

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-78-6>

УДК 621.311

ВАЩИШАК Ірина

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

<https://orcid.org/0000-0002-9078-6726>

e-mail: iryna.vashchyshak@nung.edu.ua

ВАЩИШАК Сергій

ЗВО Університет Короля Данила

<https://orcid.org/0000-0002-1753-1540>

e-mail: serhii.vaschyshak@ukd.edu.ua

МІКРОКОНТРОЛЕРНЕ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ КОМП'ЮТЕРНОГО КЛАСУ

В роботі наведено результати проектування мікроконтролерної системи для управління енергоспоживанням електронного обладнання комп'ютерного класу. Вказано, що через об'єктивні обставини (ріст цін на електроенергію, військові дії) питання енергозбереження для навчальних закладів України є одними з найважливіших. Однак, рівень економії електроенергії в навчальних закладах є низьким через те, що значна їх кількість не обладнана системами автоматизованого управління енергоспоживанням та системами енергетичного моніторингу. Для ефективного керування енергоспоживанням як окремого класу, так і навчального закладу в цілому, доцільним є розроблення мікроконтролерної системи управління, яка має змогу проводити енергетичний моніторинг, керувати мікрокліматом, працювати у складі сенсорної мережі. Інформація з сенсорної мережі використовуватиметься для системи енергоменеджменту навчального закладу. Систему управління споживанням комп'ютерного класу рекомендується створити на не дорогому швидкодіючому мікроконтролері EK-TM4C123G фірми Texas Instruments. Велика кількість входів/виходів мікроконтролера, його висока розрядність та швидкодія забезпечать роботу значної кількості давачів, та дадуть змогу ефективно працювати в системі моніторингу енергоспоживання закладу освіти. Як давачі системи управління вибрано дешеві сенсори зі стандартними сигналами, які розроблені для платформи ARDUINO. Для ефективного керування енергоспоживанням розроблені алгоритми, що враховують режим експлуатації комп'ютерного класу. Протягом двох тижнів проводились експериментальні дослідження розробленої системи управління, в результаті чого було зекономлено 30,2% електричної потужності та отримано позитивні відгуки про якісний мікроклімат у приміщенні комп'ютерного класу. Оптимальна конфігурація системи та висока обчислювальна потужність мікроконтролера дозволяють в майбутньому створити нейронну мережу інтелектуального управління енергоспоживанням навчального закладу та підняти на новий рівень систему його енергоменеджменту.

Ключові слова: мікроконтролер, енергетичний менеджмент, енергоспоживання, система управління, алгоритм.

VASHCHYSHAK Iryna

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

VASHCHYSHAK Serhii

HEI King Danylo University

MICROCONTROLLER MANAGEMENT OF ENERGY CONSUMPTION IN COMPUTER CLASS

The paper presents the results of designing a microcontroller system for controlling the energy consumption of electronic equipment in a computer classroom. It is indicated that due to objective circumstances (rising electricity prices, military operations), energy saving issues are among the most important for educational institutions in Ukraine. However, the level of energy savings in educational institutions is low due to the fact that a significant number of them are not equipped with automated energy management systems and energy monitoring systems. To effectively manage the energy consumption of both a single classroom and an educational institution as a whole, it is advisable to develop a microcontroller control system that can conduct energy monitoring, control the microclimate, and operate as part of a sensor network. The information from the sensor network will be used for the energy management system of the educational institution. It is recommended to create a computer classroom consumption management system on an inexpensive high-speed microcontroller EK-TM4C123G from Texas Instruments. The large number of inputs/outputs of the microcontroller, its high bit depth and speed will ensure the operation of a significant number of sensors and allow it to work effectively in the system of monitoring the energy consumption of an educational institution. The sensors of the control system are cheap sensors with standard signals developed for the ARDUINO platform. Algorithms have been developed for efficient energy management that take into account the operating mode of the computer classroom. Experimental studies of the developed control system were carried out for two weeks, which resulted in a 30.2% saving in electrical power and positive feedback on the quality of the microclimate in the computer room. The optimal configuration of the system and the high computing power of the microcontroller allow us to create a neural network for intelligent control of energy consumption in the educational institution and raise its energy management system to a new level in the future.

