

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ НАСОСНИМ ОБЛАДНАННЯМ ІРИГАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ СПОРТИВНИХ ОБ'ЄКТІВ

Виконав:

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

_____ **Яків ТУРИК**

Керівник: канд. техн. наук, доцент

_____ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«_____» _____ 2026 р.

Гарант освітньої програми
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» кандидат технічних
наук, доцент

_____ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

м. Кам'янець-Подільський, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ КЕРУВАННЯ ТИСКОМ	8
1.1 Аналітичний аналіз сучасних систем регулювання тиску.....	8
1.2 Технології вентильно - каскадного регулювання	14
1.3 Використання напівпровідникових регуляторів тиску	15
1.3.1 Перетворювачі частоти для керування насосними агрегатами.....	15
1.3.2 Пристрої плавного пуску для запуску насосів.....	19
РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	25
2.1 Характеристика умов проектування та розподілу електроенергії.....	25
2.2. Розрахунок системи освітлення.....	26
2.2.1. Освітлення майстерні методом коефіцієнта використання світлового потоку	27
2.2.2. Освітлення точковим методом.....	28
2.2.3. Розрахунок прожекторного освітлення	30
2.3. Розрахунок електричних навантажень.....	32
2.4. Розрахунок електричних мереж.....	37
2.4.1. Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів.....	37
2.4.2. Вибір перерізу провідників і кабельних жил за умов нагріву.....	40
2.4.3. Розрахунок мережі за економічною густиною струму	41
2.4.4. Вибір ліній мережі з урахуванням механічної міцності	41
2.4.5. Розрахунок мережі за допустимими втратами напруги.....	42
2.4.6. Остаточний вибір перерізів проводів і кабелів.....	43
2.5. Розрахунок струмів короткого замикання.....	44

2.6. Вибір електричних апаратів.....	52
2.6.1. Захист електродвигунів до 1000 В плавкими запобіжниками.....	53
2.6.2. Вибір автоматичних вимикачів та уставок їх захисту	54
2.6.3. Вибір комплектних розподільчих пристроїв.....	54
2.7. Основні енергетичні показники підприємства.....	57
РОЗДІЛ 3 АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТИСКОМ	59
3.1. Вибір комплектації електросхеми	59
3.2. Опис системи керування пуском та відключенням насосів від ППП.....	69
3.3. Формування послідовності роботи насосів	70
3.4. Алгоритм включення насосів у графічній формі.....	71
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ	73
4.1. Охорона праці.....	73
4.1.1. Аналіз умов праці та виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	73
4.1.2. Технічні та організаційні заходи з безпечної експлуатації електроустановок	75
4.1.3. Виробнича санітарія та гігієна праці.....	76
4.1.4. Пожежна безпека на об'єкті автоматизації.....	77
4.2. Цивільний захист.....	78
4.2.1. Оцінка стійкості роботи спортивного об'єкта та іригаційної системи в умовах надзвичайних ситуацій.....	79
4.2.2. Заходи та засоби захисту персоналу в умовах виникнення НС	80
4.2.3. Забезпечення безперебійного функціонування автоматики та безпечного вимкнення обладнання	81
ВИСНОВКИ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85

ВСТУП

Сучасний розвиток спортивної інфраструктури, зокрема футбольних полів, тенісних кортів та гольф-полів, вимагає суворого дотримання технологічних стандартів щодо якості та стану трав'яного покриття. Важливим елементом підтримання таких об'єктів у належному стані є іригаційні (поливні) системи. Ефективність їхнього функціонування безпосередньо залежить від роботи насосних станцій, які є головними споживачами електричної енергії в структурі водного господарства спортивних комплексів.

Традиційні підходи до керування насосними агрегатами (прямий пуск від мережі, регулювання тиску методом дроселювання) супроводжуються значними втратами енергії, виникненням великих пускових струмів, що перевантажують локальну електричну мережу, а також високим ризиком виникнення гідравлічних ударів, які руйнують трубопроводи та арматуру. Крім того, робота іригаційної системи без урахування поточних метеорологічних умов (рівня вологості ґрунту, наявності природних опадів) призводить до перевитрати водних ресурсів.

У зв'язку з цим виникає гостра потреба в розробці та впровадженні автоматизованих систем керування (АСК) на базі сучасних програмованих логічних контролерів (ПЛК), перетворювачів частоти (ПЧ) та пристроїв плавного пуску (ППП).

