

Продовження таблиці 1.7

Березень	День тижня	Головна насосна станція		Квітень	День тижня	Головна насосна станція	
		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт			Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
2016		Розрахунок по доб.	Фактич.	2016		Розрахунок по доб.	Фактич.
2	Ср.	337220	44145	2	Сб.	374760	49021
3	Чт.	328860	43519	3	Нед.	345500	45575
4	Пт.	328860	43522	4	Пн.	353860	46514
5	Сб.	333040	43597	5	Вт.	337140	44130
6	Нед.	324680	42288	6	Ср.	341320	45217
7	Пн.	324680	42298	7	Чт.	337140	44121
8	Вт.	337220	44148	8	Пт.	341320	45249
9	Ср.	312140	40422	9	Сб.	324600	42319
10	Чт.	323440	41947	10	Нед.	332960	43621
10	Усього:	3262280	426311	10	Усього:	3400660	446535
днів	Середн.:	326228	42631,1	днів	Середн.:	340066	44654
із них	Макс.:	337220	44148	із них	Макс.:	374760	49021
10	Мін.:	312140	40422	10	Мін.:	312060	40768
11	Пт.	302200	39130	11	Пн.	337140	44126
12	Сб.	333040	43604	12	Вт.	337140	44130
13	Нед.	362300	47399	13	Ср.	324600	42324
14	Пн.	387380	50664	14	Чт.	341320	45222
15	Вт.	314740	40765	15	Пт.	334880	43842
16	Ср.	337260	44151	16	Сб.	332960	43541

Продовження таблиці 1.7

Березень	День тижня	Головна насосна станція		Квітень	День тижня	Головна насосна станція	
		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт			Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
2016		Розрахунок по доб.	Фактич.	2016		Розрахунок по доб.	Фактич.
17	Чт.	337220	44144	17	Нед.	332960	43538
18	Пт.	328860	43388	18	Пн.	341320	45232
19	Сб.	324680	42292				
20	Нед.	337220	44141				
10	Усього:	3364900	439678				
днів	Середн:	336490	43967,8				
із них	Макс:	387380	50664				
10	Мін:	302200	39130				
20	Усього:	6627180	865989				
днів	Середн.:	331359	43299,5				
із них	Макс.:	387380	50664				
20	Мін.:	302200	39130				
21	Пн.	341400	44681				
22	Вт.	353940	46523				
23	Ср.	328860	43515				
24	Чт.	433360	57094				

Кінець таблиці 1.7

Березень	День тижня	Головна насосна станція		Квітень	День тижня	Головна насосна станція	
		Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт			Перекачка стоків	Витрата ел. ен., кВт
2016		Розрахунок по доб.	Фактич.	2016		Розрахунок по доб.	Фактич.
25	Пт.	358120	47061				
26	Сб.	353940	46529				
27	Нед.	333040	43591				
28	Пн.	333040	43602				
29	Вт.	353940	46525				
30	Ср.	345580	45942				
31	Чт.	349760	45205				
11	Усього:	3884980	510268				
днів	Середн.:	353180	46388				
із них	Макс.:	433360	57094				
11	Мін.:	328860	43515				
31	Усього:	10512160	1376257				
день	Середн.:	339101,9	44395,4				
із них	Макс.:	433360	57094				
31	Мін.:	302200	39130				

На рис. 1.2 зображені графіки об'ємів перекачки стічних вод ГКНС за 2015 рік по місяцям.

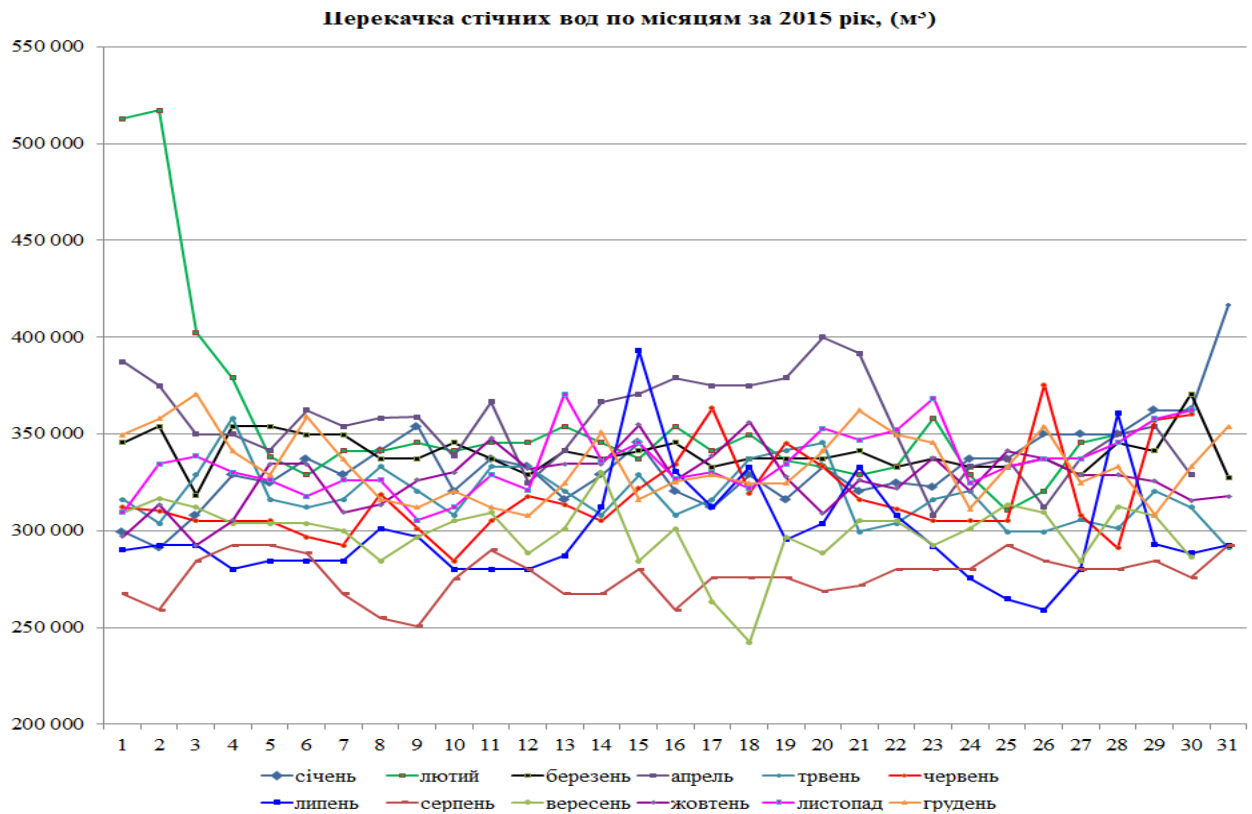


Рисунок 1.2 – Графіки перекачки стічних вод ГКНС за 2015 рік по місяцям

На рис. 1.3 зображені графіки витрат електроенергії ГКНС за 2015 рік по місяцям.

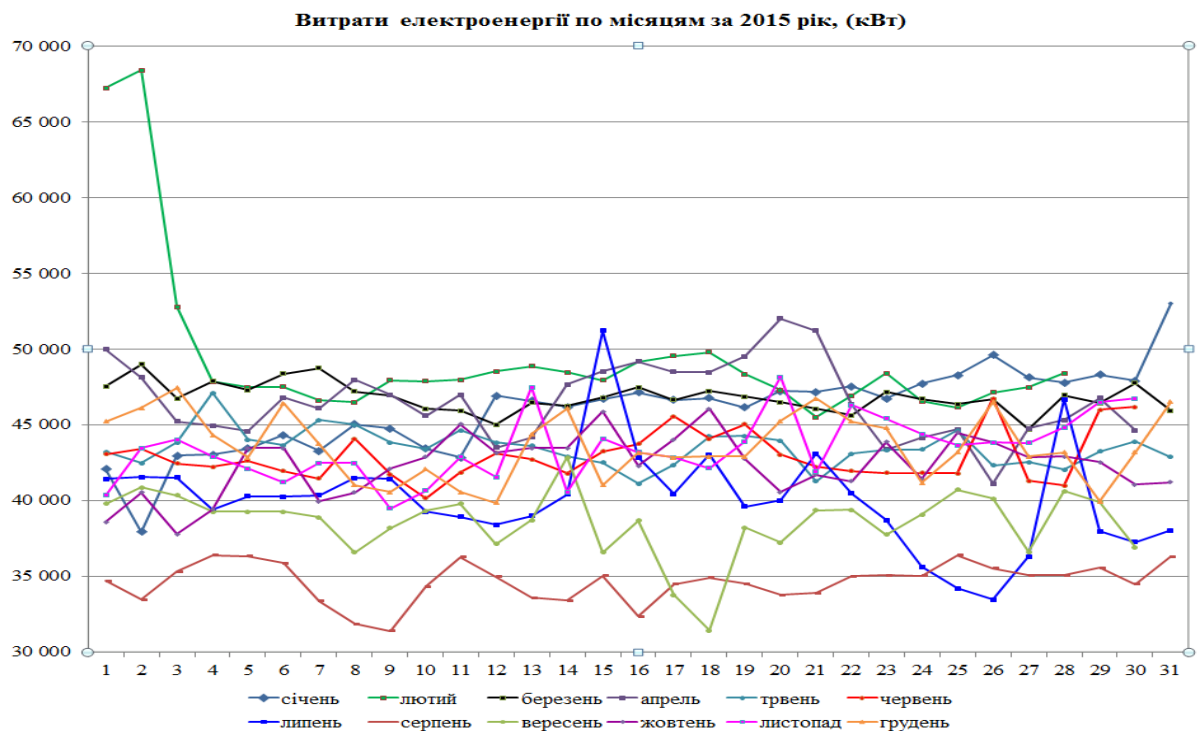


Рисунок 1.3 – Графіки витрат електроенергії ГКНС за 2015 рік по місяцям

Таблиця 1.8 – Об'єм перекачуваної стічної рідини по місяцям за 2015 р.

Місяці	Загалом по:		
	СДВ и ФВ	Флюгтам	Загально:
	2, 4, 8, 9	1, 3, 5, 6, 7	
Січень	6 669 000	3 670 040	10 339 040
Лютий	6 107 000	3 858 140	9 965 140
Березень	6 226 300	4 322 120	10 548 420
1 квартал:	19 002 300	11 850 300	30 852 600
Квітень	6 515 300	4 138 200	10 653 500
Травень	6 336 000	3 519 560	9 855 560
Черевнь	2 097 000	7 427 860	9 524 860
2 квартал:	14 948 300	15 085 620	30 033 920
6 місяців:	33 950 600	26 935 920	60 886 520
Липень	2 550 600	6 708 900	9 259 500
Серпень	261 000	8 314 020	8 575 020
Вересень	1 622 100	7 335 900	8 958 000
3 квартал:	4 433 700	22 358 820	26 792 520
9 місяців:	38 384 300	49 294 740	87 679 040
Жовтень	1 719 700	8 397 620	10 117 320
Листопад	3 688 700	6 370 320	10 059 020
Грудень	6 386 800	3 971 000	10 357 800
4 квартал:	11 795 200	18 738 940	30 534 140
Всього за рік:	50 179 500	68 033 680	118 213 180

На рис. 1.4 наведений графік об'ємів перекачуємої стічної рідини ГКНС за 2015 рік по місяцям.

Об'єм перекачуємої сточної рідини по місяцям за 2015 (м³)

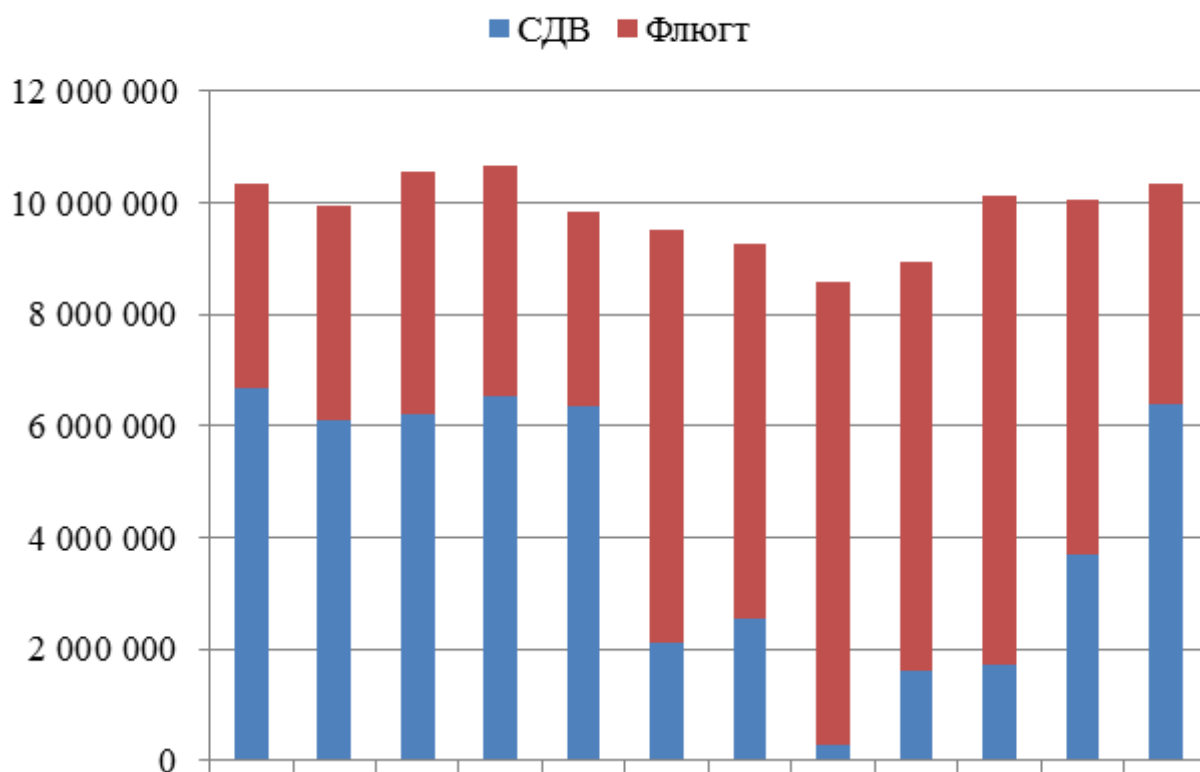


Рисунок 1.4 – Об'єм перекачуємої сточної рідини ГКНС за 2015 рік по місяцям

Аналіз наведених вище даних показав, що максимальні об'єми перекачуємої стічної рідини зафіксовані у березні та квітні, мінімальні – в серпні та вересні. Тому для моделювання режимів роботи ГКНС був обраний період з 12.03.2016 по 21.03 2016.

