

А. О. ОСІПОВА, студентка, В.Ю. ХАРЛАМЕНКО, канд. техн. наук, старший викладач  
Криворізький національний університет

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА АВТОМАТИЗАЦІЯ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ІоТ

**Мета.** Метою даної роботи є розробка автоматизованої системи та диспетчеризації багатоквартирних будівель на базі мікроконтролерів Raspberry Pi та сенсорних панелей для візуалізації процесів оператора Magelis XBT GT виробництва фірми Schneider Electric, яка б контролювала та розподіляла використання енергії між та нетрадиційними джерелами.

**Методи дослідження.** Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду, систематизація існуючих підходів і методів до розробки енергоефективних автоматизованих систем для обґрунтування актуальності, мети і завдань дослідження; методи математичної статистики; методи динамічного програмування для визначення оптимального розподілу традиційних та нетрадиційних енергоресурсів.

**Наукова новизна.** Проведена наукова оцінка доцільності впровадження даної системи, вирішена задача динамічного програмування за принципом оптимальності Белмана задля раціонального розподілення енергії між нетрадиційними та традиційними джерелами та отримання найбільшої економії.

**Практична значимість.** У статті запропонована система контролю використаної енергії, яка мінімізує використання енергії від традиційних джерел, замінюючи її енергією від нетрадиційних, з використанням сонячних панелей, колекторів, вітрових генераторів тощо. Завдяки цьому жителям така система дозволить значно зменшити витрати на комунальні послуги, а державі – скоротити виплати субсидій населенню, що значно підвищить економічний рівень України в цілому. Завдяки датчикам віддаленого управління, що також є частиною системи, підвищиться рівень безпеки та захищеності жильців будинку, їх благополуччя в цілому. Завдяки сенсорним панелям можливо візуалізувати процес управління використанням енергії та проводити необхідні операції з отриманими даними.

**Результати.** Результатом роботи є запропонована концепція автоматизованої системи диспетчеризації та контролю споживаної енергії з використанням не тільки традиційних джерел, а й нетрадиційних, створена на базі логічних мікроконтролерів віддаленого управління з використанням технології ІоТ.

**Ключові слова:** енергоефективність, інтернет речей, мікроконтролери, нетрадиційні джерела енергії, автоматизація, оптимізація.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Останніми роками однією із актуальних задач для економіки нашої країни є підвищення енергоефективності при експлуатації житлових приміщень. Враховуючи стан економічного розвитку України та темпи зростання вартості традиційних енергоресурсів, можна зробити висновок, що цього можна досягти за рахунок впровадження в систему комунікацій нетрадиційних джерел енергії та систем керування ними на базі логічних контролерів, використовуючи новітню інформаційну технологію - Інтернет речей. При цьому розподіл ресурсів для максимізації економії доцільно реалізувати шляхом вирішення задачі оптимізації. На сьогоднішній день середньостатистична українська сім'я, що проживає у багатоквартирному будинку, оплачує наступні комунальні послуги за встановленими тарифами (станом на березень 2017 р.) [1]:

централізоване опалення ( для мешканців з квартирними приладами обліку теплової енергії) - 1411,77 грн/Гкал, для мешканців без квартирних та загальних пристроїв обліку - 42,69 грн/кв.м); водопостачання (за 1 м<sup>3</sup> централізованого водопостачання - 5,5 грн, за 1 м<sup>3</sup> централізованого водовідведення - 6,05 грн); електроенергія (за обсяг, спожитий до 100 кВт/год електроенергії на місяць (включно) - 71,4 коп., за обсяг, спожитий понад 100 кВт/год до 600 кВт/год електроенергії на місяць - 129 коп., за обсяг, спожитий понад 600 кВт/год електроенергії - 163,8 коп.); газозабезпечення (за 1 м<sup>3</sup> - 6,879 грн.).

