

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КАСКАДНОЇ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ З УТОЧНЮВАЛЬНОЮ МОДЕЛЛЮ ГІДРАВЛІЧНОЇ МЕРЕЖІ В ПАКЕТІ SimHydraulics

Виконав:

здобувач вищої освіти денної форми
навчання освітнього ступеня «Магістр»,
освітньо-професійної програми
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

_____ **Іван ПИЛИПЧУК**

Керівник: кандидат технічних наук, доцент

_____ **Олександр КОЗАК**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«_____» _____ 2024 р.

Гарант освітньої програми

«Електроенергетика, електротехніка

та електромеханіка» спеціальності

141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ **Павло ПОТАПСЬКИЙ**

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
 Факультет енергетики та інформаційних технологій
 Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій
 Освітній ступінь «Магістр»
 Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри,

Ігор ГАРАСИМЧУК

«___» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ здобувачу вищої освіти

ПИЛИПЧУКУ Івану Івановичу

1. Тема роботи: «Розробка та дослідження електромеханічної системи каскадної насосної установки з уточнювальною моделлю гідравлічної мережі в пакеті SimHydraulics»

2. Керівник роботи: канд. техн. наук, доцент КОЗАК Олександр Володимирович

Затверджено наказом Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» від 26 лютого 2024 року №104с.

Строк подання закінченої роботи 25 листопада 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Правила влаштування електроустановок.
2. Аналіз іноземних та вітчизняних публікацій.
3. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО – ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ВІДНОСНО РЕЖИМІВ РОБОТИ І КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМІВ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

2 РОЗРАХУНОК ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВОДОСПОЖИВАННЯ

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ВИБІР ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

4 МАТИМАТИЧНИЙ ОПИС ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

5 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КАСКАДНОЇ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

6 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Презентаційні матеріали по розділах роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2	Доцент Дубік В.М.		

7. Дата видачі завдання 10 червня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Етапи кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Підпис керівника
1	ВСТУП	10.09.24р.	
2	1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО – ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ВІДНОСНО РЕЖИМІВ РОБОТИ І КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМІВ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ	21.09.24р.	
3	2 РОЗРАХУНОК ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВОДОСПОЖИВАННЯ	02.10.24р.	
4	3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ВИБІР ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ	17.10.24р.	
5	4 МАТИМАТИЧНИЙ ОПИС ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ	29.10.24р.	
6	5 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КАСКАДНОЇ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ	08.11.24р.	
7	6 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	14.11.24р.	
8	ВИСНОВКИ	21.11.24р.	
9	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	23.11.24р.	

Здобувач вищої освіти

_____ Іван ПИЛИПЧУК

Керівник роботи, доцент

_____ Олександр КОЗАК

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО – ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ВІДНОСНО РЕЖИМІВ РОБОТИ І КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМІВ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.1 Аналіз режимів роботи та конструкцій насосних установок	Ошибка! Закладка не определена.
1.2 Вимоги до нерегульованих та регульованих електроприводів насосних установок	Ошибка! Закладка не определена.
1.3 Порівняльний аналіз для регульованих систем електроприводів насосних установок	Ошибка! Закладка не определена.
1.4 Огляд науково-технічних розробок в галузі механізмів транспортування рідких речовин	Ошибка! Закладка не определена.
1.5 Особливість водопостачання житлових будинків в межах року	Ошибка! Закладка не определена.
Висновки до розділу 1	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВОДОСПОЖИВАННЯ.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.1 Розрахунок і побудова добових графіків водоспоживання	Ошибка! Закладка не определена.
2.2 Вибір насосів електромеханічної системи водопостачання	Ошибка! Закладка не определена.
2.3 Розрахунок параметрів схеми заміщення двигуна	Ошибка! Закладка не определена.
Висновки до розділу 2	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ВИБІР ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1 Функціональна схема системи керування	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Вибір пристрою плавного пуску для нерегульованого насосу	Ошибка! Закладка не определена.
3.3 Вибір перетворювача частоти	Ошибка! Закладка не определена.
3.4 Вибір давача тиску.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.5 Функціональна схема електромеханічної системи каскадної насосної установки	Ошибка! Закладка не определена.