1.1.1 Вербальна модель системи

Об'єкт аналізу – стохастичні процеси квазістаціонарних режимів роботи систем водопостачання.

Предмет аналізу – стохастичні моделі та обчислювальні методи оптимізації квазістаціонарних режимів роботи систем водопостачання.

Точка зору: дослідник.

Мета – системний аналіз проблеми математичного моделювання та

оптимізації режимів роботи ГКНС.



Рисунок 1.5 – Модель типу «чорний ящик»

Модель типу «чорний ящик» акцентує увагу на взаємодії системи із зовнішнім середовищем. Акцент робиться на призначенні та поведінці системи, а про її будову є тільки опосередкована інформація, що відображається у зв'язках із зовнішнім середовищем. Зв'язки з середовищем, що йдуть у систему (входи), дають можливість впливати на неї, використовувати її як засіб, а зв'язки, що йдуть із системи (виходи), є результатами її функціонування, які або впливають на зміни у середовищі, або споживаються зовні системи.

1.1.2 Морфологічний опис системи

Морфологічний опис системи розглянемо з опису зовнішнього середовища яке приведене на рис. 1.2.



Рисунок 1.6 – Модель зовнішнього середовища системи

Зовнішнє середовище – це сукупність всіх об’єктів по межі системи, зміна властивості яких впливають на систему, а також тих об’єктів, чії властивості змінюються в результаті поведінки системи.

1.1.3 Функціональна модель системи

Функціональна модель IDEF0 являє собою набір блоків, кожен з яких представляє собою «чорний ящик» з входами і виходами, управлінням та механізмами, які деталізуються (декомпонуються) до необхідного рівня. Найбільш важлива функція розташована у верхньому лівому кутку. А з’єднуються функції між собою за допомогою стрілок і описів функціональних блоків. При цьому кожен вид стрілки або активності має власне значення. Дана модель дозволяє описати всі основні види процесів, як адміністративні, так і організаційні.

Контекстна діаграма зображує функціонування системи в цілому (рис. 1.7). В рамках методології IDEF0 процес представляється у вигляді набору елементів, які взаємодіють між собою, а також показуються ресурси, що споживаються кожною роботою.

Після опису системи в цілому проводиться розбиття її на великі фрагменти. Цей процес називається функціональною декомпозицією, а діаграми, які описують кожен фрагмент і взаємодія фрагментів, називаються діаграмами декомпозиції.

Після декомпозиції контекстної діаграми проводиться декомпозиція кожного великого фрагмента системи на більш дрібні і так далі, до досягнення потрібного рівня деталізації опису.

Після того, як контекст описаний, проводиться побудова наступних діаграм в ієрархії. Кожна наступна діаграма є більш докладним описом однієї з робіт на попередній діаграмі. Декомпозиція контекстної діаграми (рис. 1.8) демонструє основні функції системи і їх деталізації за рівнями (рис. 1.9).

IDEF3 - це метод, який має основною метою дати можливість аналітикам описати ситуацію, коли процеси виконуються в певній послідовності, а також описати об'єкти, які беруть участь спільно в одному процесі.



Рисунок 1.7 – Контекстна діаграма (рівень А-0)

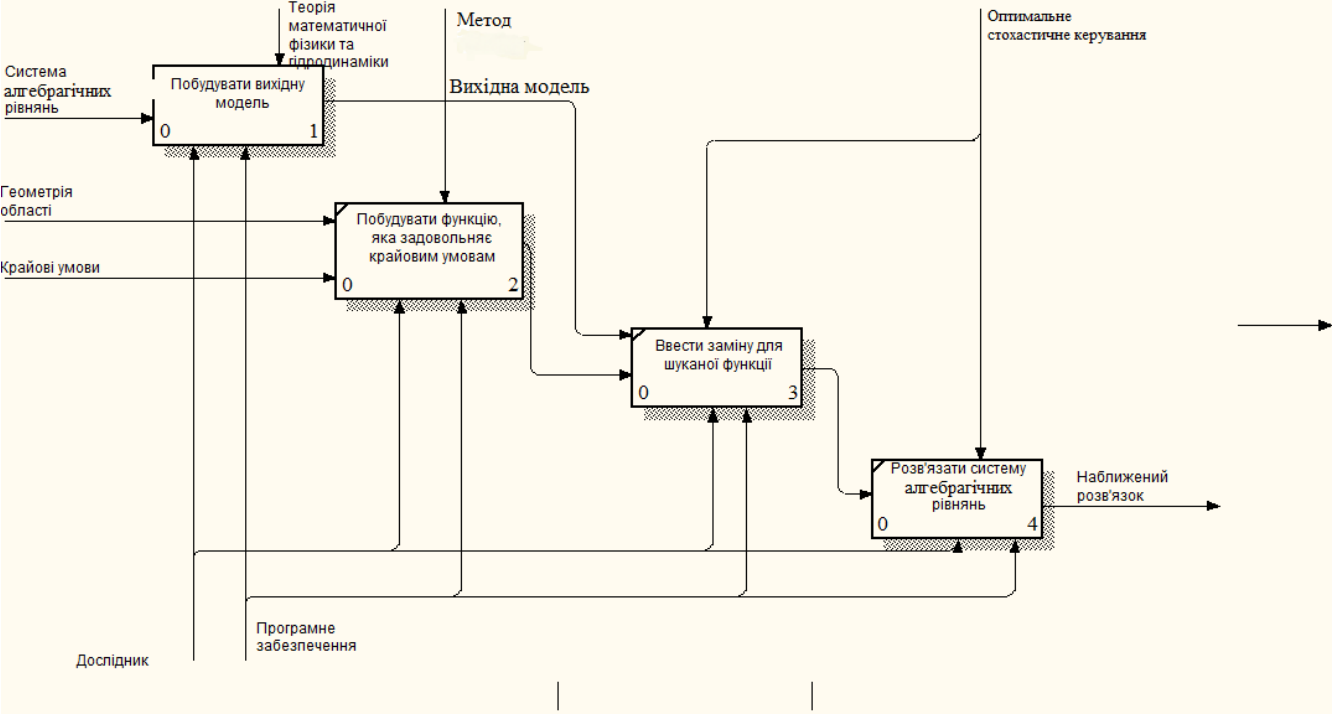


Рисунок 1.8 – Декомпозиція роботи «Дослідити стохастичні моделі квазістаціонарних режимів роботи систем водопостачання»: (рівень А0)

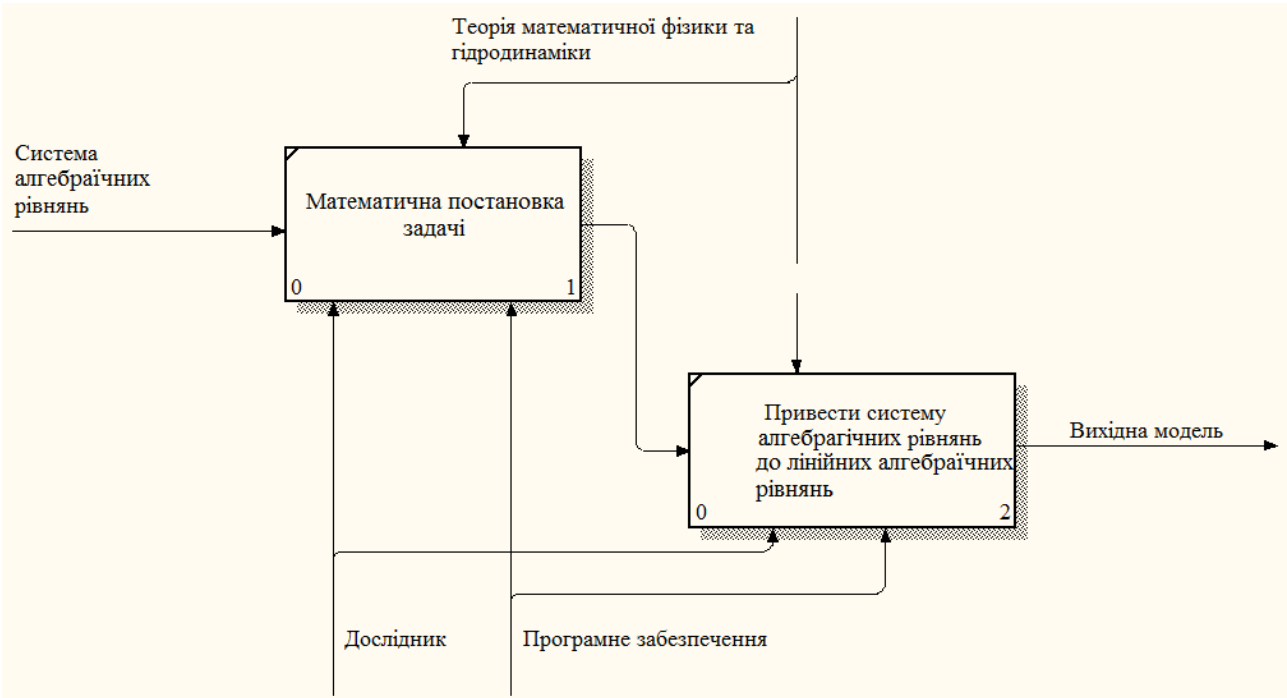


Рисунок 1.9 – Декомпозиція роботи «Отримати вихідну модель»: (рівень А1)

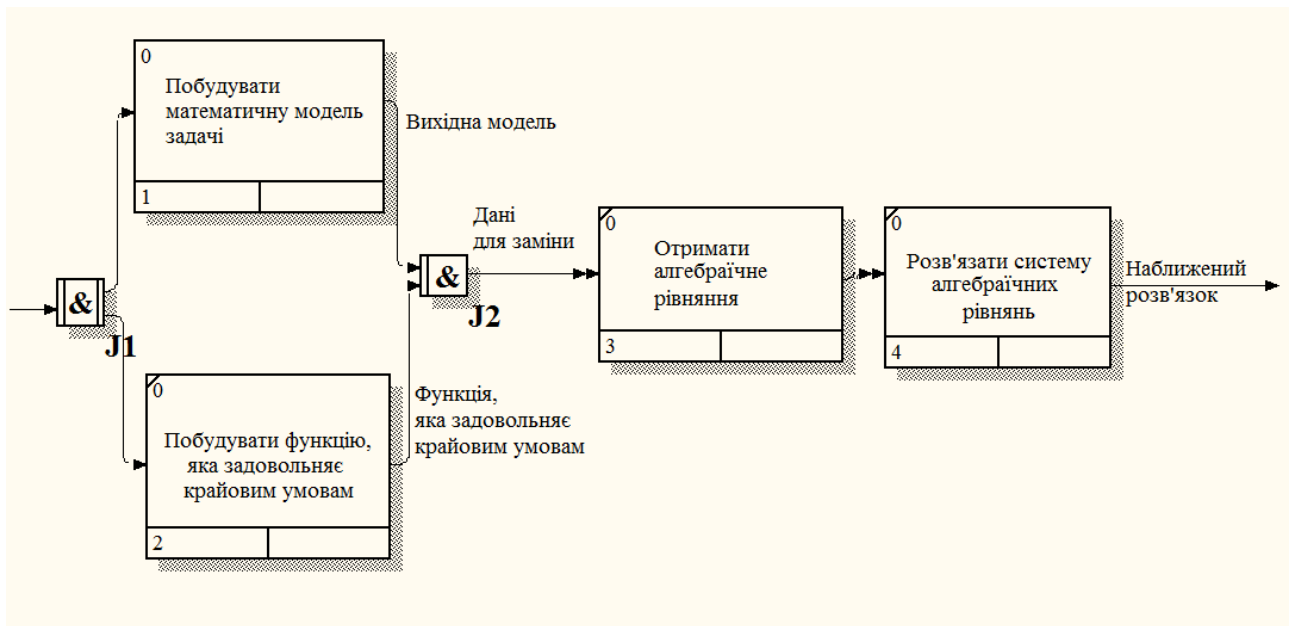


Рисунок 1.10 – Опис роботи «Дослідити стохастичні моделі квазістаціонарних режимів роботи систем водопостачання»: рівень A0 (в нотації IDEF3)

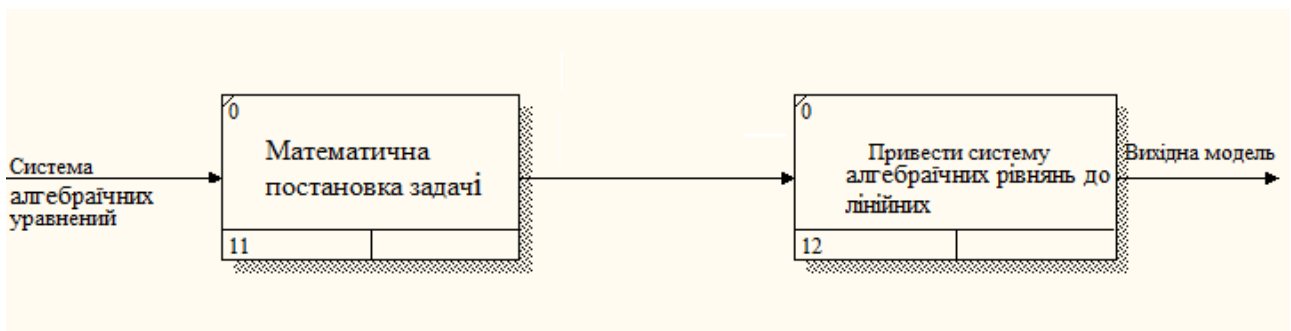


Рисунок 1.11 – Опис роботи «Отримати вихідну модель»: (рівень A1) (в нотації IDEF3)

1.1.4 Інформаційна модель системи

Інформаційна модель – модель об'єкта, представлена у вигляді інформації, яка описує суттєві для даного розгляду параметри і змінні величини об'єкта, зв'язку між ними, входи і виходи об'єкта і дозволяє шляхом подачі на модель інформації про зміни входних величин моделювати можливий стан об'єкта. Інформаційні моделі не можна доторкнутися або побачити, вони не мають матеріального втілення, тому що будуються тільки на інформації.