Keywords: microcontroller, energy management, energy consumption, control system, algorithm.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЗВ'ЯЗОК ЇЇ ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

В даний час, коли спостерігається постійний ріст цін на електроенергію, спричинений повномасштабним вторгненням російських військ на українську територію та регулярними обстрілами

об'єктів енергетики, питання економії електроенергії стають ключовими для навчальних закладів. Одними з найбільших споживачів електроенергії у школах та університетах є комп'ютерні класи, обладнані мультимедійною технікою. Однак, у більшості з них, або відсутні системи автоматизованого керування енергоспоживанням, або ж застосовуються елементарні давачі освітлення чи споживаної потужності. Це призводить до значних перевитрат електроенергії при неповністю заповнених класах, або нераціональному розміщенні користувачів. Додаткові втрати електроенергії у комп'ютерних класах відбуваються тоді, коли за сигналом тривоги здобувачі освіти та викладачі швидко покидають клас, прямуючи у бомбосховище, та не встигають вимкнути обладнання. Наведені проблеми можна вирішити шляхом розробки та впровадження систем автоматизованого управління енергоспоживанням з постійним його моніторингом на основі сучасних мікроконтролерів, сенсорів та систем зв'язку. Це дасть змогу контролювати рівень енергоспоживання та оптимізувати його в залежності від навантаження комп'ютерного класу, заповнення його студентами, часу пасивної роботи техніки тощо. Важливою властивістю таких систем повинна бути можливість роботи з алгоритмами штучних нейронних мереж.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На великих підприємствах функціонують системи енергетичного менеджменту, основним завданням яких є забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів. Впровадження систем енергоменеджменту на промислових підприємствах підвищує рівень контролю використання енергії та зменшує її питомі витрати в технологічних процесах [1]. Впровадження систем енергоменеджменту в навчальних закладах також має свої переваги, оскільки, крім економії енергоресурсів, дозволяє залучати учнів та студентів до процесів енергозбереження, виховує у них культуру економного енергоспоживання та відповідальність за екологічний стан довкілля [2].

Для зменшення споживання активної електричної потужності в даний час використовується технологія CVR (Conservation Voltage Reduction). Це нова технологія енергозбереження, суть якої полягає у зменшенні потреби в електроенергії та споживанні енергії шляхом зниження мережевої напруги в допустимих межах. На підприємствах з розподілу електроенергії застосування технології CVR дає значну економію. Наприклад, зменшення мережевої напруги на 2,5% призводить до зниження енергоспоживання потужного промислового обладнання, в середньому, на 2%, а зменшення мережевої напруги на 1,5% при LED освітленні знижує енергоспоживання на 2,1% [3]. Однак, застосування цієї технології є найбільш ефективним при пікових навантаженнях. Як показали дослідження [3] комп'ютери та ноутбуки суттєво збільшують споживання активної потужності при зниженні мережевої напруги живлення (в середньому на 0,45% на кожен вольт), що робить недоцільним її застосування для економії електроенергії у комп'ютерних класах.

В навчальних закладах застосовуються окремі системи управління енергоспоживанням, вентиляцією, освітленням, опаленням, або їх поєднання [4]. Основними недоліками таких систем є складність встановлення та обслуговування, висока вартість, обмежений функціонал зі створення інтелектуальних мереж.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою роботи є: розроблення ефективної системи управління енергоспоживанням обладнання комп'ютерного класу та його мікрокліматом на основі потужного мікроконтролера, яка б мала змогу проводити моніторинг, працювати у складі сенсорної мережі, та, у перспективі, бути елементом штучної нейронної мережі інтелектуального управління енергоспоживанням навчального закладу.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Система управління споживанням комп'ютерного класу повинна бути реалізована на швидкодіючому мікроконтролері з великою кількістю входів/виходів, який забезпечить роботу значної кількості давачів, та матиме можливість роботи в системі моніторингу енергоспоживання закладу освіти. Бюджетними варіантами мікроконтролерів для системи управління є ARDUINO MEGA 2560 [5] та EK-TM4C123G [6]. Порівняльна характеристика мікроконтролерів наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика мікроконтролерів ARDUINO MEGA 2560 та EK-TM4C123G

Параметр	ARDUINO MEGA 2560	EK-TM4C123G
Напруга живлення, В	7 - 12 В	5 В
Тактова частота, МГц	16	80
Аналогові входи	16	7
Цифрові входи/виходи	54	26
Флеш-пам'ять, Кб	256	256
Оперативна пам'ять, Кб	8	32
Енергонезалежна пам'ять, Кб	4	2

Як видно з таблиці 1, кращим варіантом за кількістю входів/виходів є ARDUINO MEGA 2560, але за швидкодією, об'ємом оперативної пам'яті і потужністю обчислень (32 бітна платформа) кращим є мікроконтролер EK-TM4C123G фірми Texas Instruments на основі процесора ARM Cortex-M4F. Цей мікроконтролер може не тільки дуже швидко проводити точні обрахунки та реагувати на події, але й працювати з алгоритмами штучних нейронних мереж. Розроблене фірмою Texas Instruments програмне забезпечення TivaWare SDK [6] безкоштовно надає драйвери для всіх периферійних пристроїв і приклади коду для різноманітних програм мікроконтролера EK-TM4C123G.