**Аналіз досліджень і публікацій.** Проблеми енергоефективної автоматизації багатоквартирних будівель були досліджені такими ученими як Крякліна І.В., Шешунова О.В., Грек І.Л. Розробкою та розрахунком автоматизованої системи постачання будинку на основі відновлюваних джерел енергії, яка на основі датчиків контролю заряду здійснює моніторинг та переключення між запропонованою та системою зовнішнього постачання, займались О.І. Бондар та його наукова школа. О.В. Старкова, К.В. Герасименко і П.В. Попович займались питанням реалізації системи віддаленого керування електроживленням на базі платформи ІоТ. Концепцію автоматизованої системи аудиту та моніторингу енергоефективності будівель з використанням Web-технологій та програмного забезпечення запропонували науковці А.І. Вовк та Д.А. Гір-

ник. Розробкою платформи для аналізу та моніторингу використаної енергії у реальному часі займались М. Victoria Moreno, Benito Úbeda, Antonio F. Skarmeta and Miguel A. Zamora.

**Постановка завдання.** Забезпечення енергоефективності та економія коштів на комунальних послугах може бути досягнута як традиційними, нетрадиційними засобами, так і з використанням сучасних інформаційних технологій.

До основних нетрадиційних засобів відносяться:

геліоустановки для нагрівання води; сонячні колектори та батареї для перетворення енергії сонця у електричну енергію; вітрогенератори для перетворення енергії вітру у електричну енергію.

Для забезпечення безпеки, нагляду за багатоквартирною будівлею, контролю споживання та обліку ресурсів, підтримання належного технічного стану конструкцій та приладів обліку і надання вчасного необхідного обслуговування необхідно запропонувати сучасний підхід до енергоефективної автоматизації багатоквартирних будівель, який містив би в собі нагляд та організацію за процесами різних підсистем у реальному часі, можливість вчасного виявлення та запобігання аварійних ситуацій у жилому комплексі.

**Викладення матеріалу та результати.** За планом нового енергоефективного будинку необхідно забезпечити будівлю перетворювачами природної енергії: сонячними панелями, колекторами та вітрогенераторами (рис. 1).



**Рис. 1.** Функціональна схема енергоефективної автоматизованої системи керування багатоквартирним будинком на базі технології IoT

Їх розміщення можливо організувати як на даху дому, так і створити так звані «ферми» для розміщення достатньої кількості панелей та вітряків, що зможуть забезпечити декілька будинків чи район.

У даній статті запропонована автоматизована система диспетчеризації багатоквартирних будівель, яка дозволить раціонально використовувати як природні джерела енергії, так і традиційні, що значно зменшить витрати на комунальні послуги, тим самим підвищить рівень захищеності, стабільності та благополуччя жильців і будинку в цілому.

Функціональну схему, що відображає сутність запропонованої системи зображено на рис. 1.

Така система завдяки візуалізації процесів облегшує ведення обліку енергоспоживання, регулює розподіл ресурсів, сигналізує про необхідність професійного втручання у разі несправностей та аварій, у результаті чого ця система дозволяє істотно зменшити витрати на утримання будівель, забезпечити підвищений рівень безпеки жильців.

Використання подібної автоматизованої системи дає можливість реалізувати велику кількість задач, які підтримують інтереси не тільки всіх жильців, а і інтереси на рівні міста та країни. Велике значення в таких системах має контроль безпеки: контролер Raspberry Pi за допомогою датчиків у квартирах та у під'їзді, на базі технології віддаленого доступу, управляє пожежною та охоронною сигналізацією, в результаті чого мінімізуються пожежні, кримінальні ситуації та випадки несанкціонованого доступу до приватних приміщень та приміщень, де міститься устаткування, а модуль електромагнітного реле регулює освітленість у під'їзді в залежності від погодних умов, часу доби та пори року.

Запропонована система є прикладом сучасної інформаційної технології - інтернету речей - нового етапу розвитку Інтернету, який значно розширює можливості обліку, аналізу та регулювання процесів у багатоквартирних будівлях. Використання таких автоматизованих систем диспетчеризації має багато переваг, але, зважаючи на велику вартість впровадження, не кожен власник житла здатен дозволити собі це задоволення. Тому велике значення має зацікавленість міської влади та уряду, які б надали фінансову допомогу. У свою чергу зацікавленість ради країни можливо обґрунтувати зменшенням або взагалі відміною виплат субсидій населенню, вико-

ристання природної енергії на заміну вичерпної традиційної, а для жителів - можливість спостерігати, контролювати та регулювати споживання енергії [2].