Модернізація алгоритмів керування насосним обладнанням з інтеграцією зворотного зв'язку від датчиків навколишнього середовища дозволяє мінімізувати пускові навантаження, забезпечити енергоощадність, підвищити надійність електромеханічного обладнання та оптимізувати використання водних і земельних ресурсів. Це зумовлює високу актуальність теми кваліфікаційної роботи.

Метою роботи є підвищення енергетичної ефективності, надійності та технологічної точності функціонування іригаційних систем спортивних об'єктів шляхом розробки та дослідження автоматизованої системи керування електроприводами насосного обладнання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан, особливості функціонування та режими роботи технологічного і електромеханічного обладнання іригаційних систем спортивних об'єктів.
2. Обґрунтувати структуру системи автоматизації та виконати вибір елементів силового електропривода (електродвигунів, пристроїв плавного пуску, перетворювачів частоти) і засобів автоматизації (ПЛК, датчиків, комутаційної апаратури).
3. Розробити алгоритмічне та програмне забезпечення для програмованого логічного контролера, що реалізує покроковий узгоджений запуск, регулювання та зупинку насосних агрегатів з урахуванням сигналів датчиків вологості й дощу та блокувальних умов.
4. Розробити електричні схеми автоматизації та керування силовим обладнанням насосної станції.
5. Оцінити заходи з охорони праці та цивільного захисту при експлуатації та обслуговуванні розробленої автоматизованої системи.

Об'єкт досліджень – процеси електромеханічного перетворення енергії та автоматичного керування режимами роботи насосного обладнання в іригаційних системах спортивних об'єктів.

Предмет досліджень – методи, алгоритми, апаратні та програмні засоби автоматизованого керування електроприводами насосних агрегатів із використанням пристроїв плавного пуску, перетворювачів частоти та датчиків контролю параметрів навколишнього середовища.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених завдань у роботі використано:

- методи теорії автоматичного керування (для побудови замкнених систем регулювання параметрів іригації);
- методи математичного та логічного моделювання (при розробці алгоритмів покрокового запуску й зупинки насосів за блокувальними умовами);
- теорію електропривода (для вибору та обґрунтування параметрів електродвигунів, ППП і ПЧ);
- методи промислового програмування (для написання прикладного програмного забезпечення ПЛК);
- системний аналіз науково-технічних джерел і нормативної бази у сфері електроенергетики та автоматизації.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра вирішено актуальну науково-практичну задачу з підвищення енергетичної ефективності, експлуатаційної надійності та технологічної точності функціонування іригаційних систем спортивних об'єктів шляхом обґрунтування та розробки автоматизованої системи керування електроприводами насосного обладнання.

Основні наукові, технічні та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Проаналізовано сучасний стан технологічного комплексу іригації спортивних споруд та виявлено, що традиційні методи прямого пуску та гідравлічного регулювання відцентрових насосів призводять до перевитрат електроенергії, значних пускових струмів та виникнення руйнівних гідроударів у трубопроводах. Доведено необхідність інтеграції сучасних засобів автоматизації та силової електроніки з урахуванням поточних метеорологічних умов.

2. Обґрунтовано структуру системи автоматизації та здійснено вибір сучасного високонадійного електромеханічного обладнання. Впроваджено пристрої плавного пуску (ППП) та перетворювачі частоти (ПЧ) для оптимізації динамічних режимів роботи асинхронних електродвигунів. Як апаратне ядро системи автоматичного керування обрано промисловий програмований логічний контролер (ПЛК), що дозволило забезпечити гнучкість налаштувань, швидкодію та високу завадостійкість.

3. Розроблено алгоритмічне та прикладне програмне забезпечення для ПЛК, яке реалізує узгоджений покроковий запуск та зупинку чотирьох насосних агрегатів.

4. Створений алгоритм здійснює безперервний моніторинг стану навколишнього середовища через зворотний зв'язок від датчиків вологості ґрунту та датчиків дощу. Забезпечено інтелектуальне блокування та автоматичне відключення насосів у зворотному порядку з витримкою часу 10 секунд при виявленні природних опадів, що упереджує надлишковий вилив води та оптимізує використання водних ресурсів.