Інформаційна модель – сукупність інформації, що характеризує суттєві властивості і стан об'єкта, процесу, явища, а також взаємозв'язок із зовнішнім світом.

Діаграми потоків даних (Data Flow Diagrams – DFD) є ієрархією функціональних процесів, пов'язаних потоками даних. Мета такого уявлення продемонструвати, як кожен процес перетворює свої вхідні дані у вихідні, а також виявити відносини між цими процесами.

DFD – діаграма представлена на рис. 1.12. DFD-діаграма 1-го рівня декомпозиції представлена на рис. 1.13.

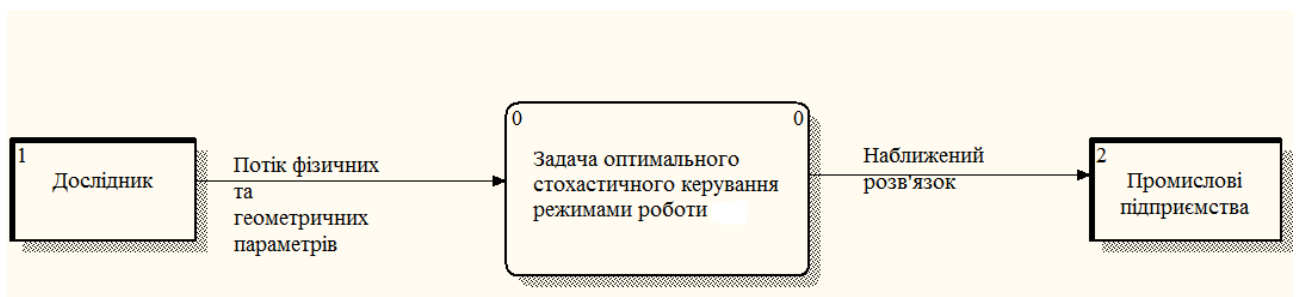


Рисунок 1.12 – DFD-Діаграма

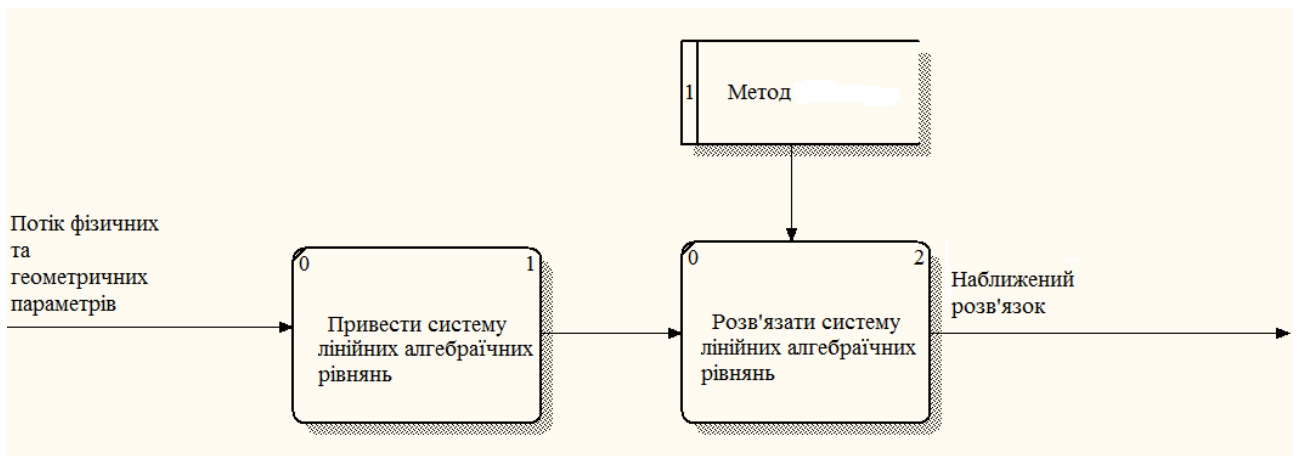


Рисунок 1.13 – DFD-діаграма 1-го рівня декомпозиції

1.2 Аналіз сценаріїв вирішення проблеми математичного моделювання та оптимізації квазістаціонарних режимів роботи головної каналізаційної насосної станції

1.2.1 Модель аналізу проблеми

Існують три типових підходу до математичного моделювання та оптимізації режимів роботи ГКНС.

Математичне моделювання та оптимізація на базі моделі СПР в даний час ефективно використовується при аналізі стаціонарних режимів роботи ГКНС. Однак, ця модель виявилася недостатньо ефективною для задач оперативного управління режимами роботи ГКНС. Детермінована модель ГКНС описує систему в конкретний момент часу $t \in [0, T]$. Тому, навіть незначна зміна параметрів моделі або граничних умов можуть не тільки істотно змінити оптимальне рішення, але і вивести його за межі допустимої області, що є неприпустимим в задачах оперативного управління.

Математичне моделювання аварійних ситуацій і гідравлічних ударів у ГКНС на базі детермінованої моделі нестаціонарних режимів роботи ГКНС у даний час не знайшли широкого поширення, що пов'язано зі значними обчислювальними труднощами, викликаними необхідністю вирішувати системи нелінійних диференціальних рівнянь у частинних похідних, і відсутністю необхідного інформаційного базису для задання фактичних значень початкових і граничних умов. Проте, ці моделі використовуються для визначення умов запобігання виникненню гідравлічних ударів в результаті виникнення розривів ділянок трубопроводу, пусках і зупинках НА на насосних станціях (НС).

Математичне моделювання стаціонарних режимів транспорту і розподілу води в ГКНС з витоками. В сучасних ГКНС існує величезна кількість невиявлених і не усунених дефектів трубопроводів (свищів, розломів, порушення стикових з'єднань), що призводять до невиявлених і

неконтрольованих витоків води, обсяги яких істотно залежать від величини надлишкового напору у вузлах водопровідної мережі. Спроба побудови більш адекватних моделей для цих умов привела до появи ряду робіт моделювання стаціонарних режимів транспорту і розподілу води в ГКНС з витоками, проте ці моделі в даний час не набули широкого поширення через відсутність необхідного інформаційного базису для їх використання – виміряних значень фактичних напорів у вузлах водопровідної мережі і витрат по її ділянках.

1.3 Постановка задачі управління головною каналізаційною насосною станцією

1.3.1 Змістовна постановка задачі

Для розробки ефективних методів управління режимами роботи ГКНС необхідно враховувати та використовувати специфічні особливості ГКНС як об'єкта управління. Специфічними особливостями сучасних ГКНС являється наявність в них резервуарів достатньо великого об'єму та можливостей використання тризонного тарифу на електроенергію. Врахування цих особливостей ГКНС дозволяє побудувати стратегію оптимізації режимів її роботи, основу на максимально можливому використанні всього об'єму резервуарів та тризонного тарифу на електроенергію. Суть стратегії полягає в тому, що відкачка води із ПР ГКНС повинна бути мінімальною на інтервалі часу із максимальним тарифом та максимальною на інтервалі часу з мінімальним тарифом.

1.3.2 Формальна постановка задачі

Для стаціонарних режимів транспорту і розподілу стічних вод в ГКНС характерно, що змінні стану водопровідної мережі (ВМ) (витрати і напори) не змінюються протягом часу, тобто витрати і напори води на входах/виходах ВМ і на всіх її ділянках приймаються постійними. Математичні моделі стаціонарних режимів роботи ГКНС – це детерміновані моделі СПР в ГКНС, які описують потокорозподіл в системі в конкретний момент часу $t \in [0, T]$.

Фактичні режими можуть бути апроксимовані взаємозалежною послідовністю моделей квазістаціонарних режимів. Квазістаціонарний режим – послідовність стаціонарних режимів, параметри яких змінюються стрибкоподібно кінцеве число раз на заданому інтервалі часу. Для оперативного управління і планування раціональних режимів функціонування ГКНС більш адекватними є моделі квазістаціонарних режимів подачі і розподілу води на заданому інтервалі часу $[0, T]$. Квазістаціонарні режими характеризуються тим, що параметри ГКНС змінюються в часі щодо деяких своїх середніх значень.

Обмеженість інформаційних ресурсів і оперативних даних не дозволяють досить адекватно оцінити параметри технологічних елементів ГКНС і структуру ГКНС через нестачу коштів для обліку і контролю і відсутності (недостатньої) паспортизації технологічних елементів ГКНС. Параметри моделі СПР, які оцінюються за вибірками експериментальних даних кінцевої довжини, самі є випадковими величинами. Більш того, основними збуджуючими факторами є стохастичні процеси споживання води різними категоріями споживачів. Ці процеси мають надзвичайно складну кореляційну структуру і залежать від трьох основних груп факторів: хронологічних, метеорологічних і організаційних. При вирішенні завдань оптимізації значення прогнозів процесів водоспоживання використовуються в якості граничних умов. Це призводить до необхідності розглядати ГКНС як стохастичний об'єкт, що функціонує в стохастичному середовищі. Стохастичний характер середовища проявляється в

тому, що процеси споживання води носять виражений випадковий характер.

Стохастичний характер об'єкта управління проявляється в тому, що параметри технологічного обладнання ГКНС апріорно невідомі, а оцінюються за експериментальними даними вибірок кінцевої довжини, які є випадковими величинами. Тому при вирішенні задач оптимізації режимів роботи ГКНС необхідно використовувати стохастичну модель квазістаціонарних режимів роботи ГКНС, яка дозволяє більш адекватно враховувати як стохастичний характер процесів споживання води (а значить істоки) та статистичні властивості параметрів моделі на заданому інтервалі управління $[0, T]$.

Для більш адекватного опису режимів роботи ГКНС будемо використовувати послідовність зміни квазістаціонарних режимів.

1.3.3 Вербальна постановка задачі

Класична стратегія управління ГКНС полягає у наступному: увесь допустимий діапазон змін рівнів СВ у ПР розбивається на ряди рівнів (порогів). Якщо рівень СВ у ПР ГКНС перевищує заданий поріг, включається додатковий НА, якщо рівень СВ у ПР ГКНС продовжує підніматися та перевищує наступний поріг, включається додатковий НА та цей процес продовжується до моменту, поки не буде включено усі НА ГКНС. Якщо рівень СВ у ПР ГКНС продовжує підвищуватись та перевищує максимальний допустимий рівень, то задля уникнення затоплення приміщення ГКНС здійснюється аварійне скидання СВ з ПР у відкриту водойму. При зниженні рівня СВ нижче заданого рівня НА на ГКНС вимикається. Якщо рівень СВ в ПР стає нижче мінімального допустимого рівня, то вимикаються усі НА на ГКНС.

Така стратегія виявилася надзвичайно простою та достатньо надійною та отримала широке поширення у практиці НА ГКНС для однозонних тарифів на електроенергію.

У роботі наводиться стратегія оптимального стохастичного управління

режимами роботи ГКС при переході на тризонний тариф на електроенергію, яка полягає в тому, що при мінімальному тарифі на електроенергію буде працювати найбільша кількість НА, при максимальному тарифі буде працювати найменша кількість НА. Таку стратегію можливо реалізувати при наявності ПР достатньо великого обсягу. Задача оптимального стохастичного управління полягає в тому, щоб знайти такий режим роботи ГКС (кількість увімкнених НА для кожної години розрахункового періоду, положення РЗ), при якому витрати на електроенергію, витрачену насосними агрегатами будуть мінімальними. При цьому необхідно дотриматися дозволених меж води в ПР.