Основним елементом даної системи є мережа мікроконтролерів Raspberry Pi, побудована на базі технології Internet of Things (IoT), яка дозволяє шляхом безпроводного зв'язку керувати як окремо взятим контролером, так і централізоване керування мережею мікроконтролерів у всьому будинку.

Raspberry Pi - це одноплатний комп'ютер на базі процесора ARM11 і графічного ядра Broadcom BCM2835, який слугує центральним сервером житлової автоматизації (рис. 2).

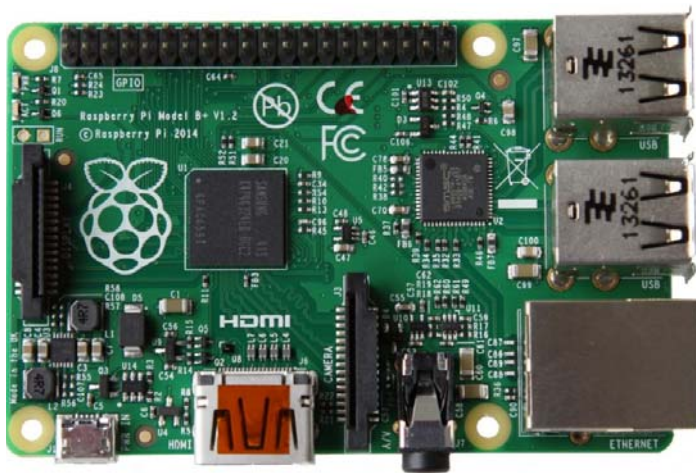


Рис. 2. Мінікомп'ютер Raspberry Pi Model B+ V1.2

Завдяки широкому асортименту допоміжних модулів, Raspberry Pi стає тим пристроєм, який здатен виконувати всі управлінські та моніторингові функції. Незважаючи на свій невеликий розмір, комп'ютер здатен виконувати велику кількість задач. Значними перевагами є його енергоефективність (споживання лише 1 Вт, в той час, як у системного блока - 250 Вт), відносно невисока вартість та низькі вимоги до програмного забезпечення [3].

Міні комп'ютер Raspberry Pi може керувати обладнанням Z-Wave, яке облегшує автоматизацію жилого будинку. Z-Wave являє собою стандарт безпроводної автоматизації, тобто не потребує проведення допоміжних кабелів або ремонтних робіт, що добре позначається на економічному аспекті проекту та на його ефективності [4].

Для візуалізації процесів контролю та керування даною системою передбачено підсистему, побудовану на барі сенсорної панелі оператора Magelis XBT GT виробництва фірми Schneider Electric (рис. 3).

Також доцільно передбачити масштабування підсистеми візуалізації під мобільний додаток на планшет або смартфон [5].



Рис. 3. Magelis XBT GT 2220

Графічні термінали Magelis візуалізують необхідну інформацію для роботи в інтерактивному режимі, а також дозволяють коректувати вихідні дані, перемішувати, обирати та виконувати з даними необхідні дії.

Термінали Magelis серії XBT GT відрізняються простою використання, компактністю та високою надійністю, чим здатні привернути велику увагу. Термінали цієї серії використовують новітні комунікаційні та інформаційні технології: висококонтрастний екран, точна аналогова чуттєва панель, багатовіконний режим управління, можливість відображення

та запису відеоматеріалів, багатоканальність усіх комутаційних портів тощо, що забезпечує зручність експлуатації та використання.

Графічні термінали XBT конфігуруються у середовищі Vijeo Designer, простота та ергономічність котрого забезпечують швидкість та простоту створення проектів. Усі панелі підтримують кириличні шрифти, ведення журналу і збереження даних у зовнішню пам'ять, відображення стану системи та аварійних сигналів, демонстрація графічних та анімаційних елементів та багато іншого. У більш пізніх версіях передбачена можливість роботи з сигналом з відеокамери або камкордера. Окрім того, панель здатна самостійно виконувати математичну обробку даних, в тому числі використовуючи Java-скрипти [6].

Для вирішення задачі оптимального розподілення використання енергії між нетрадиційними та традиційними (використання електроенергії у нічний час за зниженим тарифом) джерелами для отримання максимальної економії розв'язано оптимізаційну задачу динамічного програмування.