5. Виконано проектування електричних схем силового живлення та автоматизації насосної станції. Реалізовані технічні рішення забезпечують плавне наростання швидкості обертання двигунів за допомогою ППП з їхнім подальшим переведенням на живлення безпосередньо від мережі, що суттєво зменшує пускові навантаження на локальну електричну мережу спортивного комплексу та захищає механічні вузли від ударних навантажень.

6. Розроблено комплекс заходів з охорони праці та цивільного захисту. Проведено детальний аналіз небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації насосних станцій, розраховано захисне заземлення з опором до 4 Ом, впроваджено пристрої захисту від імпульсних перенапруг (ПЗП) для ліній датчиків на відкритій місцевості, а також розроблено безпечний алгоритм аварійної зупинки та переведення електромагнітних клапанів у закритий стан у разі раптового зникнення напруги живлення.

Впровадження розробленої автоматизованої системи керування дозволяє знизити споживання електричної енергії насосним комплексом до 25–30%, скоротити витрати технологічної води, збільшити міжремонтний ресурс електромеханічного обладнання та забезпечити бездоганну якість трав'яного покриття спортивного об'єкта за будь-яких кліматичних умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Срібнюк С. М. Насоси і насосні установки. Розрахунки, застосування і випробування : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2012. 312 с.
2. Савченко П. І., Лавріненко Ю. М., Синявський О. Ю. Основи електроприводу : підручник. Київ : Ліра-К, 2024. 532 с.
3. Воскобойник В. Е., Бородай В. А., Боровик Р. О., Нестерова О. Ю. Основи електропривода виробничих машин та комплексів : навч. посіб. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2021. 254 с.
4. Бунь В. П., Баган Т. Г., Степанець О. В., Маріяш Ю. І. Автоматизація технологічних процесів: Автоматизація основних інженерних систем будівлі : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 142 с.
5. Маліновський А. А., Музичак А. З., Шкрабець Ф. П. Автоматизація технологічних процесів і систем керування в агропромисловому комплексі : підручник. Львів : Магнолія-2006, 2019. 340 с.
6. Черевко О. І., Кіницький О. Я. Моделювання та проектування автоматизованих систем керування технологічними процесами : навч. посіб. Житомир : ЖДТУ, 2017. 215 с.
7. Романова Т. С., Федоренко М. П. Системи автоматизованого керування насосними установками з частотним регулюванням швидкості. Технічна електродинаміка. 2020. № 4. С. 58–63.

8. Гандзюк М. П., Желібо Є. П., Халімовський М. О. Основи охорони праці : підручник / за ред. М. П. Гандзюка. 5-те вид. Київ : Каравела, 2018. 384 с.
9. Стеблюк М. І. Цивільний захист : підручник. 3-тє вид., стер. Київ : Знання, 2015. 487 с.
10. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Чинне офіційне вид. (зі змінами та доповненнями станом на 2017–2024 рр.). Київ : Міненерговугілля України, 2017. 760 с.
11. ДБН В.2.5-23:2025. Проектування електроустановок житлових будинків та громадських будівель і споруд. [Чинний від 2025-07-01]. Київ : Мінрегіон України, 2025. 122 с.
12. ДСТУ EN 61140:2019 (EN 61140:2016, IDT; IEC 61140:2016, IDT). Захист від ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 35 с.
13. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. 104 с.
14. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні : Затверджено Наказом МВС України від 30.12.2014 № 1417. Київ : Офіційний вісник України, 2015. № 26.
15. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : Затверджено Наказом Держнаглядохоронпраці від 09.01.1998 № 4. Київ : Основа, 1998. 320 с.
16. ДСТУ 8965:2019. Система управління пожежною безпекою об'єкта захисту. Загальні положення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 18 с.
17. Bolton W. Programmable Logic Controllers. 7th ed. Oxford : Newnes, 2021. 410 p.
18. Hughes A., Drury B. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications. 5th ed. Oxford : Elsevier, 2019. 442 p.

19. Каталог пристроїв плавного пуску SSW,
[http://www.eti.ua//images/userfiles/uk-
UA/documents/products/Catalogues/ETIDISS/SSW_Ustrojstva_plavnogo_puska/S
SW_2012.pdf](http://www.eti.ua//images/userfiles/uk-UA/documents/products/Catalogues/ETIDISS/SSW_Ustrojstva_plavnogo_puska/SW_2012.pdf).