2 РОЗРОБКА СТОХАСТИЧНОЇ МОДЕЛІ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГОЛОВНОЇ КАНАЛІЗАЦІЙНОЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

ГКНС складається з наступних технологічних елементів: ділянок трубопроводів, НА, регульованих і нерегульованих засувок, ПР та іншої арматури. Для побудови стохастичних моделей технологічних елементів квазістаціонарного режиму роботи технологічного обладнання ГКНС введемо ряд позначень: нехай (Ω, B, P) – декартовий добуток імовірнісних просторів $(\Omega_i, B_i, P_i), i = 1, 2, \dots, n$ ($\Omega = \Omega_1 \times \Omega_2 \times \dots \times \Omega_n$, $B = B_1 \times B_2 \times \dots \times B_n$, $P = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_n$, де Ω_i – простору елементарних подій; B_i – σ -алгебри подій із Ω_i ; P_i – імовірнісні міри на B_i).

Кожен з елементів ГКНС представляється своєю математичною моделлю – рівнянням, що зв’язує падіння напору h на цій ділянці з витратою q через нього. Для того, щоб реальній системі поставити у відповідність розрахункову схему, що складається з вузлів, гілок і їх параметрів, необхідно побудувати математичні моделі для наступних елементів системи: НА, РЗ, ПР, ділянки трубопроводу.

2.1 Детерміновані моделі технологічних елементів головної каналізаційної насосної станції

2.1.1 Детермінована модель насосного агрегату

Під насосом розуміється гідравлічна машина, що створює напірне переміщення рідини при наданні їй енергії. Насос в сукупності з електроприводом і передавальним механізмом утворює НА [14]. Основними параметрами, що характеризують режим роботи НА, є напір H , подача Q , потужність N і коефіцієнт корисної дії η [15]. Напір визначається як різниця питомих енергій рідини в напірних і усмоктувальних патрубках насоса,

необхідна для підйому рідини на задану висоту і подолання сил тертя в трубопроводі. Виражений у метрах напір насоса визначає висоту підйому або дальність переміщення рідини. Подача – обсяг рідини, що перекачується насосом за одиницю часу. Потужність – енергія, що витрачається насосом для створення потрібного напору і подолання всіх видів втрат, неминучих при перетворенні механічної енергії НА в енергію руху рідини по трубопроводах. Коефіцієнт корисної дії враховує всі види втрат, пов'язаних з перетворенням насосом механічної енергії двигуна в енергію рідини, що рухається. ККД визначає економічну доцільність експлуатації насоса при зміні інших його робочих параметрів (напору, подачі, потужності).

Кожен НА характеризується системою залежностей між основними режимними і енергетичними параметрами насоса, так званими робочими характеристиками НА. Робочими характеристиками НА називають залежність напору, потужності і ККД від величини подачі при постійній частоті обертання приводу електродвигуна НА. Залежність «тиск – подача» ($H - Q$) називають напірною характеристикою НА. Залежності «потужність подача» ($N - Q$) і «ККД - подача» ($\eta - Q$) називають енергетичними характеристиками НА. При введенні в експлуатацію кожен НА проходить випробування, в ході яких знімаються вище зазначені залежності, ці характеристики іменуються паспортними. Однак в процесі експлуатації НА відбувається знос їх вузлів і механізмів, тому реальні характеристики значно змінюються.

Залежності характеристик НА описуються поліномами другого ступеня (формули Е. А. Прагера):

$$H_H(Q) = a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2, \quad (2.1)$$

$$N_H(Q) = c_0 + c_1 \cdot Q + c_2 \cdot Q^2, \quad (2.2)$$

$$\eta_H(Q) = d_0 + d_1 \cdot Q + d_2 \cdot Q^2, \quad (2.3)$$

де $a_0, a_1, a_2, c_0, c_1, c_2, d_0, d_1, d_2$ – параметри насосного агрегату.

Вище наведені рівняння описують співвідношення між параметрами НА

при фіксованій частоті обертання ротора приводного електродвигуна. Якщо частота обертання відрізняється від номінальної, або на НА використовується регульований привід, то, в цьому випадку, для перерахунку характеристик НА використовується:

$$H_{HA}(Q) = a_0 \cdot (n_1/n_0)^2 + a_1 \cdot (n_1/n_0) \cdot Q + a_2 \cdot Q^2, \quad (2.4)$$

$$N_{HA}(Q) = c_0 \cdot (n_1/n_0)^3 + c_1 \cdot (n_1/n_0)^2 \cdot Q + c_2 \cdot (n_1/n_0) \cdot Q^2, \quad (2.5)$$

$$\eta_{HA}(Q) = 1 - \frac{1 - \eta_{n_0}}{(n_0 / n_1)^{0,36}} = 1 - \frac{1 - d_0 - d_1 \cdot Q - d_2 \cdot Q^2}{(n_0 / n_1)^{0,36}}, \quad (2.6)$$

де n_0 і n_1 – номінальна і робоча частоти обертання (об/хв) ротора приводного електродвигуна.

Апроксимація параметрів a_0 , a_1 , a_2 , c_0 , c_1 , c_2 , d_0 , d_1 , d_2 здійснюється як за паспортними характеристиками, так і за експериментальними даними, отриманими в результаті спеціально спланованого і проведеного натурного експерименту, або по спеціально відібраним даними експлуатації НС.

2.1.2 Детермінована математична модель регулюючої засувки

Регульовані засувки (затвори) призначені для управління витратою рідини що проходить через них. Ці пристрої широко використовуються спільно з нерегульованим НА, і призначені для управління режимами роботи останнього. Регульовані засувки, що застосовуються на НС у складі з НА, обладнані, як правило, електричним або гідравлічним приводом.

Залежно від конструкції засувки поділяються на паралельні і клинові. Засувки великого діаметра, а також які працюють з дистанційним і автоматичним управлінням, обладнуються гідравлічними або електричними приводами. Для врівноваження тиску по обидва боки диска у великих засувках передбачається обвідна засувка (байпас) [16].

Залежність між падінням напору на РЗ H_3 , витратою Q і положенням штока (або кутом повороту осі) E_3 має вигляд

$$H_3 = \frac{C}{E_3^2} \operatorname{sgn}(Q) \cdot |Q|, \quad (2.7)$$

де C – еквівалентний гідравлічний опір РЗ в положенні «відкрито»;

$E_3 (0,1]$ – ступінь відкриття РЗ, причому $E_3 = 1$ в положенні «відкрито», E_3 прямує до нуля, в положенні «закрито».

Гідравлічний опір у натуральному вираженні (1.14) в загальному випадку залежить від геометричних розмірів РЗ, режиму руху рідини. Однак, у зв'язку зі складною геометричною структурою внутрішньої поверхні РЗ і його тривалою експлуатацією, чисельне значення C відомо наближено і має бути оцінено за результатами натурного експерименту.

2.1.3 Детермінована математична модель ділянок трубопроводів

Математична модель ділянки трубопроводу визначається залежністю втрати напору H на даній ділянці від витрати рідини, що перекачується через нього за одиницю часу – витрати Q . Емпіричні залежності $H = H(Q)$ для різних типів труб розглянуті в [3, 4, 7] і в більшості випадків можуть бути апроксимовані за наступною формулою

$$H(Q) = \operatorname{sgn}(Q) \cdot \phi \cdot |Q|^\chi, \quad (2.8)$$

де Q – витрата через трубопровід [$\text{м}^3 / \text{с}$];

$\operatorname{sgn}(Q)$ – знак Q ($\operatorname{sgn}(Q) = 1$, якщо $Q \geq 0$; $\operatorname{sgn}(Q) = -1$, якщо $Q < 0$).

$\varphi > 0$ – гідравлічний опір і ділянки трубопроводу;

$\chi > 1$ – коефіцієнт нелінійності ділянки трубопроводу.

Гідравлічний опір у натуральному вираженні (1.30) в загальному випадку залежить від геометричних розмірів ділянки – довжини L і діаметра d , і режиму руху рідини, коефіцієнт нелінійності χ в більшості випадків дорівнює 2.

2.1.4 Детермінована математична модель приймального резервуара

ПР представляє собою акумулюючу ємність з об'ємом V , який визначається наступним виразом

$$V = \int_{h_{\min}}^{h_{\max}} S(h)dh, \quad (2.9)$$

де $h_{\max}$ – максимально допустимий рівень рідини в приймальному резервуарі;

$S(h)$ – функція залежності площі поперечного перерізу приймального резервуара від його висоти.

Стан резервуара визначається його рівнем рідини h . Рівень рідини повинен знаходитися в заданому діапазоні: $h \in (h_{\min}, h_{\max})$. В іншому випадку, може статися перелив ($h > h_{\max}$), або спорожнення ($h < h_{\min}$).

2.2 Стохастичні моделі елементів головної каналізаційної насосної станції

2.2.1 Стохастична модель насосного агрегату

Основними параметрами, що характеризують режим роботи НА є характеристики «натиск - подача» – h - q , «потужність - подача» – N - q , «ККД -

подача» – ККД- q , які описуються залежностями виду:

$$h_{NA}(q) = a_0 + a_1 q + a_2 q^2, \quad (2.10)$$

$$N_{NA}(q) = c_0 + c_1 q + c_2 q^2, \quad (2.11)$$

$$N_{NA}(q) = \frac{9,81 \cdot h_{NA}(q) \cdot q}{0,9 \cdot \eta_{NA}(q)}, \quad (2.12)$$

$$\eta_{NA}(q) = d_0 + d_1 q + d_2 q^2, \quad (2.13)$$

де q – подача НА ($\text{м}^3/\text{с}$);

$h_{NA}(q)$ – напір НА (м);

$N_{NA}(q)$ – потужність НА (кВт);

$\eta_{NA}(q)$ – КПД НА (%).

Рівняння (2.1), (2.2), (2.4) описують співвідношення між параметрами НА при фіксованій частоті обертання ротора приводного електродвигуна. Якщо частота обертання відрізняється від номінальної, або на НА використовується регульований привід, то рівняння (2.1), (2.2), (2.4) приймуть вид

$$h_{NA}(q) = a_0 \left(\frac{n_1}{n_0} \right)^2 + a_1 q \frac{n_1}{n_0} + a_2 q^2, \quad (2.14)$$

$$N_{NA}(q) = c_0 \left(\frac{n_1}{n_0} \right)^3 + c_1 \left(\frac{n_1}{n_0} \right)^2 q + c_2 \left(\frac{n_1}{n_0} \right) q^2, \quad (2.15)$$

$$\eta_{NA}(q) = 1 - \frac{1 - d_0 - d_1 q - d_2 q^2}{\left(\frac{n_0}{n_1} \right)^{0,36}}, \quad (2.16)$$

де n_1 , n_0 – номінальна і робоча частоти обертання (об / хв) ротора приводного електродвигуна.

Параметри моделі НА a_0 , a_1 , a_2 , c_0 , c_1 , c_2 , d_0 , d_1 , d_2 визначаються за

паспортними даними, представленим у вигляді графіків або таблиць залежностей h - q , N - q , ККД- q шляхом апроксимації їх методом найменших квадратів. Використання таких оцінок призводить до того, що моделі НА виявляються неадекватними реальним режимам роботи НА, так як в процесі експлуатації НА відбувається їх природний знос і заводські паспортні характеристики істотно відрізняються від реальних. Для побудови більш адекватних математичних моделей НА параметри НА a_0 , a_1 , a_2 , c_0 , c_1 , c_2 , d_0 , d_1 , d_2 повинні бути оцінені за результатами спеціально спланованих і проведених натурних експериментів для різних режимів і всіх можливих комбінацій їх включення на НС. При цьому виявляється, оцінка параметрів може бути проведена за експериментальними даними кінцевої довжини, а це призводить до того, що отримані оцінки параметрів стають випадковими величинами, тобто $a_0 = a_0(\omega)$, $a_1 = a_1(\omega)$, $a_2 = a_2(\omega)$, $c_0 = c_0(\omega)$, $c_1 = c_1(\omega)$, $c_2 = c_2(\omega)$, $d_0 = d_0(\omega)$, $d_1 = d_1(\omega)$, $d_2 = d_2(\omega)$, де $\omega \in \Omega$.

Це призводить до того, що математичні моделі НА є нелінійними випадковими функціями, які містять випадкові параметри. Більш того, як зазначалося раніше, в ГКНС процеси надходження води залежать від багатьох неконтрольованих і некерованих чинників і є в свою чергу випадковими процесами. Це призводить до того, що в реальних умовах витрати через ГКНС для будь-якого моменту часу потрібно розглядати як випадкову величину. Математичні моделі є нелінійними детермінованими функціями, залежними не тільки від випадкових параметрів a_0 , a_1 , a_2 , c_0 , c_1 , c_2 , d_0 , d_1 , d_2 , але і від випадкової змінної $q(\omega)$.