Для реалізації системи управління мікроконтролер повинен використовувати певну групу датчиків (сенсорів). Через значне розмаїття програмних компонентів та існуючої елементної бази, критичним є визначення вимог до сенсорної мережі в цілому та сенсорних вузлів зокрема. При розробленні сенсорного вузла нами враховувались такі вимоги та фактори [7]:

- надійність та стійкість до збоїв;
- здатність до масштабування та уніфікація;
- собівартість;
- апаратні обмеження;
- умови роботи;
- середовище передачі даних;
- рівень споживання енергії.

Враховуючи необхідність уніфікації сенсорного обладнання та його низької собівартості ми зупинились на датчиках зі стандартними вихідними сигналами, розробленими, в основному, для платформи ARDUINO. Для оптимального підбору датчиків було визначено параметри системи управління енергоспоживанням, ними є:

- електрична потужність споживання обладнання,
- освітленість приміщення,
- температура та вологість повітря в приміщенні,
- наявність людей та їх рух у межах приміщення.

Для реалізації системи управління енергоспоживанням було вибрано комп'ютерний клас вищого навчального закладу площею 83 м² з двома кімнатами, що мають окремі входи, але з'єднані між собою всередині (рис. 1), план якого наведено на рис. 2, а. Комп'ютерний клас має електронне обладнання для забезпечення навчального процесу, потужності споживання якого наведені в таблиці 2.

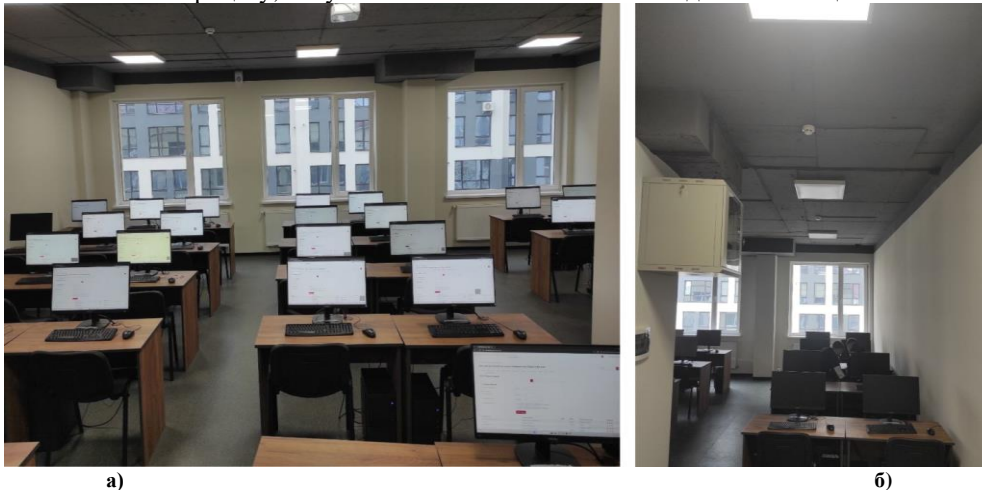


Рис. 1. Кімнати комп'ютерного класу з обладнанням: а) – більша кімната; б) – менша кімната