Висновки до розділу 3	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 4 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.1 Математична модель електродвигуна .	Ошибка! Закладка не определена.
4.2 Математичний опис перетворювача частоти	Ошибка! Закладка не определена.
4.3 Математичний опис системи стабілізації тиску	Ошибка! Закладка не определена.
4.4 Математична модель двоагрегатної насосної установки	Ошибка! Закладка не определена.
Висновки до розділу 4	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КАСКАДНОЇ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.1 Розробка структури моделі гідравлічної мережі	Ошибка! Закладка не определена.
5.2 Розробка структури моделі каскадної системи насосної установки з врахуванням гідравлічної мережі	Ошибка! Закладка не определена.
5.3 Розробка результуючої моделі електромеханічної системи в межах пакету прикладних програм Matlab Simulink	Ошибка! Закладка не определена.
Висновки для розділу 5	Ошибка! Закладка не определена.
РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	Ошибка! Закладка не определена.
Висновок до розділу 6	Ошибка! Закладка не определена.
ВИСНОВКИ.....	12
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	13

АНОТАЦІЯ

Проведений аналіз принципів побудови розгалуженої системи водопостачання, дозволив отримати в межах бібліотеки SimHydraulics більш точну модель гідравлічної мережі яка враховує реальні характеристики її елементів.

На базі отриманого математичного опису елементів електромеханічної системи водопостачання з використанням програми Matlab, розроблено комплексну модель для дослідження динамічних процесів електромеханічної системи яка включає до себе сукупність регульованого та нерегульованого насосних агрегатів при стабілізації заданої величини тиску в гідравлічній мережі.

SUMMARY

The conducted analysis of the principles of construction of a branched water supply system allowed to obtain within the SimHydraulics library a more accurate model of the hydraulic network that takes into account the real characteristics of its elements.

On the basis of the obtained mathematical description of the elements of the electromechanical water supply system using the Matlab program, a complex model was developed for the study of dynamic processes of the electromechanical system, which includes a set of adjustable and non-adjustable pump units during stabilization of a given pressure value in the hydraulic network.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Розробка та дослідження електромеханічної системи каскадної насосної установки з уточнювальною моделлю гідравлічної мережі в пакеті SimHydraulics» містить 80 сторінок, 33 рисунки, 30 таблиць, 22 джерел інформації.

Основною метою даної магістерської роботи є розробка, дослідження та побудова каскадної насосної установки для водозабезпечення будинку. Для дослідження характеристик установки була побудована модель насосної установки в бібліотеці SimHydraulics, програмного забезпечення Matlab, яка враховує внутрішній опір та втрати тиску в розгалуженій гідравлічній системі. В якості споживачів були розраховані та задані в модель ступінчасті добові графіки споживання для різних сезонів року, які були побудовані з врахування коефіцієнту сезонної нерівномірності.

На базі моделі було виконане дослідження рівня стабілізації тиску та надано оцінку розподілу втрат активної потужності електромеханічної системи з врахуванням діапазону коливання продуктивності при експлуатації насосних агрегатів впродовж року.

Ключові слова: ВІДЦЕНТРОВИЙ НАСОС, КАСКАДНА НАСОСНА УСТАНОВКА, ТИСК, МОДЕЛЬ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, СПОЖИВАННЯ, ГІДРАВЛІЧНА МЕРЕЖА, КОЕФІЦІЄНТ НЕРІВНОМІРНОСТІ, ВТРАТИ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ

СПП – система плавного пуску

ПЧ – перетворювач частоти,

РТ – регулятор тиску,

M_1 – привідний двигун для регульованого насосу

M_2 – привідний двигун для нерегульованого насосу

K_{zz} – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю

U_{zn}^* – сигнал завдання напруги,

U_{zzn} – сигнал зворотного зв'язку по напору

$U_{СПП}$ – напруга системи плавного пуску

$U_{дж}$ – напруга джерела

$U_{мер}$ – напруга мережі живлення

ω^* – задана швидкість першого двигуна

ω, ω_{12} – швидкості першого і другого насосів відповідно

M, M_{c1c2} – статичний момент на валу першого і другого насосів

u_{1a}, u_{1b} – напруги статора по осям а і b двофазної системи.

ВСТУП

Актуальність роботи. Для переміщення та транспортування різних речовин під тиском застосовують насосні установки. В наш час насоси використовують в різних сферах, як для водозабезпечення, водовідведення, опалення, хімічної промисловості та аграрному секторі. Вони повинні відповідати вимогам високої надійності та безпеки їх функціонування.

