

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальних апаратів

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
(тип кваліфікаційної роботи)

магістра

(освітній ступінь)

на тему «Розробка системи контролю та управління електричним опаленням»

XAI.302.366.22O.122. 9652021 ПЗ

Виконав: студент 6 курсу групи № 366
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

(код та найменування)

Освітня програма Комп'ютеризація
обробки інформації та управління

Ігнатюк Є.О.

(прізвище й ініціали студента)

Керівник: доц. каф. 302, к.т.н.

Лещенко Ю.О.

(прізвище й ініціали)

Рецензент: Гамаюн І.П.

(прізвище й ініціали)

Харків – 2022

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальних апаратів
 Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)
 Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
 (код та найменування)
 Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»
 Освітня програма Комп'ютеризація обробки інформації та управління

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Олег ФЕДОРОВИЧ

(підпис) (ім'я та прізвище)
 «01» листопада 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ігнатюку Євгену Олексійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Розробка системи контролю та управління електричним опаленням

керівник кваліфікаційної роботи Лещенко Ю.О., к.т.н., доц. каф. 302,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету № 1602-уч. від « 17 » листопада 20 22 року

2. Термін подання студентом кваліфікаційної роботи 15.12.2022

3. Вихідні дані до проекту (роботи) дані досліджень щодо енергоспоживання у країнах східної Європи, Node-RED

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати) аналіз особливостей контролю та управління системами електричного опалення будинків; аналіз чинників, що визначають кліматичні умови у приміщенні та сучасні способи управління опаленням та регулювання параметрів мікроклімату; огляд моделі теплового комфорту тіла людини; створення моделі прогнозування електроспоживання на базі нейронних мереж; розробка інтелектуальної системи управління електричним опаленням розумного будинку; здійснення програмної реалізації та проведення експериментальних досліджень

5. Перелік графічного матеріалу аналіз особливостей контролю та управління системами електричного опалення будинків; ціль та задачі дослідження; сучасні способи управління опаленням та регулювання температури у приміщенні; електричне опалення будинку; програмне забезпечення автоматизації; модель теплового комфорту тіла людини;

кореляційний аналіз електричного опалювального навантаження та факторів, що впливають; модель прогнозування нейронної мережі LSTM – Long Short-Term Memory; покращена модель прогнозування нейронної мережі LSTM; покращена модель прогнозування нейронної мережі LSTM; структура інтелектуальної системи управління електричним опаленням у будинку; параметри та режими керування; сервіс погоди Open Weather API; контролер обігрівача; контролер мікроклімату; програма формування графіків енергоспоживання обігрівачами за даними від розумних розеток; шаблон інтерфейсу основного екрану панелі Dashboard; головний екран панелі моніторингу та управління; встановлення бажаної температури у кімнаті; перегляд даних енергоспоживання, що отримано від розумних розеток

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
з основної частини	Лещенко Ю.О. доц. каф. 302		
з спеціального розділу	Лещенко Ю.О. доц. каф. 302		
з економіки та управління	Малєєва Ю. А. доц. каф. 302		

Нормоконтроль _____ Олександр ПРОХОРОВ «___» _____ 20__ р.
(підпис) (імя та прізвище)

7. Дата видачі завдання «_06_» _вересня_ 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПАЛЕННЯ БУДИНКІВ	06.09 – 20.09	
2	ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПАЛЮВАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТУ ЗА ДОПОМОГОЮ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	21.09 – 28.09	
3	РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ОПАЛЕННЯМ БУДИНКУ	29.09 – 20.10	
4	ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ОПАЛЕННЯМ БУДИНКУ	21.10 – 20.11	
6	Економічні розрахунки	20.11 – 25.11	

Студент

(підпис)

Євгеній ІГНАТЮК

(імя та прізвище)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Юлія ЛЕЩЕНКО

(імя та прізвище)

УДК 004.8

РЕФЕРАТ

Розробка системи контролю та управління електричним опаленням – Ігнатюк Євгеній, кваліфікаційна робота магістра, Харків, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», кількість сторінок, враховуючи додатки 96, кількість таблиць 10, кількість рисунків 15, кількість джерел літератури 20.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: електричне опалення, обігрівачі, енергоспоживання, прогнозування, нейронні мережі, моніторинг та управління.