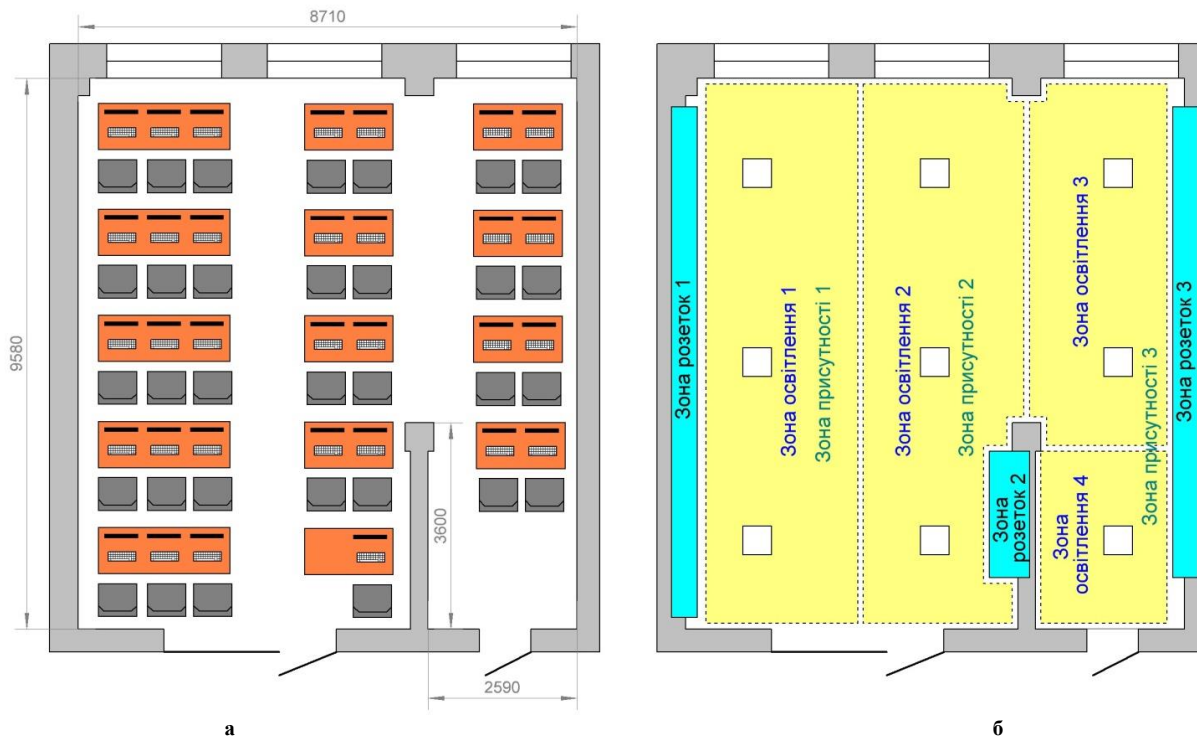


Рис. 2. План комп'ютерного класу, де встановлено систему управління енергоспоживанням: а) – розміри класу та план посадочних місць; б) – зони освітлення, присутності та живлення

Таблиця 2

Потужності споживання обладнання комп'ютерного класу

Обладнання	Кількість, шт.	Потужність споживання, Вт	Сумарна потужність, Вт
ПК+монітори	32	700	22400
Проектор	1	300	300
Свічі	2	30	60
Світильники	9	50	450
Вентиляція	2	154	308
Загальна потужність споживання, Вт			23368

Для коректної роботи системи управління енергоспоживанням площа комп'ютерного класу була розбита на зони освітлення, присутності та живлення (рис. 2, б). Кімнати класу обладнані 9 світильниками (6 у більшій та 3 у меншій), які розділені на 4 зони освітлення - по 2 у кожній кімнаті). Зона освітлення 4 є найменшою, бо використовується додатково для освітлення місця обслуговування мережевих свічів. Також у класі є 3 зони присутності людей, 2 з яких співпадають з зонами освітлення 1 та 2, а третя покриває зони освітлення 3 та 4. Розетки живлення також поділені на 3 зони, перші 2 з яких відповідають за живлення обладнання у більшій кімнаті, а третя – у меншій.

Функціональна схема системи управління енергоспоживанням комп'ютерного класу наведена на рис. 3. Живлення обладнання комп'ютерного класу здійснюється від однофазної мережі з напругою 220 В. Для контролю сумарної потужності споживання у системі використовуються датчик напруги ZMPT101B та струму WCS1700 [8], дані з яких перемножуються, а отримані значення потужності порівнюються з максимально допустимим значенням 24000 Вт. Цей процес відбувається постійно з метою проведення моніторингу і запобігання перевантаження мережі та аварійним ситуаціям. У кожній кімнаті класу встановлено датчик температури та вологості DHT22, які пов'язані з витяжними вентиляторами. В кожній з чотирьох зон освітленості встановлено по датчику з фоторезистором та по датчику руху HC-SR501 [8]. У кожній з трьох зон присутності встановлено по датчику HLK-LD-2410 [8]. Для безпроводної передачі даних з мікроконтролера на станцію моніторингу служить модем ESP-8266, а переглянути результати вимірювань потужності безпосередньо в класі можна на LCD – дисплеї 1602. Керування живленням обладнання комп'ютерного класу здійснюється 10 канальним модулем реле за сигналами з мікроконтролера (рис. 3). Сам мікроконтролер і датчик живляться від мережевого імпульсного блока живлення 5В, 2А. Також в системі передбачено акумуляторне живлення (на схемі рис.3 не показане), яке дає змогу зберегти дані при раптовому вимкненні електроенергії.

Схема системи управління енергоспоживанням працює за кількома алгоритмами, які покликає вимикати обладнання чи освітлення у тих зонах комп'ютерного класу, де немає людей. Один з таких

алгоритмів наведено на рис. 4. В цьому алгоритмі входними величинами, що надходять на мікроконтролер, є температура та вологість повітря, рівень освітленості та потужність споживання обладнання. Системи вентиляції, освітлення та живлення вмикаються по мірі заповнення зон комп'ютерного класу людьми. При цьому контроль потужності споживання здійснюється постійно як окрема процедура. Для спрощення на рис. 4 не показано алгоритм роботи системи регулювання освітленням.