Проектування нових і реконструкція діючих електромеханічних систем водопостачання, при чому останні, в основному експлуатуються тривалий час (більше десяти років) і вимагають оснащення новими сучасними електроприводами та системами автоматичного керування.

Особливе місце створення нормальних умов життєдіяльності людей займають системи водопостачання житлових будинків, які мають велику висоту і достатньо розгалужену структуру гідравлічної мережі.

Так як споживання житлових будинків не однакове на протязі доби, а також сезону пори року, то виникає задача максимально ефективного перекриття графіку споживання за рахунок регулювання продуктивності насосних установок. В цих умовах актуальною є задача стабілізації напору і забезпечення надійного функціонування гідравлічної мережі для недопущення залишення будинків без водопостачання (відсутність динамічних перевантажень, виходу з ладу запірної арматури та ін.).

Іншою не менш важливою задачею є забезпечення мінімуму втрат енергії при виконанні заданого циклу варіацій продуктивності насосних установок в межах доби і року.

Одним з перспективних напрямків вирішення даних задач є використання каскадних схем побудови насосних агрегатів при використанні комбінації регульованого і нерегульованого насосу при паралельному їх з'єднанні [1].

Разом з цим при дослідженні режимів роботи цієї системи водопостачання використовуються методи опису та моделювання розгалужених гідравлічних мереж не дозволяють з достатньою точністю отримати реальні динамічні режими роботи. Тому достатньо перспективним є

використання для моделювання гідравлічної мережі бібліотеки Simhydraulics, пакету прикладних програм Matlab.

Разом з тим, для визначення доцільності використання вказаної каскадної насосної установки необхідно провести дослідження статичних та динамічних характеристик електромеханічної системи при використанні уточненої моделі гідравлічної мережі.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою роботи є проведення дослідження характеристик насосної установки при використанні уточненої моделі гідравлічної мережі.

У роботі було вирішено наступні задачі:

- на основі аналітичного огляду режимів роботи насосних установок сформулювати вимоги для привідних двигунів;
- розрахувати добові графіки споживання води для різних періодів року;
- виконати розробку системи стабілізації тиску;
- провести дослідження рівня стабілізації тиску в гідромережі при використанні каскадної схеми паралельно з'єднаних насосних агрегатів;
- виконати дослідження енергетичних характеристик системи водопостачання житлового будинку.
- Надати рекомендації про доцільність використання комбінованих каскадних насосних систем водопостачання житлових будинків.

Об'єкт дослідження: Режими роботи комбінованих каскадних насосних агрегатів житлового будинку.

Предмет дослідження: Електромеханічна система водопостачання при паралельному включенні регульованого та нерегульованого насосів.

Методи досліджень. У роботі були використані основні положення теорії електроприводу, теорії автоматичного керування, розробки систем електроприводів, інтелектуального керування, дослідження системи моделювання за допомогою бібліотеки Simhydraulics програмного середовища MATLAB.

Практична цінність. Моделі дозволять реалізовувати дослідження режимів та мінімізувати втрати при роботі каскадних насосних установок в протягом робочого циклу при врахуванні опору гідравлічної мережі, а також відпрацюванні добового графіку споживання.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень доповідались на IV Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції "Ефективне використання енергії; стан і перспективи"» (Кам'янець-Подільський, ЗВО «ПДУ»). 9 листопада 2024 року.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі поставлена мета і відповідні роботи по її досягненню виконані в повному обсязі.

1. Для конкретної каскадної насосної установки при паралельним з'єднанням двох насосів виконаний розрахунок і вибір елементів електромеханічної системи водопостачання в тому числі два відцентрових насоси фірми Calpeda та два асинхронних електродвигуна потужністю 1.1 кВт кожен. В якості перетворюваного пристрою використано перетворювач частоти компанії Siemens, серії Sinamics G120P.

2. Проведений аналіз принципів побудови розгалуженої системи водопостачання, дозволив отримати в межах бібліотеки SimHydraulics більш точну модель гідравлічної мережі яка враховує реальні характеристики її елементів.

3. На базі отриманого математичного опису елементів електромеханічної системи водопостачання з використанням програми Matlab, розроблено комплексну модель для дослідження динамічних процесів електромеханічної системи яка включає до себе сукупність регульованого та нерегульованого насосних агрегатів при стабілізації заданої величини тиску в гідравлічній мережі.