Підставивши в рівняння (2.1) – (2.7) усі випадкові величини, отримаємо стохастичну модель НА:

$$h_{NA}(q(\omega)) = a_0(\omega) + a_1(\omega)q(\omega) + a_2(\omega)q^2(\omega), \quad (2.17)$$

$$N_{NA}(q(\omega)) = c_0(\omega) + c_1(\omega)q(\omega) + c_2(\omega)q^2(\omega), \quad (2.18)$$

$$N_{NA}(q(\omega)) = \frac{h_{NA}(q(\omega)) \cdot q(\omega)}{0,9 \cdot \eta_{NA}(q(\omega))}, \quad (2.19)$$

$$\eta_{NA}(q(\omega)) = d_0(\omega) + d_1(\omega)q(\omega) + d_2(\omega)q^2(\omega). \quad (2.20)$$

При використанні на НА регулюючого приводу:

$$h_{NA}(q(\omega)) = a_0(\omega) \left(\frac{n_1}{n_0} \right)^2 + a_1(\omega)q(\omega) \frac{n_1}{n_0} + a_2(\omega)q^2(\omega), \quad (2.21)$$

$$N_{NA}(q(\omega)) = c_0(\omega) \left(\frac{n_1}{n_0} \right)^3 + c_1(\omega) \left(\frac{n_1}{n_0} \right)^2 q(\omega) + c_2(\omega) \left(\frac{n_1}{n_0} \right) q^2(\omega), \quad (2.22)$$

$$\eta_{NA}(q(\omega)) = 1 - \frac{1 - d_0(\omega) - d_1(\omega)q(\omega) - d_2(\omega)q^2(\omega)}{\left(\frac{n_0}{n_1} \right)^{0,36}}. \quad (2.23)$$

2.2.2 Стохастична модель регулюючої засувки

РЗ призначені для управління витратою рідини що через них проходить. Вони використовуються спільно з нерегульованим НА і призначені для управління режимами його роботи. Падіння напору на РЗ описується залежністю:

$$h_{RZ}(q) = \frac{qC}{E^2}, \quad (2.24)$$

де $h_{RZ}(q)$ – втрата напору на РЗ;

C – гідравлічний опір РЗ;

E – ступінь відкриття РЗ ($E(t) \in (0,1]$).

Гідравлічний опір у натуральному вираженні (2.8) в загальному випадку залежить від геометричних розмірів РЗ, режиму руху рідини. Однак, у зв'язку зі складною геометричною структурою внутрішньої поверхні РЗ і її тривалою

експлуатацією, чисельне значення C відомо наближено і оцінюється за експериментальними даними вибірок кінцевої довжини, тому є випадковою величиною $C = C(\omega)$. Втрати напору на РЗ крім гідравлічного опору, залежить також від обсягу рідини, що протікає через неї. Так як витрата рідини, що протікає через РЗ рідини є випадковою величиною, то і падіння напору на РЗ також є випадковою величиною. Стохастична модель РЗ має вигляд:

$$h_{RZ}(q(\omega)) = \frac{q(\omega)C(\omega)}{E^2}. \quad (2.25)$$

2.2.3 Стохастична модель ділянки трубопроводу

Загальну модель втрати напору для ламінарної течії рідини на ділянці трубопроводу можна представити у вигляді:

$$h(q) = \operatorname{sgn} q S q^2, \quad (2.26)$$

де $h(q)$ – втрата напору на ділянці трубопроводу (м);

S – гідравлічний опір ділянки трубопроводу ($\text{с}^2/\text{м}^5$);

q – об'ємна витрата води ($\text{м}^3/\text{с}$).

Гідравлічний опір S ділянки трубопроводу залежить від довжини, діаметру, коефіцієнту шорсткості ділянки трубопроводу та апріорно відомо тільки приблизно, тому для забезпечення адекватності моделі гідравлічні опору всіх ділянок водопровідної мережі повинні бути оцінені за експериментальними даними в результаті спеціально спланованих і проведених натурних експериментів. Оскільки оцінювання гідравлічних опорів ділянок трубопроводу здійснюється за вибірками експериментальних даних кінцевої довжини, то ці оцінки є випадковими величинами, статистичні властивості яких залежать як від статистичних властивостей помилок результатів вимірювань

витрати q і напору h , так і методу оцінювання та обсягу вибірки. Тому математична модель втрати напору на ділянці трубопроводу залежить від двох випадкових величин – гідравлічного опору ділянки трубопроводу і об’ємної витрати води по ділянці трубопроводу. В цьому випадку стохастичну модель ділянки трубопроводу при ламінарному плинні води можна представити у вигляді:

$$h(q(\omega)) = \operatorname{sgn} q(\omega) S(\omega) q^2(\omega). \quad (2.27)$$

2.2.4 Стохастична модель приймального резервуара

ПР є акумулюючою ємністю в формі циліндра або прямокутного паралелепіпеда, з відомими геометричними розмірами: висотою ПР – H^* , площею поперечного перерізу S .

Динамічну модель ПР можна представити у вигляді:

$$\frac{dV(t)}{dt} = q_{vh}(t) - q_{vih}(t), \quad (2.28)$$

де $q_{vh}(t)$, $q_{vih}(t)$ – об’ємна подача води у ПР в момент часу t та об’ємний відбір води з ПР у цей же момент часу;

$V(t)$ – об’єм води в ПР в момент часу t .

Основним технологічним обмеженням на роботу ПР є вимога підтримання об’єму води у заданих кордонах:

$$H^{\min} \leq H(t) \leq H^{\max}, \quad (2.29)$$

де $H^{\min} > 0$ и $H^{\max} < H^*$ – задані кордони зміни рівня води в ПР.

Величина $H^{\max}$ зазвичай близька до загальної висоти ПР H^* , у той час як величина $H^{\min}$ має аварійний, протипожежний запаси. $H(t)$ – рівень води у ПР в момент часу t .

Так як подача води у ПР та відбір води з ПР є випадковими величинами, то стохастичну модель ПР буде представлена у вигляді:

$$\frac{dV(\omega, t)}{dt} = q_{vh}(\omega, t) - q_{vih}(\omega, t), \quad (2.30)$$

$$P(H^{\min} \leq H(\omega, t)) \cong 1, \quad (2.31)$$

$$P(H(\omega, t) \leq H^{\max}) \cong 1. \quad (2.32)$$

Якщо інтервал управління $[0, T]$ розбивається на N підінтервалів, то стохастичну модель ПР можемо представити у вигляді:

$$H(\omega, k) = H(\omega, k-1) + c(q_{vh}(\omega, k) - q_{vih}(\omega, k)), \quad (2.33)$$

де c – нормований множник, залежний від площі поперечного перерізу ПР.

2.3 Стохастична модель головної каналізаційної насосної станції

Розглянувши стохастичні моделі технологічних елементів ГКНС, перейдемо до побудови стохастичної моделі квазістаціонарних режимів роботи ГКНС.

Область обмежень Ω визначається стохастичною моделлю квазістаціонарних режимів роботи НС:

$$M_{\omega} \left(h_{KNSk}(\omega) - H_k(\omega) - h_{NArk}(q_{rk}(\omega)) + h_{RZrk}(q_{rk}(\omega)) + \sum_{i \in M} b_{1ri}(h_{ik}(q_{ik}(\omega)) + h_i^{(g)}) \right) = 0, \quad (2.34)$$

$$(r = 1, \dots, m), \quad (2.35)$$

$$q_{vihk}(\omega) = \sum_{r=1}^m q_{rk}(\omega), \quad q_{rk}(\omega) > 0, \quad (2.36)$$

$$h_{ik}(q_{ik}(\omega)) = \operatorname{sgn} q_{ik}(\omega) S_i(\omega) q_{ik}^2(\omega), \quad i \in M, \quad (2.37)$$

$$h_{NAik}(q_{ik}(\omega)) = a_{0i}(\omega) + a_{1i}(\omega) q_{ik}(\omega) + a_{2i}(\omega) q_{ik}^2(\omega), \quad i \in L, \quad (2.38)$$

$$\eta_{NAik}(q_{ik}(\omega)) = d_{0i}(\omega) + d_{1i}(\omega) q_{ik}(\omega) + d_{2i}(\omega) q_{ik}^2(\omega), \quad i \in L, \quad (2.39)$$

$$N_{NAik}(q_{ik}(\omega)) = \frac{9,81 \cdot h_{NAik}(q_{ik}(\omega)) \cdot q_{ik}(\omega)}{0,9 \cdot \eta_{NAik}(q_{ik}(\omega))}, \quad i \in L, \quad (2.40)$$

$$h_{RZik}(q_{ik}(\omega)) = \frac{q_{ik}(\omega) C_i(\omega)}{E_{ik}^2}, \quad i \in \mathbb{R}, \quad (2.41)$$

стохастичною моделлю ПР:

$$M_{\omega} \{ H_k(\omega) - H_{k-1}(\omega) - c_k(q_{vhk}(\omega) - q_{vihk}(\omega)) \} = 0, \quad (2.42)$$

імовірнісними та екстремальними обмеженнями на фазові змінні, зафіксовані в момент часу $k = 6, k = 23$:

$$P(H_k(\omega) \leq H^{\max}) \geq \alpha, \quad \alpha \approx 0,97, \quad (2.43)$$

$$P(H_k(\omega) \geq H^{\min}) \geq \alpha, \quad \alpha \approx 0,97, \quad (2.44)$$

$$M_{\omega} \{ H_6(\omega) \} \rightarrow \min_{q_{vhk} \in \Omega}, \quad (2.45)$$

$$M_{\omega} \{ H_{23}(\omega) \} \rightarrow \max_{q_{vhk} \in \Omega}, \quad (2.46)$$

де $u(k)$ – вектор управління, визначаючий кількість працюючих НА, положення РЗ;

$H_k(\omega)$ – рівень СВ в ПР КНС на заданому k -му інтервалі часу;

$H^{\min}$ – мінімально допустимий рівень СВ у ПР КНС;

$H^{\max}$ – максимально допустимий рівень води у ПР КНС при відомих

початкових умовах $\bar{m}_0, \bar{H}_0$.

Випадкові величини характеризують: $q_{ik}(\omega)$ – витрата СВ на і-й ділянці напірного колектору, на k-му інтервалі часу; $h_{ik}(q_{ik}(\omega))$ – падіння напору на і-й ділянці напірного колектору на k-му інтервалі часу; $h_{KNSk}(\omega)$ – напір на виході ГКНС, $h_{NAik}(q_{ik}(\omega))$ – напір і-го НА; $q_{vkh}(\omega), q_{vihk}(\omega)$ – витрата СВ на вході та виході ПР ГКНС на k-му інтервалі часу; $S_i(\omega)$ – оцінка гідравлічного опору і-ї ділянки напірного колектору; ($i \in M$); $h_{RZik}(q_{ik}(\omega))$ – падіння напору на і-ой РЗ; $\eta_{NAik}(q_{ik}(\omega))$ – ККД і-го НА; $a_{0i}(\omega), a_{1i}(\omega), a_{2i}(\omega), d_{0i}(\omega), d_{1i}(\omega), d_{2i}(\omega)$ – оцінки параметрів НА ($i \in L$); $C_i(\omega)$ – оцінка параметрів РЗ ($i \in R$); E_{ik} – степінь відкриття РЗ; ($E \in (0,1]$); c_{zk} – коефіцієнт, обернено-пропорційний площі ПР; $h_i^{(g)}$ – геодезична відмітка і-ї ділянки напірного колектора ($i \in M$); $N_{NAik}(q_{ik}(\omega))$ – оцінка витрат потужності і-им НА на k-му інтервалі часу; m – кількість НА на ГКНС; s_k – тариф на електроенергію на k-му інтервалі часу; $M_{\omega}\{\cdot\}$ – математичне сподівання відповідних випадкових величин, укладених у дужки $\{\cdot\}$.

2.4 Детермінована модель головної каналізаційної насосної станції

$$\bar{h}_{NSjk} - \bar{H}_k - \bar{h}_{NAjrk}(\bar{q}_{rk}) + \bar{h}_{RZjrk}(\bar{q}_{rk}) + \sum_{i \in M} b_{1ri}(\bar{h}_{ik}(\bar{q}_{ik}) + h_i^{(g)}) = 0, (r=1, \dots, m), \quad (2.47)$$

$$\bar{q}_{vihk} = \sum_{r=1}^m \bar{q}_{rk}, \bar{q}_{rk} > 0, \quad (2.48)$$

$$\bar{h}_{NAik}(\bar{q}_{ik}) = \bar{a}_{0i} + \bar{a}_{1i}\bar{q}_{ik} + \bar{a}_{2i}\bar{q}_{ik}^2, \quad i \in L, \quad (2.49)$$

$$\bar{\eta}_{NAik}(\bar{q}_{ik}) = \bar{d}_{0i} + \bar{d}_{1i}\bar{q}_{ik} + \bar{d}_{2i}\bar{q}_{ik}^2, \quad i \in L, \quad (2.50)$$

$$\bar{N}_{NAik}(\bar{q}_{ik}) = \frac{9,81 \cdot \bar{h}_{NAik}(\bar{q}_{ik}) \cdot \bar{q}_{ik}}{0,9 \cdot \bar{\eta}_{NAik}(\bar{q}_{ik})}, \quad i \in L, \quad (2.51)$$

$$\bar{h}_{RZik}(\bar{q}_{ik}) = \frac{\bar{q}_{ik}\bar{C}_i}{E_{ik}^2}, \quad i \in \mathbb{R}, \quad (2.52)$$

$$\bar{h}_{ik}(\bar{q}_{ik}) = \text{sgn} \bar{q}_{ik} \bar{S}_i \bar{q}_{ik}^2, \quad i \in M, \quad (2.53)$$

$$\bar{H}_k = \bar{H}_{k-1} + c_k (\bar{q}_{vkh} - \bar{q}_{vihk}), \quad (2.54)$$

$$H^{-*} \leq \bar{H}_k \leq H^{+*} \quad (k=1,2,\dots,23), \quad (2.55)$$

$$\bar{H}_{23} \rightarrow \max_{q_{vkh} \in \Omega}, \quad (2.56)$$

$$\bar{H}_6 \rightarrow \min_{q_{vkh} \in \Omega}, \quad (2.57)$$

де H^{-*}, H^{+*} – розрахункові значення мінімального та максимального рівня СВ в ПР КНС, при яких для $\forall \omega \in \Omega$ будуть виконуватися імовірнісні обмеження (2.43) – (2.44) при відомих початкових умовах $\bar{m}_0, \bar{H}_0$.