У функції мікроконтролера системи управління входить постійний моніторинг енергоспоживання обладнання в класі для встановлення рівня споживання та можливості економії електроенергії. З цією метою протягом двох тижнів проводився експеримент, при якому 5 днів на тиждень (з понеділка по п'ятницю) комп'ютерний клас повністю заповнювався студентами (32 людини) протягом навчальних годин (з 8.30 до 18.30), а з 18.30 до 20.30 в ньому працювало по 6 людей. По суботах в класі працювала різна кількість людей (від 10 до 15) в робочий час з 8.30 до 16.30 та по 4 людей з 16.30 до 18.30. У вечірній час студенти розміщувались в зоні освітлення 3 у меншій кімнаті, а по суботах – в зоні освітлення 1 (рис. 2, б).

Перший тиждень мікроконтролер системи управління проводив тільки моніторинг енергоспоживання без втручання в роботу обладнання. Другий тиждень система управління керувала електрообладнанням класу у відповідності з розробленими алгоритмами. Результати експериментальних досліджень наведено в таблиці 3.

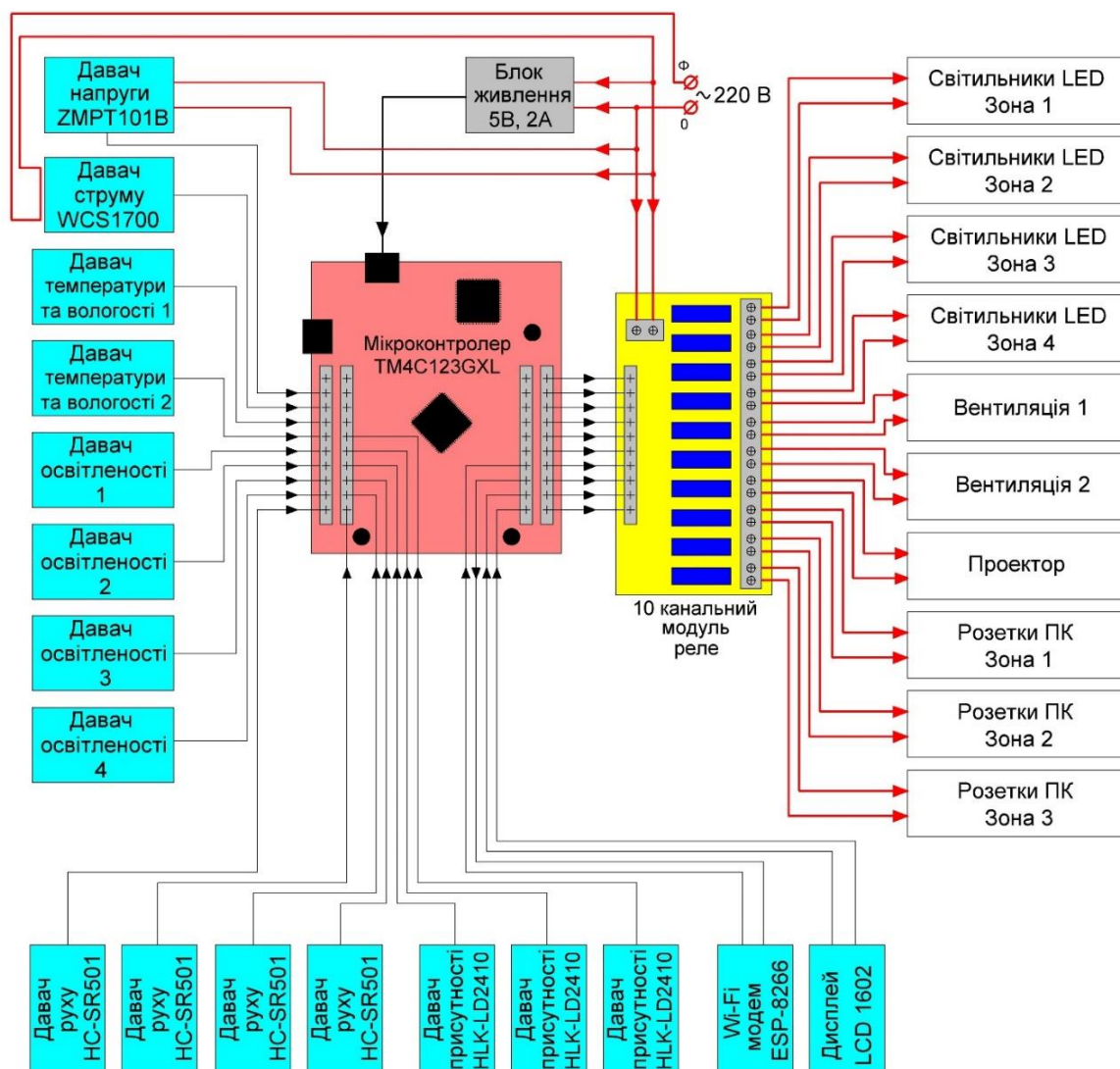


Рис. 3. Функціональна схема системи управління енергоспоживанням

У нічний та неробочий час різниця у потужностях споживання не розраховувалась (в таблиці стоїть 0 Вт), оскільки тоді працювали тільки мережеві свічі, роутер та система управління в черговому режимі, які споживали мінімальні потужності на рівні 100 ват.