ЦІЛЬ: створення програмного забезпечення для інтелектуальної системи керування електричним опаленням на основі Інтернету речей та машинного навчання для зменшення енергоспоживання та пікового навантаження електроенергії в розумних будівлях.

ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ: технологічні процеси підтримки мікроклімату у будинках.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ: методи, моделі та засоби прогнозування енергоспоживання та управління електричним опаленням для забезпечення комфортного мікроклімату.

ЗАДАЧІ: аналіз особливостей контролю та управління системами електричного опалення будинків; аналіз чинників, що визначають кліматичні умови у приміщенні та сучасні способи управління опаленням та регулювання параметрів мікроклімату; огляд моделі теплового комфорту тіла людини; створення моделі прогнозування електроспоживання на базі нейронних мереж; розробка інтелектуальної системи управління електричним опаленням розумного будинку; здійснення програмної реалізації та проведення експериментальних досліджень.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ: кореляційний аналіз, методи машинного навчання, методи прогнозування, технології Інтернету речей та домашньої автоматизації.

ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ: розроблено програмне забезпечення, що дозволяє вирішувати задачі моніторингу та інтелектуального управління системою електричного опалення будинків за допомогою технологій Інтернету речей та прогнозування енергоспоживання методами машинного навчання.

UDC 004.8

ABSTRACT

Development of the system to provide monitoring and control of electric heating – Yvgeniy Ignatyuk, Master Thesis, Kharkiv, National Aerospace University “KhAI”, amount of pages 96, amount of tables 10, amount of figures 15, amount of literature’s sources 20.

KEYWORDS: electric heating, heaters, energy consumption, forecasting, neural networks, monitoring and control.

PURPOSE OF RESEARCH: to create software for an intelligent electric heating control system based on the Internet of Things and machine learning to reduce energy consumption and peak electricity loads in smart buildings.

OBJECT OF RESEARCH: technological processes of microclimate supporting in houses.

SUBJECT OF RESEARCH: methods, models and means of forecasting energy consumption and control of electric heating to ensure a comfortable microclimate.

TASKS: analysis of features of control and management of electric heating systems of buildings; analysis of factors that determine the climatic conditions in the room and modern methods of heating management and regulation of microclimate parameters; overview of the thermal comfort model of the human body; creation of a model for forecasting electricity consumption based on neural networks; development of an intelligent control system for electric heating of a smart house; program implementation and experimental research.

METHODS OF RESEARCH: correlational analysis, machine learning methods, forecasting methods, Internet of Things and home automation technologies.

RESULTS: software was developed that allows you to solve the problems of monitoring and intelligent control of the electric heating system of buildings using Internet of Things technologies and forecasting energy consumption using machine learning methods.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПАЛЕННЯ БУДИНКІВ	10
1.1 Електричне опалювання, переваги та особливості прогнозування	10
1.2 Управління електричним опаленням в розумному будинку	12
1.3 Чинники, що визначають кліматичні умови у приміщенні	14
1.4 Сучасні способи управління опаленням та регулювання температури у приміщенні.....	17
1.4.1 Традиційні системи керування мікрокліматом.....	17
1.4.2 Автоматизовані системи керування мікрокліматом	19
1.4.3 Автоматичні системи керування мікрокліматом	20
1.5 Програмне забезпечення та сервіси домашньої автоматизації.....	23
1.6 Постановка задачі.....	26
Висновки за розділом.....	27
2 ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПАЛЮВАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТУ ЗА ДОПОМОГОЮ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	28
2.1 Модель теплового комфорту тіла людини	28
2.2 Аналіз факторів, що впливають на електричне теплове навантаження	30
2.2.1. Навантажувальні характеристики електроопалення.....	30
2.2.2 Кореляційний аналіз електричного опалювального навантаження та факторів, що впливають.....	31
2.3 Покращена модель прогнозування нейронної мережі LSTM.....	33
2.3.1 Мережа довготривалої короткочасної пам'яті	33
2.3.2 Покращений LSTM з механізмом уваги	36
2.4 Попередня обробка даних	39
2.5 Налаштування та аналіз параметрів	39
2.6 Результати тестування та аналіз	40
Висновки за розділом.....	43
3 РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ОПАЛЕННЯМ БУДИНКУ	44
3.1 Структура системи	44
3.1.1 Електричні радіатори.....	45
3.1.2 Wi-Fi розумні розетки.....	48
3.1.3 Мікрокомп'ютер Raspberry Pi.....	49
3.1.4 Модуль атмосферного тиску BMP280.....	52
3.1.5 Датчик температури та вологості HTU21D.....	53