2.5 Математична постановка задачі оптимального стохастичного

управління режимами роботи головної каналізаційної насосної станції

Вартість електроенергії визначається по графіку тризонного тарифу, приведеному на рис. 2.1.

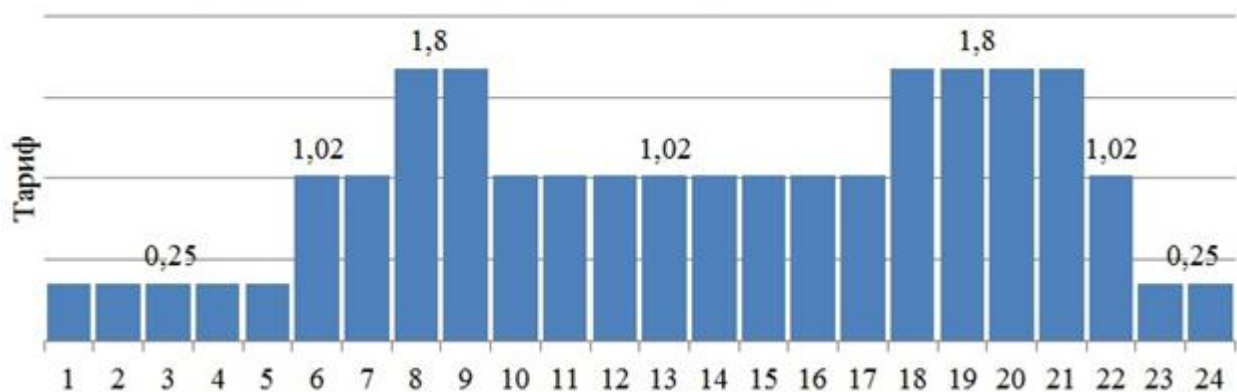


Рисунок 2.1 – Графік тризонного тарифу на електроенергію

Приведемо математичну постановку задачі оптимального стохастичного управління режимами роботи КНС для КНС, структура якої представлена на рис. 2.1.

Цільова функція задачі оптимального стохастичного управління режимами роботи ГКНС на інтервалі управління $[0, T]$ являє собою математичне сподівання (МС) суми вартості витрат на електроенергію усіма працюючими НА на інтервалі $[0, T]$:

$$M_{\omega} \sum_{k=0}^{23} \sum_{i=1}^m N_{ik}(q_{ik}(\omega)) \cdot s_k \rightarrow \min_{u(k) \in \Omega}, \quad (2.58)$$

Область обмежень Ω визначається стохастичною моделлю режимів роботи НС:

$$M_{\omega} \left(h_{KNSk}(\omega) - H_k(\omega) - h_{NArk}(q_{rk}(\omega)) + h_{RZrk}(q_{rk}(\omega)) + \sum_{i \in M} b_{1ri}(h_{ik}(q_{ik}(\omega)) + h_i^{(g)}) \right) = 0, \quad (r=1, \dots, m), \quad (2.59)$$

$$q_{vihk}(\omega) = \sum_{r=1}^m q_{rk}(\omega), \quad q_{rk}(\omega) > 0, \quad (2.60)$$

$$h_{ik}(q_{ik}(\omega)) = \operatorname{sgn} q_{ik}(\omega) S_i(\omega) q_{ik}^2(\omega), \quad i \in M, \quad (2.61)$$

$$h_{NAik}(q_{ik}(\omega)) = a_{0i}(\omega) + a_{1i}(\omega) q_{ik}(\omega) + a_{2i}(\omega) q_{ik}^2(\omega), \quad i \in L, \quad (2.62)$$

$$\eta_{NAik}(q_{ik}(\omega)) = d_{0i}(\omega) + d_{1i}(\omega) q_{ik}(\omega) + d_{2i}(\omega) q_{ik}^2(\omega), \quad i \in L, \quad (2.63)$$

$$N_{NAik}(q_{ik}(\omega)) = \frac{9,81 \cdot h_{NAik}(q_{ik}(\omega)) \cdot q_{ik}(\omega)}{0,9 \cdot \eta_{NAik}(q_{ik}(\omega))}, \quad i \in L, \quad (2.64)$$

$$h_{RZik}(q_{ik}(\omega)) = \frac{q_{ik}(\omega) C_i(\omega)}{E_{ik}^2}, \quad i \in \mathbb{R}, \quad (2.65)$$

стохастичною моделлю ПР:

$$M_{\omega} \{ H_k(\omega) - H_{k-1}(\omega) - c_k (q_{vhk}(\omega) - q_{vihk}(\omega)) \} = 0, \quad (2.66)$$

імовірнісними та екстремальними обмеженнями на фазові змінні, зафіксовані в момент часу $k = 6, k = 23$:

Задача оптимального стохастичного управління режимами роботи КНС (2.58) – (2.66) відноситься до класу нелінійних задач оптимального стохастичного управління з дискретним часом, імовірнісними і екстремальними обмеженнями на фазові змінні. Точних рішень такого класу задач в даний час не існує. В роботі наведено наближений метод розв'язання даної задачі шляхом переходу від стохастичної задачі (2.58) – (2.66) до її детермінованого еквіваленту, рішення якого здійснюється модифікованим методом гілок і меж.

2.6 Метод розв'язання детермінованого еквіваленту задачі оптимального стохастичного управління режимами роботи головної каналізаційної насосної станції

Для розв'язання детермінованого еквівалента задачі оптимального стохастичного управління режимами роботи ГКНС будемо використовувати модифікований метод гілок і меж.

Вихідні дані: P – вектор розмірності $[24 \times 1]$, який визначає прогнозні значення припливу СВ за інтервал планування, n – максимальна кількість однотипних НА, які можуть бути включені на КНС ($n = 5$), T – вектор розмірності $[24 \times 1]$, який визначає тризонний тариф на електроенергію, T_i – тариф на електроенергію на інтервалі часу $[i-1, i]$ ($i = 1, \dots, 24$), $\bar{H}_0$ – МС рівня СВ в ПР ГКНС на початок інтервалу управління. Допустимі межі зміни рівня СВ в ПР ГКНС $[H_{\min}, H_{\max}] = [3, 2; 5, 9]$.

Фізичні розміри ПР ГКНС $V = 4727 \text{ м}^3$; $H = 6 \text{ м}$.

МС витрати СВ в робочій точці НА: $q_0 = 4180 \text{ м}^3 / \text{с}$.

Інтервал планування $[0, T]$ (одна доба) ділиться на три підінтервала

k_1, k_2, k_3 ($k_j, j=1,2,3$) відповідно до тризонного тарифу. Будемо розглядати інтервал планування одну добу як множину підінтервалів часу $S = \{1, 2, \dots, 24\}$, тоді, відповідно до тризонного тарифу, інтервалу часу з мінімальним тарифом відповідає множина $S_1 = \{1, 2, \dots, 5, 23, 24\}$, із середнім тарифом – множина $S_2 = \{6, 7, 10, 11, \dots, 17, 22\}$, з максимальним тарифом – множина $S_3 = \{8, 9, 18, 19, \dots, 21\}$, S_1, S_2, S_3 – непересічні множини $S_1 \cap S_2 \cap S_3 = \emptyset$, і $S = S_1 \cup S_2 \cup S_3$, OptStoim – деяке велике число;

Умовні позначення проміжних даних: q – вектор розмірності $[24 \times 1]$, що визначає МС сумарної витрати СВ на ГКНС по всіх підінтервалах множини S ($\text{м}^3/\text{с}$); U – вектор розмірності $[24 \times 1]$, що визначає МС рівня СВ в ПР ГКНС по усім підінтервалам множини S , U_i – рівень СВ в ПР ГКНС до кінця i -го

$$\text{інтервала часу (м); } u_{\text{oven}} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \forall U_i \in U : U_i \in [H_{\min}, H_{\max}], \\ -6, & \text{якщо } \exists \text{ хоч один } U_i \in U : U_i < H_{\min}, \text{ } m \text{ та } m^* - \\ 6, & \text{якщо } \exists \text{ хоч один } U_i \in U : U_i > H_{\max}, \end{cases}$$

величини, що дорівнює сумі добутків кількості працюючих НА на годину.

Stoim – це МС суми коштів витрат на електроенергію усіма працюючими НА на інтервалі управління.

Алгоритм пошуку оптимального режиму роботи ГКНС:

Крок 1. Задаємо $T, P, n, \bar{H}_0, \text{OptStoim}, H_{\min}, H_{\max}, j = 0$.

Знаючи P та q_0 визначаємо МО кількості працюючих НА m .

Крок 2. $j := j + 1$. Для підінтервалу k_j : встановлюємо режим R роботи ГКНС (кількість працюючих НА для кожного часу доби) $R_i = n, (i \in S_j)$.

Крок 3. Розраховуємо q, U, u_{oven} .

Якщо $u_{\text{oven}} = -6$, то повертаємося в п.2.

Крок 4. Встановлюємо новий режим роботи ГКНС R способом перебору усіх можливих комбінацій включення НА: $R_i = 0, 1, \dots, n, (i \in S_j)$.

Крок 5. Якщо для нового режиму R виконуються умови $\sum_{i \in S_j} R_i > m$ або

$\sum_{i \in S_t} R_i < m - 1$, то повертаємося у крок 4.

Крок 6. Розраховуємо q , U , u_{roven} .

Якщо $u_{roven}=1$, то розраховуємо $Stoim$.

Якщо $u_{roven} \neq 1$, то повертаємося в п.4.

Крок 7. Якщо $Stoim < OptStoim$, то $OptStoim := Stoim$.

Крок 8. Для режиму R розрахунок m^* ; Якщо $m^* < m$, то $m := m^*$.

Крок 9. Виводимо $Stoim$; R ; U . Повертаємося в п.4.

Крок 10. Вибір оптимальних значень $Stoim^*$; R^* ; U^* .

В результаті рішення задачі оптимального стохастичного управління режимами роботи ГКНС для кожного інтервалу часу k отримуємо.

Крок 1. МС вектора управління, що включає в себе: кількість працюючих НА, положення робочої точки кожного НА.

Крок 2. оцінки МС рівнів СВ в ПР ГКНС.

Крок 3. оцінки МС витрат і перепадів тиску по всіх технологічних елементів ГКНС.

Крок 4. оцінки МС витрат електроенергії та її вартості, відповідно до трьохзонний тарифом, усіма працюючими НА.

У момент часу $k = 23$ отримуємо оцінку МС сумарної вартості електроенергії, витраченої КНС на інтервалі управління $[0, T]$.

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

У даній роботі була побудована імітаційна модель ГКНС, яка дозволяє:

- а) по перерахуванню вище вихідними даними побудувати модель ГКНС, адекватно описує її роботу для фактичних режимів;
- б) виробляти моделювання роботи ГКНС, змінюючи вихідні дані (режими роботи НА, початкові рівні води в ПР, кількість притоків, параметри технологічного обладнання ГКНС);
- в) вирішувати завдання оптимізації.

Обчислення були зроблені у програмі Microsoft Excel, у додатку надані таблиці та підрахунки знаходження оптимального варіанту режиму роботи ГКНС.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Як приклад розглянемо ГКНС, представлену на рис.1.1 ГКНС оснащена п'ятьма НА типу FLYGT CT 3531 і чотирма НА типу СДВ 9000/45, паспортні характеристики яких наведені на рис. 4.1, апроксимовані параметри в табл. 4.1