У вечірній час, при кількостях студентів в класі 4 – 6 осіб, різниця у споживанні була як додатна так і від’ємна, що пояснюється неможливістю контролю за використанням того чи іншого обладнання, частими переміщеннями студентів, вмиканням додаткового обладнання, в тому числі електричних обігрівачів тощо.

Адекватні висновки про ефективність роботи системи управління енергоспоживанням можна зробити з основного часу роботи комп’ютерного класу. Як видно з таблиці 3, з 08.30 до 18.30 з понеділка по п’ятницю та з 08.30 до 16.30 в суботу, при роботі системи спостерігалася значна економія електроенергії (від 24,7% до 35,6%). Усереднивши експериментальні дані можна сказати, що за тиждень роботи в комп’ютерному класі система управління енергоспоживанням зекономила 30,2% електроенергії, або, в середньому, близько 2,7 кВт щогодини. Крім того, за відгуками студентів, застосування системи протягом всього часу роботи класу створювало в ньому мікроклімат з оптимальними значеннями температури та вологості, що сприяло підвищенню працездатності. Враховуючи ціни на електроенергію, система управління окупить себе приблизно за рік роботи, що говорить про доцільність її впровадження.

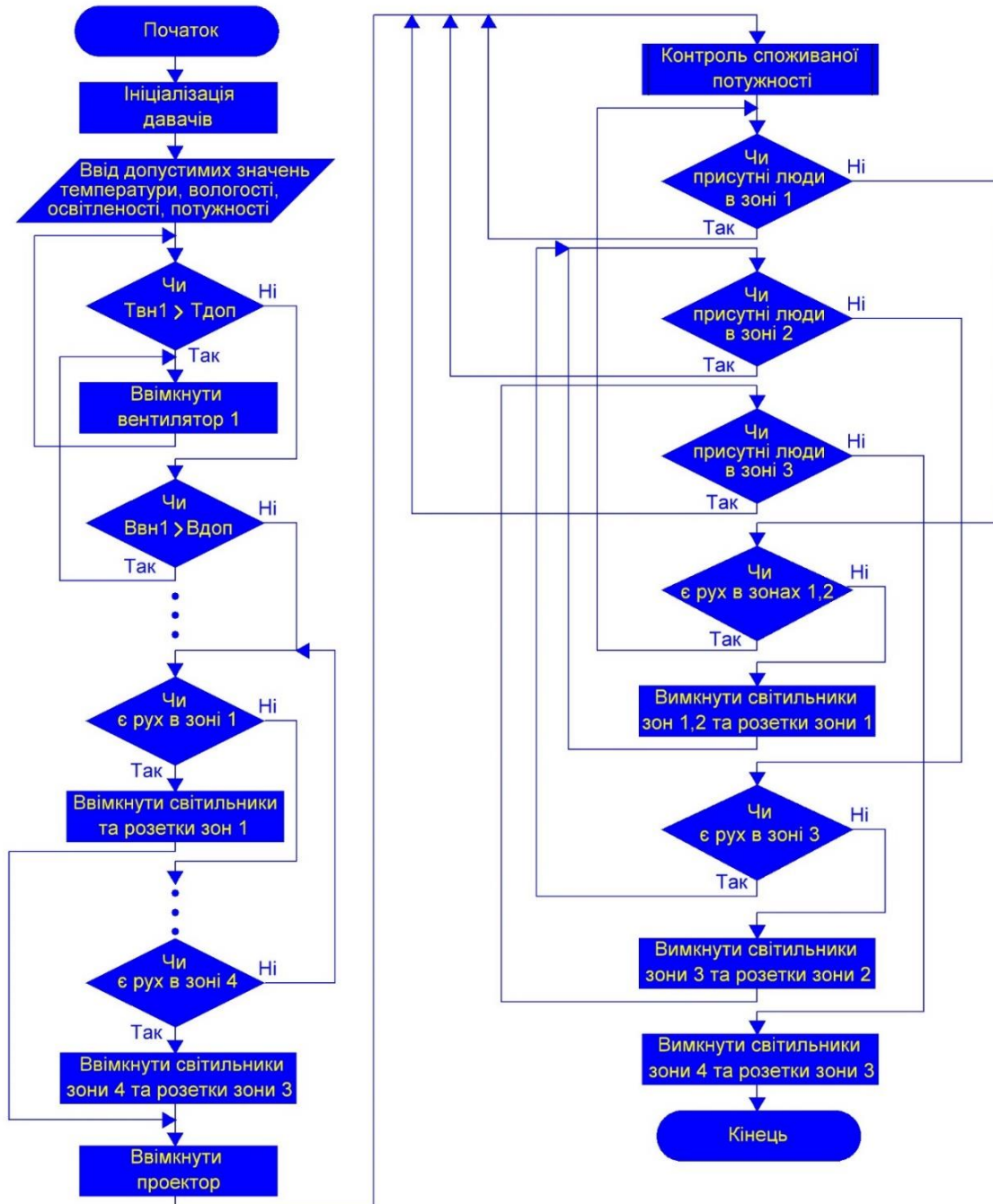


Рис. 4. Алгоритм роботи системи для енергозбереження при контролі присутності людей

**ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ**

Проведені дослідження показали високу ефективність роботи мікроконтролерної системи як при управлінні енергоспоживанням комп'ютерного класу, так і при організації мікроклімату в ньому. Високі розрядність та швидкодія вибраного мікроконтролера ЕК-ТМ4С123G дають змогу застосовувати його не тільки як окремий сенсорний вузол комп'ютерного класу з властивостями моніторингу енергоспоживання, але і як елемент сенсорної мережі, інформація з якої використовуватиметься для системи енергоменеджменту навчального закладу.

Отримані дані моніторингу енергоспоживання за певний період можуть служити для навчання нейронної мережі з метою інтелектуального управління енерговитратами у всіх приміщеннях навчального закладу. Алгоритми нейронної мережі можуть опрацьовуватись мікроконтролерами систем управління енергоспоживанням, що спростить та здешевить її. Для реалізації нейронної мережі на вибраному мікроконтролері потрібно провести оптимізацію алгоритмів та структур даних, щоб забезпечити швидку та ефективну роботу в умовах технічних обмежень контролера.