У середньому один під'їзд на 36 квартир щоденно використовують близько 80 кВт електроенергії, функції економії з використанням нетрадиційних і традиційних джерел наведено у табл. 2:

Таблиця 2

Вхідні дані до задачі		
Кількість електроенергії, кВт	Функції економії	
	нетрадиційні джерела ( $x_1$ )	традиційні джерела ( $x_2$ )
0	7,64	2,2
20	10,25	2,9
40	16,93	3,3
60	16,12	3,5
80	19,49	4

За принципом оптимальності Белмана вирішимо задачу у середовищі Excel за допомогою макросу. Отримаємо наступне рішення (табл. 3).

Таблиця 3

Рішення задачі					
Кількість електроенергії, кВт	Функції економії		Максимальна економія	Частка використання ресурсу	
	нетрадиційні джерела ( $x_1$ )	традиційні джерела ( $x_2$ )		$x_1$	$x_2$
20	10,25	2,9	10,25	2	0
40	16,93	3,3	16,93	3	0
60	16,12	3,5	19,13	3	1
80	19,49	4	19,83	3	1

З таблиці видно, що для максимальної економії при використанні 80 кВт електроенергії з них 60 кВт може бути споживано від нетрадиційних джерел (сонячних батарей, вітрогенераторних установок і т.ін.) та 20 кВт за нічним тарифом від традиційних джерел (встановлення лічильнику).

Впровадження нових технологій економічно обґрунтовано. Визначено необхідне устаткування для перетворення традиційного жилого будинку на енергоефективне житло, вартість якого приведено у табл. 4.

Таблиця 4

Вартість необхідного устаткування для перетворення природної енергії у розрахунку на 36 квартир (1 під'їзд)

Найменування	Вартість, тис. грн.
Вітрогенераторна установка (1,6 кВт)	112,215
Сонячні панелі (9 кВт)	409
Акумулятори, інвертори, контролери	200
Монтажні роботи	125
Датчики, контролери, сенсорні екрани тощо	50
	896,215

Без використання природних джерел енергії та енергозберігаючих систем витрати на 36 квартир становлять

Таблиця 5

Вартість комунальних послуг	
Найменування	Вартість, тис.грн
Централізоване опалення	63,288
Водопостачання	51,842
Електроенергія	108
Газозабезпечення	25,920
Утримання будинку та території	60,480
	309,530

З розрахунку на 1 під'їзд з 36 квартирами на комунальні послуги та технічний нагляд щорічно витрачається 309 тис. 530 грн.

Отже, окупність системи становить близько 4 років.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Питання енергоефективності жилих помешкань - одне із найголовніших питань на сьогоднішній день для нашої країни. Шалений ріст цін на комунальні послуги значно спустошує як сімейний бюджет українців, так і державну

казну. Тому актуальними є методи збільшення енергоефективності будинків, використовуючи нетрадиційні джерела енергії. Важливим питанням є способи управління ними, а саме управління на базі логічних контролерів, що і було запропоновано у роботі. Використовуючи інноваційну технологію Інтернет речей, значно спрощується не лише керування системою у житловому будинку, а також і значно зменшуються витрати енергії завдяки логічним способам її розподілення. Віддалене керування та візуалізація процесів облегшить ведення обліку енергоспоживання, регулювання розподілу ресурсів, сигналізуватиме про необхідність професійного втручання у разі несправностей та аварій тощо.

Хоча ця технологія і є дуже ефективною, проте дозволити собі її встановлення може не кожен будинок. Тому дуже важливим у цьому питанні є підтримка держави, адже саме такі системи зможуть значно покращити як економічний стан країни, так і благополуччя населення.