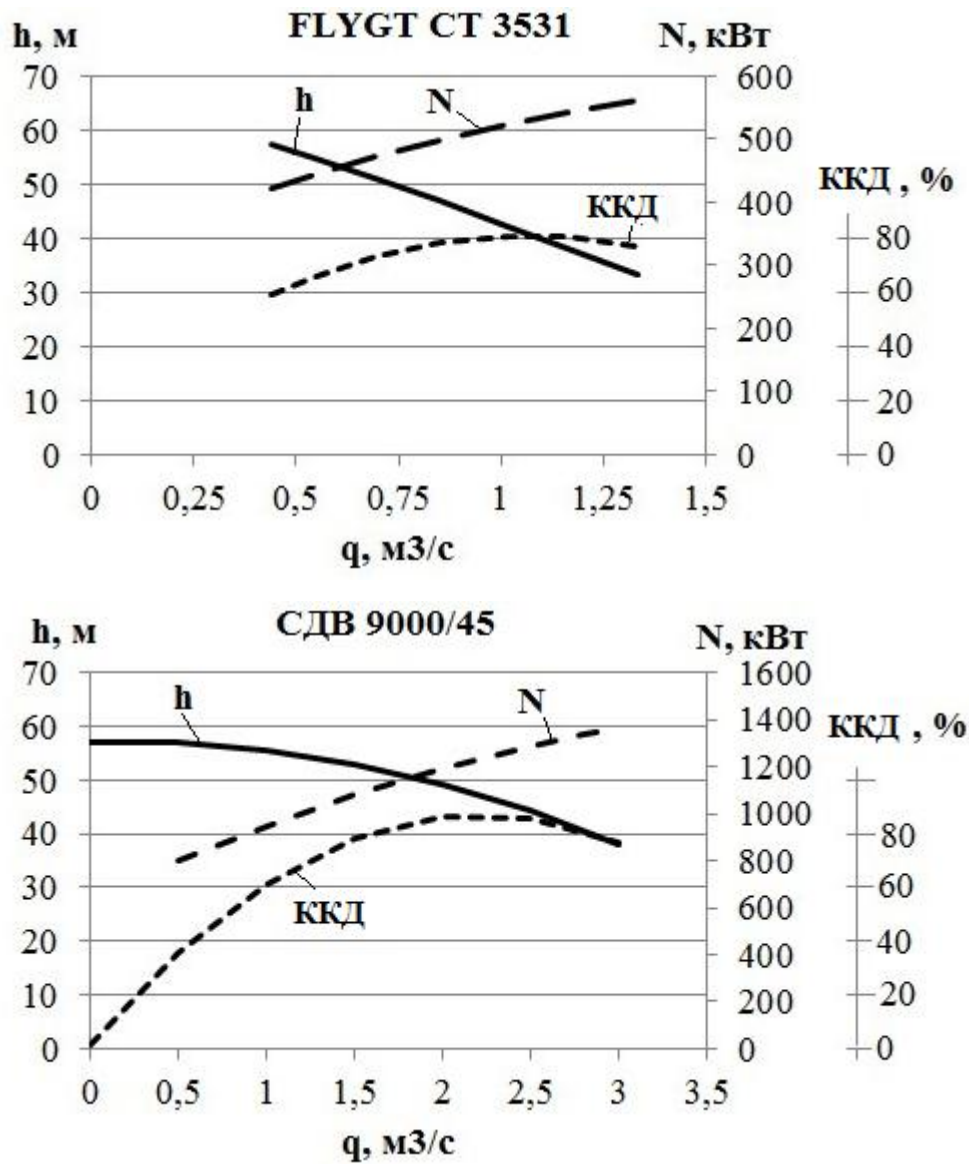


Рисунок.4.1 – Паспортні характеристики насосів FLYGT CT 3531 та СДВ 9000/45

Таблиця 4.1 – Оцінки МО параметрів апроксимуючих функцій H-Q
та КПД-Q

Тип НА	$\bar{a}_0$	$\bar{a}_1$	$\bar{a}_2$	$\bar{d}_0$	$\bar{d}_1$	$\bar{d}_2$
FLYGT CT 3531	67,55976	-22,2469	-2,54534	18,33433	116,416	-54,1789
СДВ 9000/45	57,22619	0,82143	-2,40476	1,428571	77,2857	-17,4286

Вихідними даними для задачі оптимального стохастичного управління режимами роботи ГКС на інтервалі управління $[0, T]$ є:

а) структура ГКС; довжини; діаметри; геодезичні позначки ділянок напірного колектора; оцінки параметрів математичних моделей всіх НА; оцінки гідравлічних опорів всіх РЗ; фізичні розміри ПР;

б) прогноз припливу СВ в ПР ГКС за розглянутий період часу.

ПР має наступні фізичні розміри: висота 6 м, об'єм 170 208 м³. Мінімальний допустимий рівень СВ в ПР 3,2 м, максимальний допустимий рівень СВ в ПР 5,9 м. Довжини, діаметри і геодезичні позначки напірних колекторів відповідно: $l = 350$ м, $d = 1,1$ м, $h^g = -31,65$ м. На рис. 4.2 наведено графік прогнозу припливу СВ в ПР за добу.

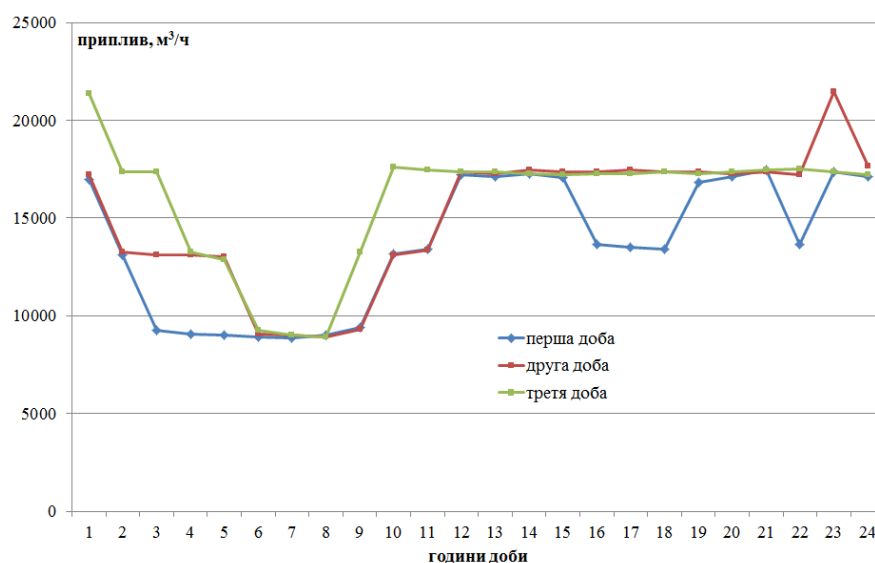


Рисунок 4.2 – Графік прогнозу притоку СВ у ПР за три доби

У нульовий момент часу $k = 0$ для фактичного і оптимального режиму використовувалися однакові умови: МС рівня СВ в ПР м; на ГКНС працювали три НА типу Flygt. Для фактичного режиму використовувався однозонний тариф 1,238; для оптимального режиму тризонний тариф. Результати розв'язання задачі оптимального стохастичного управління режимами роботи ГКНС наведені в табл. 4.2 и на рис 4.3

Таблиця 4.2 – Режими роботи ГКНС по годинам для існуючої системи управління та оптимального стохастичного управління за першу добу

Перша доба	Існуюча система управління				Перші дні	Оптимальне стохастичне управління			
Години	Тариф	Рівень води в ПР	Кількість працюючих НА		Години	Тариф	Рівень води в ПР	Кількість працюючих НА	
		5,1	Flygt	СДВ			5,10	Flygt	СДВ
1	1,4906	4,6	2	1	1	0,25	5,10	1	1
2		4,5	1	1	2	0,25	4,95	1	1
3		4,8		1	3	0,25	4,68	1	1
4		4,9		1	4	0,25	4,40	1	1
5		4,9		1	5	0,25	4,30		1
6		4,8		1	6	1,02	4,62		
7		4,6		1	7	1,02	4,33	1	1
8		4,6		1	8	1,8	4,65		
9		5,1		1	9	1,8	4,98		
10		5,1	1	1	10	1,02	4,84	1	1
11		5,4	1	1	11	1,02	4,72	1	1
12		5,2	2	1	12	1,02	4,72	1	1

Кінець таблиці 4.2

Перша доба	Існуюча система управління				Перша доба	Оптимальне стохастичне управління			
Години	Тариф	Рівень води в ПР	Кількість працюючих НА		Години	Тариф	Рівень води в ПР	Кількість працюючих НА	
		5,1	Flygt	СДВ			5,10	Flygt	СДВ
13		4,9	2	1	13	1,02	4,73	1	1
14		4,8	2	1	14	1,02	4,74	1	1
15		4,4	2	1	15	1,02	4,74	1	1
16		5	1	1	16	1,02	4,44	2	1
17		5,4	1	1	17	1,02	4,15	2	1
18		5,7	1	1	18	1,8	4,62		
19		5	2	1	19	1,8	5,21		
20		4,7	2	1	20	1,8	5,63	1	
21		4,8	2	1	21	1,8	5,64	1	1
22		5,4	1	1	22	1,02	5,51	1	1
23		5,4	2	1	23	0,25	5,33	2	1
24		5,1	2	1	24	0,25	5,14	2	1
Існуюча система управління					Оптимальне стохастичне управління				
N, кВт	S, грн.				N, кВт	S, грн.			
	Однозонний тариф		Тризонний тариф						
45601	67972		45636		37896,13	29539,3			

Таблиця 4.3 – Режими роботи ГКНС для існуючої системи
управління та оптимального стохастичного управління
за другу добу

Друга доба	Існуюча система управління				Друга доба	Оптимальне стохастичне управління			
Години	Тариф	Рівень води в ПР	Кількість працюючих НА		Години	Тариф	Рівень води в ПР	Кількість працюючих НА	
		5,1	Flygt	СДВ			5,10	Flygt	СДВ
Існуюча система управління					Оптимальне стохастичне управління				
N, кВт	S, грн.				N, кВт	S, грн.			
	Однозонний тариф		Тризонний тариф						
49952	74459		48824		41566,22	31086,64			

Таблиця 4.4 – Режими роботи ГКНС для існуючої системи
управління та оптимального стохастичного управління
за третю добу

Третя доба	Існуюча система управління				Третя доба	Оптимальне стохастичне управління			
Години	Тариф	Рівень води в ПР	Кількість працюючих НА		Години	Тариф	Рівень води в ПР	Кількість працюючих НА	
		5,1	Flygt	СДВ			5,10	Flygt	СДВ
Існуюча система управління					Оптимальне стохастичне управління				
N, кВт	S, грн.				N, кВт	S, грн.			
	Однозонний тариф		Тризонний тариф						
52672	78513		51185		46114,31	34412,98			

На рис. 4.3 показана вартість витрат на електроенергію для фактичного та оптимального режимів роботи ГКНС за три доби.

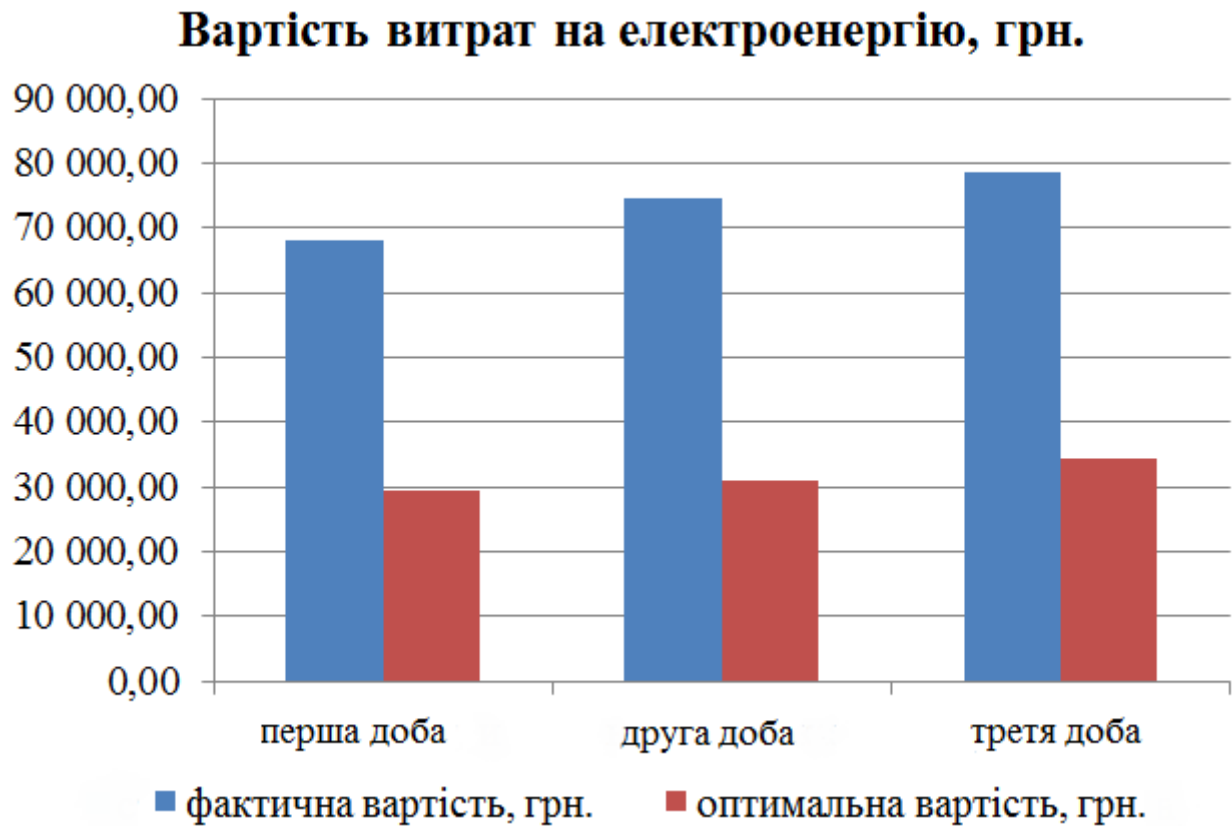


Рисунок 4.3 – Вартість коштів на електроенергію для фактичного та оптимального режимів роботи ГКНС за три доби

У таблиці 4.5 і на рис. 4.3 показані результати розрахунків витрат потужності і вартості витрат на електроенергію для фактичного і оптимального режимів роботи ГКНС за три доби.