Таблиця 3

Потужність споживання обладнання комп'ютерного класу при проведенні експерименту

До-ба	Час вимірювань	Кількість лю-дей в класі	Спожита потужн. без сист. упр., Вт*год.	Спожита потужн. з сист.упр., Вт*год.	Різниця у %	До-ба	Час вимірювань	Кількість лю-дей в класі	Спожита потужн. без сист. упр., Вт*год.	Спожита потужн. з сист.упр., Вт*год.	Різниця у %
1	00.31-	0	80	100	0	4	00.31-	0	100	90	0
	02.31-	0	110	100	0		02.31-	0	80	110	0
	04.31-	0	90	120	0		04.31-	0	110	120	0
	06.31-	0	100	90	0		06.31-	0	90	100	0
	08.31-	32	18210	12740	30,0		08.31-	32	17970	12740	29,1
	10.31-	32	17740	13180	25,7		10.31-	32	18650	13270	28,8
	12.31-	32	19160	12990	32,2		12.31-	32	17250	12480	27,7
	14.31-	32	18360	13420	26,9		14.31-	32	18120	12040	33,6
	16.31-	32	17890	12460	30,4		16.31-	32	18320	11790	35,6
	18.31-	6	4015	3050	24,0		18.31-	6	3780	3923	-3,8
	20.31-	0	90	110	0,0		20.31-	0	0,01	80	0
22.31-	0	120	100	0,0	22.31-	0	0,009	100	0		
2	00.31-	0	100	90	0,0	5	00.31-	0	80	110	0
	02.31-	0	90	110	0,0		02.31-	0	100	90	0
	04.31-	0	120	100	0,0		04.31-	0	110	100	0
	06.31-	0	100	90	0,0		06.31-	0	90	120	0
	08.31-	32	17580	12650	28,0		08.31-	32	19430	12910	33,6
	10.31-	32	18190	11840	34,9		10.31-	32	18130	13130	27,6
	12.31-	32	17940	13020	27,4		12.31-	32	18470	12570	31,9
	14.31-	32	17420	12670	27,3		14.31-	32	17990	12990	27,8
	16.31-	32	18330	12930	29,5		16.31-	32	19120	13460	29,6
	18.31-	6	3850	4215	-9,5		18.31-	6	4025	3405	15,4
	20.31-	0	90	100	0,0		20.31-	0	100	100	0
22.31-	0	120	110	0,0	22.31-	0	90	110	0		
3	00.31-	0	110	80	0,0	6	00.31-	0	80	100	0
	02.31-	0	100	110	0,0		02.31-	0	100	110	0
	04.31-	0	100	90	0,0		04.31-	0	100	80	0
	06.31-	0	110	80	0,0		06.31-	0	80	120	0
	08.31-	32	18530	12680	31,6		08.31-	10	17820	12040	32,4
	10.31-	32	17990	12050	33,0		10.31-	14	17040	11790	30,8
	12.31-	32	17310	12510	27,7		12.31-	15	17290	13020	24,7
	14.31-	32	17650	11830	33,0		14.31-	11	18210	12950	28,9
	16.31-	32	17840	11490	35,6		16.31-	4	2950	3230	-9,5
	18.31-	6	3610	4160	-15,2		18.31-	0	70	120	0
	20.31-	0	100	130	0,0		20.31-	0	90	100	0
22.31-	0	110	90	0,0	22.31-	0	100	110	0		