4. Отримані результати дозволяють рекомендувати при проектуванні систем водопостачання використовувати каскадні насосні установки з оптимальним розподіленням потужності насосів з врахуванням потрібного закону регулювання продуктивності насосних агрегатів.

5. В результаті розробки стартап-проекту вдалося підтвердити доцільність використання методу для моделювання насосних установок для розгалужених систем та змінним у часі споживанням водопостачання при наявності двох паралельно увімкнених насосів.

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач вищої освіти _____ **Іван ПИЛИПЧУК**

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шадура В.О., Кравченко Н.В. Водоспоживання та водовідведення: навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2018. 343 с.
2. Бур'ян С.О. Дослідження роботи електромеханічної системи автоматизації послідовно з'єднаних насосних установок в пакеті SIMHYDRAULICS / С.О. Бур'ян, М.В. Печеник, Г.Ю. Землянхуїна, А.І. Бабарова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 204 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2019. – С. 84-86. <http://dspace.khntusg.com.ua/handle/123456789/10330>
3. Centrifugal Pumps Working Principle. URL: [https://www.gardnerdenver.com/en-ie/knowledge_hub/articles/centrifugal-pumptechnology-explained\](https://www.gardnerdenver.com/en-ie/knowledge_hub/articles/centrifugal-pumptechnology-explained)
4. Відцентровий насос і принцип його дії. URL: <https://nasosvdom.com/uk/-/korisna-informaciya/Centrobezkhnyj-nasos>
5. Шевченко Т. О. Гідравлічні та аеродинамічні машини і насосні та повітродувні станції: навальне видання. – Харків: ХНУМГ, 2014. 124с.
6. Коренькова Т. В. Режими роботи насосних та вентиляторних установок із автоматизованим електроприводом: навч. посібник / Т. В. Коренькова, О. О. Сердюк, В. Г. Ковальчук. – Кременчук: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2013. – 198 с.
7. Регулювання роботи насосів. URL: https://studopedia.com.ua/1_133889_regulyuvannya-roboti-nasosiv.html
11. Попович М.Г., Кіселичник О.І. // Питання теорії автоматизації багатоагрегатних насосних станцій на основі принципу пасивності // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 5, 2006. С. 54-59.
12. Інтелектуальні насоси фірми. ABB. URL: [http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/0724f3a9de9100bac125722000427525/\\$File/Fact_Intelligent_pump_control_software_RevB_EN.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/0724f3a9de9100bac125722000427525/$File/Fact_Intelligent_pump_control_software_RevB_EN.pdf)

13. Перетворювач частоти SINAMICS. URL:
<https://new.siemens.com/ua/uk/produkty/tekhnolohiyi-pryvodiv/sinamics.html>
14. Преобразователи частоты PowerFlex производства Allen-Bradley. URL:
<http://www.aksprom.biz/Catalog/Allen-Bradley/14657/Preobrazovatelichastoty-PowerFlex-Drives>
15. VASCO – Variable speed controller for pumps. URL:
<https://nastec.eu/en/products-for-grid/vasco/>
16. Каталог продукції Vogel. Програмне забезпечення для підбору насосів Vogel Select. 2019 рік.
17. Преобразователи частоты Danfoss VLT AQUA Drive. URL:
<http://danfoss.net.ua/products/4285/4387.html>
18. Вербовська С.О., Проблеми врахування нерівномірності водоспоживання при забезпеченні надійності системи водопостачання населених пунктів. Водопостачання, водовідведення, раціональне використання і охорона водних ресурсів. м. Рівне, 4с.
19. Каталог фірми Calpeda. URL:
<http://www.calpeda.com.ua/pdf/calpeda.pdf>
20. Попович М.Г., Кіселичник О.І. Питання теорії автоматизації багатоагрегатних насосних станцій на основі принципу пасивності. Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 5, 2006. С.54-59.
21. Пристрої плавного пуску. URL:
<https://svt.org.ua/uk/produkcyia/elektrotehnika/ustroystva-plavnogo-puska-uk/>
22. M. Pechenik, S. Burian, M. Pushkar and H. Zemlianukhina, "Analysis of the Energy Efficiency of Pressure Stabilization Cascade Pump System," 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2019, pp. 490-493. (SCOPUS).