3.2 Розробка програми у Node-RED.....	54
3.2.1 Сервіс погоди Open Weather API	54
3.2.2 Програма контролю та управління обігрівачами.....	56
3.2.3 Програма контролю мікроклімату приміщень	59
3.2.4 Програма контролю та прогнозування енергоспоживання.....	62
Висновки за розділом.....	67
4 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ОПАЛЕННЯМ БУДИНКУ.....	68
4.1 Головна панель моніторингу та управління	68
4.2 Моніторинг параметрів енергоспоживання.....	68
Висновки за розділом.....	75
5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	76
5.1 Мета розділу	76
5.2 Розрахунок собівартості та визначення тривалості створення програмного продукту (перший варіант)	76
5.3 Розрахунок собівартості та визначення тривалості створення програмного продукту (другий варіант).....	80
5.4 Висновки за розділом	83
ВИСНОВКИ.....	84
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	85
ДОДАТОК А. Графічні матеріали	87

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

Електричне опалення є чистим, ефективним і гнучким видом опалювального обладнання. З метою контролю над забрудненням міського повітря та покращення якості життя мешканців останніми роками різні країни запровадили політику «електрика замість вугілля» та «електрика замість нафти». З постійним підвищенням вимог мешканців до комфорту в приміщенні з кожним роком зростає масштаб електричного опалення взимку, і електричне опалення використовується все частіше. При цьому щоденне максимальне навантаження взимку також зростає. Типовими характеристиками електричного опалення є висока потужність, зосереджене навантаження, легке у створенні пікове навантаження та велика різниця між піками, і, отже, це має великий вплив на лінії розподілу. Тому точне прогнозування навантаження електроопалення має велике практичне значення.

У контексті розумних будівель цей проект має на меті дослідити ефективність використання дешевого обладнання для взаємодії з пристроями, пов'язаними з енергією (такими як електричні нагрівачі), і запровадження рішень високого рівня в системі на основі інтелектуальних алгоритмів прийняття рішень. Зв'язок між датчиками, алгоритмом і приводами базуватиметься на комерційно доступних пристроях Інтернету речей і службах прикладного програмного інтерфейсу API, тоді як алгоритм прийняття рішень базуватиметься на нейронних мережах формуючі модель прогнозованого керування. Ми сформуємо рішення на базі мікрокомп'ютеру Raspberry Pi, в якості контролеру нашої інтелектуальної системи. Реалізацію базових задач контролю та управління здійснюємо за допомогою середовища Node-RED. Крім того, у цьому дослідженні пропонується метод прогнозування електричного опалювального навантаження на основі вдосконаленої моделі теплового комфорту людини та вдосконаленої нейронної мережі LSTM.

Мета дослідження – створення програмного забезпечення для інтелектуальної системи керування електричним опаленням на основі Інтернету речей та машинного навчання для зменшення енергоспоживання та пікового навантаження електроенергії в розумних будівлях.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні **завдання**:

1. Аналіз особливостей контролю та управління системами електричного опалення будинків.
2. Аналіз чинників, що визначають кліматичні умови у приміщенні та сучасні способи управління опаленням та регулювання параметрів мікроклімату.

3. Огляд моделі теплового комфорту тіла людини.
4. Створення моделі прогнозування електроспоживання на базі нейронних мереж.
5. Розробка інтелектуальної системи управління електричним опаленням розумного будинку.
6. Здійснення програмної реалізації та проведення експериментальних досліджень.

Об’єкт дослідження – технологічні процеси підтримки мікроклімату у будинках.

Предмет дослідження – методи, моделі та засоби прогнозування енергоспоживання та управління електричним опаленням для забезпечення комфортного мікроклімату.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено програмне забезпечення, що дозволяє вирішувати задачі моніторингу та інтелектуального управління системою електричного опалення будинків за допомогою технологій Інтернету речей та прогнозування енергоспоживання методами машинного навчання.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, 5 розділів, висновків, додатків та переліку посилань. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 96 сторінок, в тому числі: 15 рисунків; 7 таблиць; 1 додаток на 12 сторінках; перелік посилань з 20 найменувань на 2 сторінках.