Література

1. Системи енергоменеджменту та їх математичне забезпечення: навч. посібник / Г.Г. Півняк, С.У. Випанасенко, О.І. Хованська та ін. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 214 с.
2. На Урок. Освітній проєкт. Проєкт енергозбереження в межах школи. [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу : <https://naurok.com.ua/proekt-energozberezhennya-v-mezhah-shkoli-127258.html> (дата звернення: 03.03.2024 р.).
3. Vector-vs. Новий метод зменшення споживання електричної енергії, економія до 10%. [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу : https://engineering.vector-vs.com/kalkulyator-terminu-okupnosti?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIoImj5LS4hQMVVJmDBx2AJwpUEAAYASAAEgLXrFD_BwE (дата звернення: 08.04.2024 р.).
4. Грищенко І.М. Управління енергоспоживанням у вищих навчальних закладах: монографія / Грищенко І.М., Каплун В.В., Дяченко М.В. та ін.; за ред. І.М. Грищенка – К: КНУТД, 2013. – 245 с.
5. DiyLab – електронні модулі та компоненти. [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу : <https://diylab.com.ua/p107671870-arduino-mega-2560.html> (дата звернення: 12.02.2024 р.).
6. Texas Instruments. EK-TM4C123GXL. [Електронний ресурс] : [веб-сайт]. – Режим доступу : <https://www.ti.com/tool/EK-TM4C123GXL#description> (дата звернення: 12.02.2024 р.).
7. Akyildiz, I. F. A survey on sensor networks / I. F. Akyildiz, Su Weilian, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci // IEEE Communications Magazine. – 2002. – Т. 40, №8. – Р. 102–114.
8. Офіційний сайт проєкту Arduino. [Електронний ресурс: веб-сайт]. – Режим доступу : <https://www.arduino.cc> (дата звернення: 20.02.2024 р.).

References

1. Systemy enerhomenedzhmentu ta yikh matematychnе zabezpechennia: navch. posibnyk / H.H. Pivniak, S.U. Vypanasenko, O.I. Khovanska ta in. – D.: Natsionalnyi hirnychiy universytet, 2013. – 214 s.
2. Na Urok. Osvitnii proekt. Proekt enerhozberezhennia v mezhakh shkoly. [Elektronnyi resurs] : [veb-sait]. – Rezhym dostupu : <https://naurok.com.ua/proekt-energozberezhennya-v-mezhah-shkoli-127258.html> (data zvernennia: 03.03.2024 r.).
3. Vector-vs. Novyi metod zmeshennia spozhyvannia elektrychnoi enerhii, ekonomiiia do 10%. [Elektronnyi resurs] : [veb-sait]. – Rezhym dostupu : https://engineering.vector-vs.com/kalkulyator-terminu-okupnosti?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIoImj5LS4hQMVVJmDBx2AJwpUEAAYASAAEgLXrFD_BwE (data zvernennia: 08.04.2024 r.).
4. Hryshchenko I.M. Upravlinnia enerhospozhyvanniam u vyshchykh navchalnykh zakladakh: monohrafiia / Hryshchenko I.M., Kaplun V.V., Diachenko M.V. ta in.; za red. I.M. Hryshchenka – K: KNUTD, 2013. – 245 s.
5. DiyLab – elektronni moduli ta komponenty. [Elektronnyi resurs] : [veb-sait]. – Rezhym dostupu : <https://diylab.com.ua/p107671870-arduino-mega-2560.html> (data zvernennia: 12.02.2024 r.).
6. Texas Instruments. EK-TM4C123GXL. [Elektronnyi resurs] : [veb-sait]. – Rezhym dostupu : <https://www.ti.com/tool/EK-TM4C123GXL#description> (data zvernennia: 12.02.2024 r.).
7. Akyildiz, I. F. A survey on sensor networks / I. F. Akyildiz, Su Weilian, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci // IEEE Communications Magazine. – 2002. – Т. 40, №8. – Р. 102–114.
8. Ofitsiyni sait proektu Arduino. [Elektronnyi resurs: veb-sait]. – Rezhym dostupu : <https://www.arduino.cc> (data zvernennia: 20.02.2024 r.).