### Список літератури

1. Нова-Ком. Тарифи на комунальні послуги [Електронний ресурс] – Режим доступа: <https://www.novakom.com.ua/tarifs.html>, вільний (дата звернення 10.03.2017) – Мова: укр.
2. Автоматизированные системы управления домом [Электронный ресурс]: интернет-статья. – Режим доступа: <http://youhouse.ru/po/sistema.php>, свободный (дата обращения 10.03.2017) – Язык: рус.
3. Raspberry Pi [Electronic resource]: free encyclopedia. – Mode of access: [https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi). – Last access: 10.03.2017. Language: eng.
4. Raspberry Pi для домашней автоматизации. Структурная схема [Электронный ресурс]: интернет-статья. – Режим доступа: [http://electromost.com/news/raspberry\\_pi\\_dlja\\_domashnej\\_avtomatizacii\\_chast\\_chetvertaja/2014-03-17-119](http://electromost.com/news/raspberry_pi_dlja_domashnej_avtomatizacii_chast_chetvertaja/2014-03-17-119), свободный (дата обращения 10.03.2017) – Язык: рус.
5. Человеко-машинный интерфейс. Автоматизация & Контроль: каталог компании Schneider Electric. – К.:2007. – 140 с.
6. Автоматика-Север. Графические терминалы серии Magelis XBT GT [Электронный ресурс]: интернет-магазин. – Режим доступа: <http://avtomatika.info/catalog/graficheskie-terminaly-serii-magelis-xbt-gt/>, свободный (дата обращения 11.03.2017) – Язык: рус.
7. Best raspberry pi home automation tutorial: web based [Electronic resource]: online articles. – Mode of access: <https://diyhacking.com/raspberry-pi-home-automation/>, free (date of appeal 11.03.2017) – Language: eng.
8. 20 awesome projects for Raspberry Pi [Electronic resource]: online article. – Mode of access: <http://www.mnn.com/green-tech/computers/photos/20-awesome-projects-raspberry-pi/raspberry-pi-home-automation>, free (date of appeal 11.03.2017) – Language: eng.
9. Build an Entire Home Automation System with a Raspberry Pi and Arduino [Electronic resource]: online article. – Mode of access: <http://lifelhacker.com/build-an-entire-home-automation-system-with-a-raspberry-1640844965>, free (date of appeal 11.03.2017) – Language: eng.
10. PiDome - Home automation [Electronic resource]: online articles. – Mode of access: <https://pidome.org>, free (date of appeal 12.03.2017) – Language: eng.
11. Практичні проблеми у ЖКГ та шляхи їх вирішення: конференція молод. вчен. каф. права (Харків, 2016) / **Ю.В. Злобіна**. – Харків: ХНУМГ ім. О.М.Бекетова, 2016. – 3 с.
12. **Сухай, О. С.** Аналіз фінансового забезпечення програми енергоефективності житлово-комунального господарства / **Ольга Євгенівна Сухай, Ольга Семенівна Кіндзюр** // Економічний аналіз : зб. наук. праць / Тернопільський національний економічний університет; редкол. : В. А. Дерій (голов. ред.) та ін. – Тернопіль : Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету “Економічна думка”, 2015. – Том 22. – № 1. – С. 60-66. – ISSN 1993-0259.
13. Реалізація системи віддаленого керування електроживленням на базі сучасної платформи IoT / Старкова О.В. [та ін.] // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2016. – №2(42). – с.107-115.
14. Концепція автоматизованої системи аудиту та моніторингу енергоефективності будівель / Вовк А.І. [та ін.] // VII Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційно-комп'ютерні технології»: Тез.доп. – Житомир, 2014.
15. Internet of Things For Energy Efficiency [Electronic resource]: online article. – Mode of access: <http://news.sap.com/internet-things-energy-efficiency/>, free (date of appeal 12.03.2017) – Language: eng.
16. Internet of things in energy efficiency The internet of things [Electronic resource]: online article. – Mode of access: <http://ubiquity.acm.org/article.cfm?id=2822887>, free (date of appeal 11.03.2017) – Language: eng.
17. Energy Efficiency of the Internet of Things [Electronic resource]: technology and energy assessment report. – Mode of access: <http://edna.ica-4e.org>, free (date of appeal 12.03.2017) – Language: eng.
18. **Moreno V. M., Benito Úbeda, Antonio F. Skarmeta, Zamora M.A.** How can We Tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings? *Sensors*, 2014, 14, 9582-9614; DOI: 10.3390/s140609582
19. Using smart hardware to improve IoT energy efficiency [Electronic resource]: online article. – Mode of access: <https://electronicsnews.com.au/using-smart-hardware-to-improve-iot-energy-efficiency/>, free (date of appeal 10.03.2017) – Language: eng.

Рукопис подано до редакції 17.03.17