Таблиця 4.5 – Витрати потужності та вартість витрат на електроенергію
для фактичного та оптимального режимів роботи ГКНС
за три доби

Період	N, кВт		S, грн.		
	факт	опт	факт	тризон	опт
Перша доба	45 600,59	37 896,13	67 972,24	45 636,16	29 539,30
Друга доба	49 952,38	41 566,22	74 459,02	45 636,16	31 086,64
Третя доба	52 672,25	46 114,51	78 513,25	51 184,69	34 412,98
Сума	148 225,22	125 576,86	220 944,51	142 457,02	95 038,91

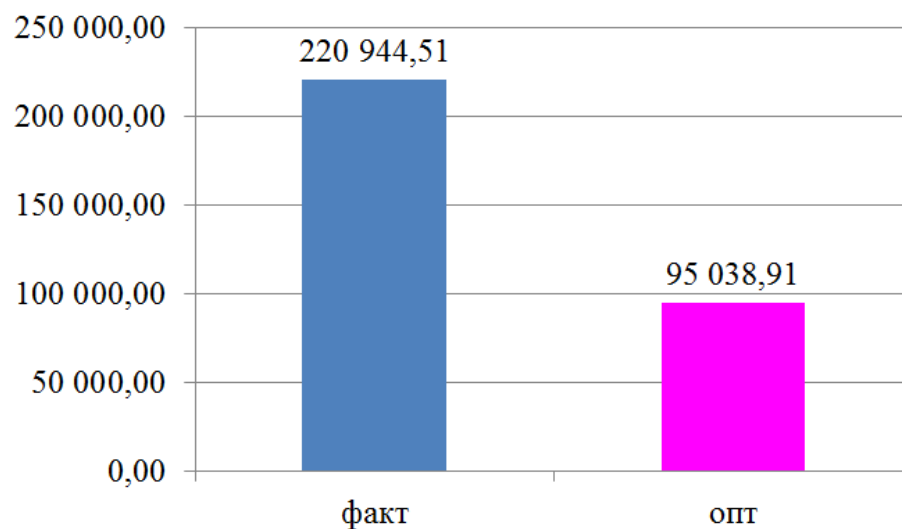


Рисунок 4.4 – Сумарна вартість витрат на електроенергію за три доби
для фактичного та оптимального режимів роботи ГКНС

У таблиці 4.6 показана економія витрат потужності та вартість витрат на електроенергію оптимального режиму роботи ГКНС в порівнянні з фактичним за три доби.

Таблиця 4.6 – Економія витрат потужності та вартості витрат на електроенергію оптимального режиму роботи ГКНС в порівнянні з фактичним за три доби.

Період	N економія		S економія	
	%	кВт	%	грн.
Перша доба	16,90	7 704,46	56,54	38 432,94
Друга доба	16,79	8 386,16	58,25	43 372,38
Третя доба	12,45	6 557,73	56,17	44 100,28

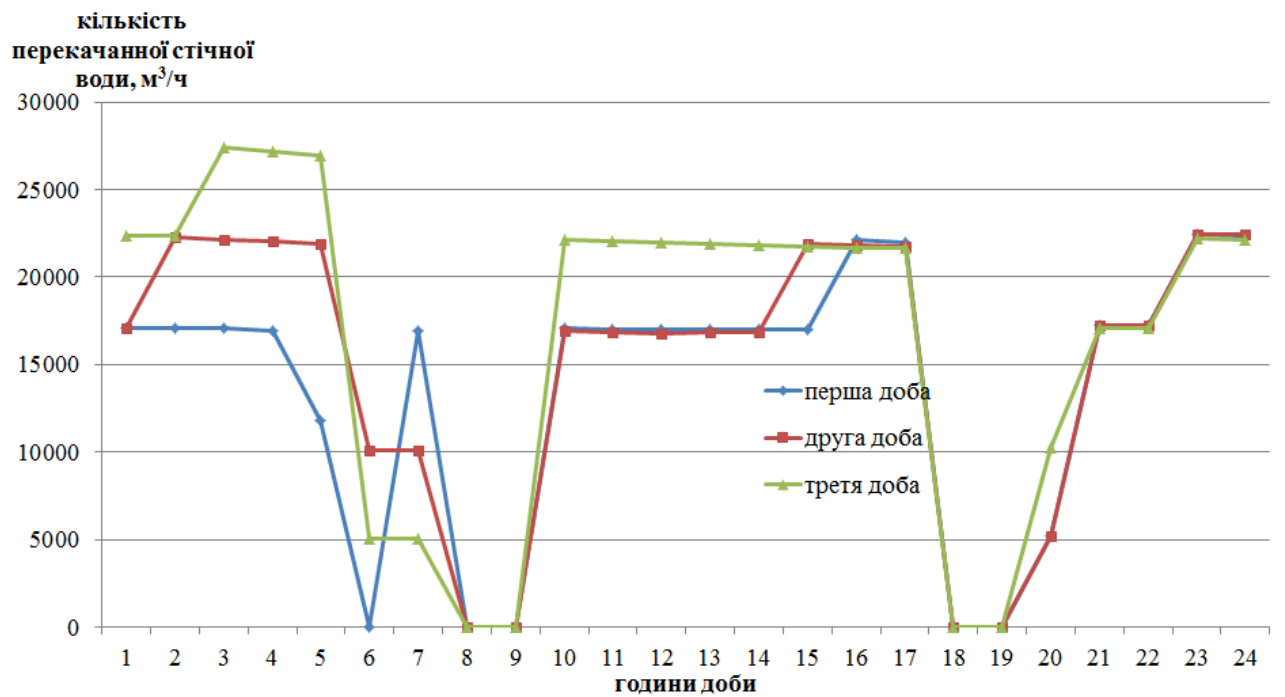


Рисунок 4.5 – МС об'єму СВ, перекачаної ГКНС на інтервалі управління для оптимального режиму роботи

Аналіз результатів табл. 4.6 дозволяє зробити висновок, що при переході на тризонний тариф на електроенергію і використанні пропонованого алгоритму оптимального стохастичного управління можна забезпечити суттєву

економію вартості електроенергії.

На рис. 4.6 показано, що при оптимальному режимі роботи ГКНС більш ефективно використовується ємність ПР: на 23 годину МС рівнів СВ в ПР досягає максимального значення, а до 6 години мінімального.

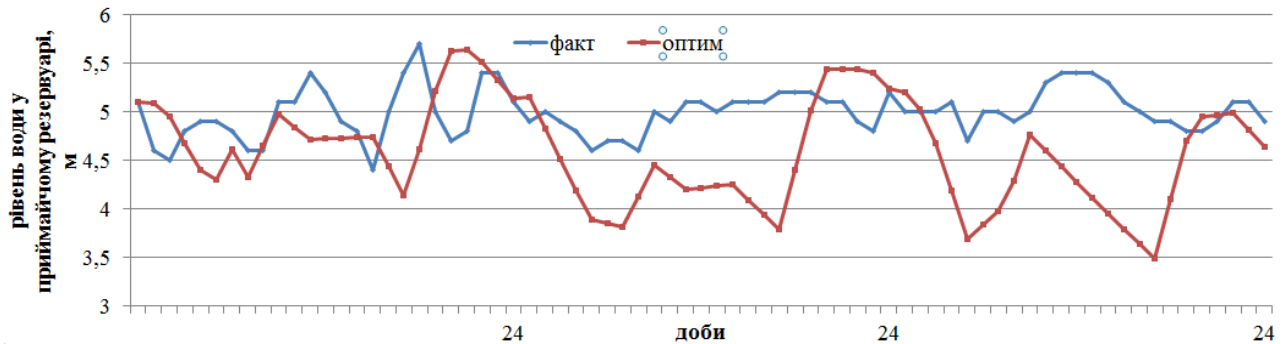


Рисунок 4.6 – МС зміни рівнів СВ в ПР ГКНС для фактичного і оптимального режимів роботи ГКНС

Практичне застосування стохастичної моделі квазістаціонарних режимів роботи ГКНС і перехід на тризонний тариф на електроенергію забезпечує значну економію фінансових витрат ГКНС на перекачку СВ на інтервалі управління $[0, T]$.

5 АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ЗАСТОСУВАНЬ

Розглянуті в атестаційній роботі задачі можуть практично застосовуватись для розрахунку режимів роботи реальних ГКНС. Програмне забезпечення дозволяє змодельовати режими роботи ГКНС, змінювати вихідні данні та параметри технологічного обладнання ГКНС, а також розв'язувати задачу оптимізації.

Результати атестаційної роботи можуть знайти застосування на ГКНС великих міст.

ВИСНОВКИ

В атестаційній роботі був проведений статистичний аналіз експериментальних даних про фактичні режими роботи технологічного обладнання ГКНС Комунального підприємства «Харківводоканал». У результаті чого був обраний найбільш оптимальний з точки зору ефективності та трудомісткості метод математичного моделювання режимів роботи ГКНС.

Приведена математична модель задачі оптимального стохастичного керування режимами роботи ГКНС, розв'язок якої дозволяє отримати мінімальне математичне сподівання вартості витрат на електроенергію при тризонному тарифі на інтервалі керування.

В результаті розв'язання задачі оптимального стохастичного керування вартість витрат на електроенергію зменшилась з 220 944 грн. до 95 038 грн. Був знайдений оптимальний режим роботи ГКНС, який дозволяє заощадити 56% фінансових витрат на електроенергію.

Провели системний аналіз проблеми моделювання та оптимізації квазістаціонарних режимів роботи ГКНС.

Програмно реалізували метод розв'язання задачі оптимального стохастичного керування режимами роботи ГКНС та задачу оптимального управління насосної станції.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Burgschweiger J., Gnädig B. B., Steinbach M. C. Nonlinear Programming Techniques for Operative Planning in Large Drinking Water Networks // The Open Applied Mathematics Journal. 2009. № 3. P. 14–28.
2. Tevyashev A., Matviyenko O. About One Class of the Problems of Optimal Stochastic Control of Hybrid Dynamical Systems // Econtechmod. An International Quarterly Journal. 2016. № 5 (3). P. 3–10.
3. Добровольська О. Г., Українець М. О. Практична реалізація методів з оптимізації поточкорозподілу у водопровідних мережах // ТАРП. 2014. №4 (20). С. 4–7.
4. Евдокимов А. Г., Тевяшев А. Д. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях // Харьков : Вища школа, 1980. 144 с.
5. Евдокимов А. Г., Дубровский В. В., Тевяшев А. Д. Москва : Стройиздат. Потокораспределение в инженерных сетях, 1979. 199 с.
6. Епифанов С. П., Новицкий Н. Н., Боровин Д. И. Развитие моделей и методов анализа чувствительности гидравлических сетей // Трубопроводные системы энергетики. Методические и прикладные проблемы математического моделирования. Новосибирск : Наука, 2015. С. 288–294.
7. Епифанов С. П., Зоркальцев В. И., Медвежонков Д. С. Симметричная двойственность в оптимизации и модели потокораспределения при ограничениях-неравенствах на переменные // Трубопроводные системы энергетики. Методические и прикладные проблемы математического моделирования. Новосибирск : Наука, 2015. С. 144–158.
8. Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции // Москва : Стройиздат, 1986. 320 с.
9. Левин А. А., Таиров Э. А., Чистяков В. Ф. Расчёт потокораспределения в энергоустановках как гидравлических цепях с регулируемыми параметрами // Трубопроводные системы энергетики: математическое моделирование и оптимизация. Новосибирск : Наука, 2010. С. 115–124.

10. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудувных установках // Москва : Энергоатомиздат, 2006. 358 с.
11. Сотников Д. В. Разработка методики повышения энергетической эффективности насосных станций // Вестник ВГТУ. 2014. № 1. С. 105–106.
12. Тевяшев А. Д., Козыренко С. И. Применение линеаризованных моделей установившегося потокораспределения в задачах оперативного управления // Новые информационные технологии управления развитием и функционированием трубопроводных систем энергетики. 1993. С. 20–33.
13. Тевяшев А. Д., Матвиенко О. И. Математическая модель и метод оптимального стохастического управления режимами работы магистрального водовода // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 6/4 (78). С. 45–53.
14. Тевяшев А. Д., Козыренко С. И., Непочатова В. Д. Стохастическая модель квазистационарного потокораспределения в инженерных сетях // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. №11 (45). С. 57–60.
15. Чупин Р. В., Мелехов Е. С. Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения // Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2011. 323 с.
16. Юдовина Е. Ф., Пашенкова Е. С., Корелштейн Л. Б. Программный комплекс «Гидросистема» и его использование для гидравлических расчётов трубопроводных систем // Трубопроводные системы энергетики. Методические и прикладные проблемы математического моделирования. Новосибирск : Наука, 2015. С. 438–446.
17. Steinbach M. C. General Information Constraints in Stochastic Programs // Konrad-Zuse-Zentrum fur Informations technik. Berlin : ZIB-Report, 2001. P. 5.
18. Steinbach M. C. Hierarchical Sparsity in Multistage Convex Stochastic Programs // Konrad-Zuse-Zentrum fur Informations technik. Berlin : ZIB-Report, 2000. P. 16.

19. Steinbach M. C. Tree-Sparse Convex Programs // Konrad-Zuse-Zentrum für Informations technik. Berlin : ZIB-Report, 2001. P. 22.
20. Pulido-Calvo I., Gutiérrez-Estrada J. C. Selection and Operation of Pumping Stations of Water Distribution Systems // Environmental Research Journal. Nova Science Publishers. 2011. № 5 (3). P. 1–20.
21. Reinbold C., Hart V. The Search for Energy Savings: Optimization of Existing & New Pumping Stations // Florida Water Resources Journal. 2011. P. 44–52.
22. Ruuskanen A. Optimization of Energy Consumption in Wastewater Pumping // Lappeenranta University of Technology Department of Energy and Environmental Technology. 2007. P. 99.
23. MyJournal. URL : <http://www.myjurnal.my/public/article-view.php?id=132464> (дата звернення: 06.11.2019).
24. Periodicals agency of Jiangsu university. URL : <https://zjs.ujs.edu.cn/pgjx/en/abstract/abstract561.shtml#> (дата звернення: 06.11.2019).
25. Sciencedirect. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816341844> (дата звернення: 06.11.2019).
26. Scincdirect. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019057812000316> (дата звернення: 06.11.2019).
27. Tandfonline. URL : <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/030515X.2017.1327580> (дата звернення: 06.11.2019).