

УДК 004.03:621.316.5

Журавська І.М.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

ІОТ-МЕРЕЖА НА БАЗІ BLUETOOTH-МОДУЛІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ СПОЖИВАННЯМ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

Журавська І.М. ІоТ-мережа на базі Bluetooth-модулів для автоматизованого керування споживанням енергоресурсів. У статті запропонований алгоритм відключення від електроживлення неперіоритетних пристроїв за допомогою розроблених IoT Master та IoT Slave блоків. Керування блоками здійснюється або автоматизовано у локальній мережі, або віддалено через Інтернет. Запропонований підхід дозволяє запобігти надлишковому споживанню електроенергії та перенавантаженню мережі електроживлення при нормованому (або обмеженому за потужністю) споживанню енергоресурсів. Розроблена відповідна програмно-апаратна система на платформі Arduino з керуванням за протоколом Bluetooth.

Ключові слова: IoT блок, Arduino, Bluetooth, обмеження енергоспоживання, неперіоритетний прилад, автоматизоване відключення від електромережі.

Журавская И.Н. IoT-сеть на базе Bluetooth-модулей для автоматизированного управления потреблением энергоресурсов. В статье предложен алгоритм отключения от электропитания неперіоритетных устройств с помощью разработанных IoT Master и IoT Slave блоков. Управление блоками осуществляется либо автоматизировано в локальной сети, либо удаленно через Интернет. Предложенный подход позволяет предотвратить избыточное потребление электроэнергии и перегрузки сети электропитания при нормированном (или ограниченном по мощности) потреблении энергоресурсов. Разработана соответствующая программно-аппаратная система на платформе Arduino с управлением по протоколу Bluetooth.

Ключевые слова: IoT блок, Arduino, Bluetooth, ограничение энергопотребления, неперіоритетный прибор, автоматизированное отключение от электросети.

Zhuravska I.M. IoT network based on Bluetooth modules for automatized control power consumption. The article suggests the algorithm for unplugging non-priority devices from electric power consumption. The IoT Master and IoT Slave blocks have developed. Blocks' control is carried out either automatized in the local network, or remotely via the Internet. The proposed approach allows to prevent excessive consumption of electricity and overload of the power supply network under normalized (or limited in power) consumption of energy resources. The hardware / software system has developed on the Arduino platform with Bluetooth control.

Keywords: IoT block, Arduino, Bluetooth, power consumption limitation, non-priority device, automatized power unplug.

Вступ. Сучасні бездротові мережеві технології є ключовими для впровадження технології Internet-of-Things (IoT) в індустріальний сектор, створення апаратно-програмних ресурсів для розробки адаптивних алгоритмів споживання електроенергії. Широко використовуються стандарти протоколів Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee та ін. найбільш ефективно забезпечують режими обміну між пристроями при невеликому розмірі переданих пакетів даних. Крім того, напрацьована достатня база сумісності декількох з названих технологій бездротового зв'язку в одній керуючій системі, що забезпечує раціональне споживання електроенергії [1].

Вбудована технологія індустріальної IoT (IIoT) дозволяє не тільки здійснювати віддалене керування приладами, а й вдосконалювати автоматизацію, керування даними в режимі реального часу та підключення приладів без втручання особисто споживача, але на основі інтелектуалізації сегментів IoT-мереж [2]. Тобто, технологія IoT спроможна сприяти досягненню економічно вигідного балансу між виробництвом енергії та попитом, впливати на процеси генерації, розподілу, споживання та зберігання енергії.

Окрім ринкового енергетичного менеджменту, також актуальним у багатьох країнах є підхід з державним регулюванням, головним інструментом якого є нормування споживання енергоресурсів [3].

Так, в Україні відповідно до п. 37 Правил користування електричною енергією для населення (надалі – ПКЕЕН), затверджених Постановою КМУ від 29 липня 1999 р. № 1357, енергопостачальник має право встановлювати технічні засоби, які обмежують постачання електричної енергії споживачу відповідно до договірної потужності, що становить для однофазних електроустановок побутових споживачів 2,2 кВт [4]. За додатковими договорами споживача з постачальником («Обленерго») у шафі обліку з лічильником електроенергії (які знаходяться на балансі електропередавальної організації) може бути встановлений автоматичний вимикач (АВ) на 16 А, який розрахований на номінальне навантаження 3,5 кВт.

Але сучасна квартира з бойлером (1–2 кВт), електрочайником (1–2,5 кВт), пральною машиною (1,7–2,9 кВт), СВЧ-пічкою (500–2500 Вт), індукційною плитою (3,2 кВт) потребує набагато більше електроенергії для одночасного споживання. Тому тими ж ПКЕЕН (п. 41) передбачена можливість встановлення споживачами у своєму приватному домогосподарстві генеруючої установки потужністю до 30 кВт.

З аналізу сучасного стану підключення побутових споживачів до міської електромережі зроблений висновок, що найпоширенішим є підключення на 5,5 кВт споживання (АВ 25 А на вході).

На жаль, більшість споживачів все ж мають дотримуватись дозволеною потужністю до 3,5 кВт одночасно включених пристроїв. Саме тут Інтернет речей (IoT) може мати найбільший вплив на спосіб розподілу та споживання електроенергії.

Термін «Інтернет речей» вперше був введений Кевіном Ештоном у 1999 р. під час його роботи над Procter & Gamble, щоб порахувати і відстежити товари без потреби в людському втручанні [5]. Підключення до глобальної мережі Інтернет при цьому не є обов'язковим. Тобто, IoT-мережа це мережа унікально ідентифікованих об'єктів, які здійснюють інтелектуальну взаємодію без людського втручання через IP-подібні з'єднання [6].

Таким чином, за концепцією IoT, мережа складається з взаємопов'язаних пристроїв, які мають можливість приведення в дію, функцію програмування та ідентифікації, а також дозволяють виключити необхідність участі людини за рахунок використання інтелектуальних інтерфейсів.

Тому в даній роботі розглядається актуальне питання автоматизованої взаємодії між комп'ютерною мережею та електромережею (англ. «Inter Net») шляхом встановлення з'єднання та обміну інформацією безпосередньо між побутовими приладами, без участі їх власника.

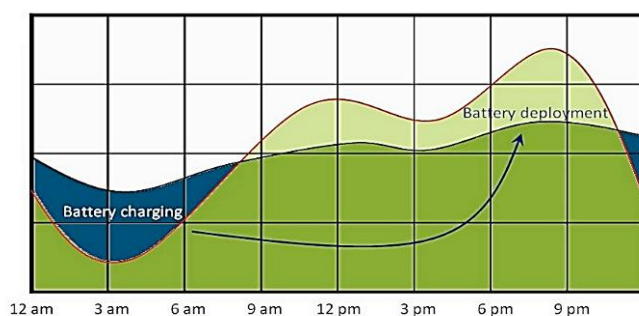
Постановка наукової проблеми. Метою даної роботи є створення апаратно-програмної системи запобігання надлишковому споживанню електроенергії та перенавантаженню мережі електроживлення при підключенні декількох приладів за допомогою технології IoT.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Зараз на ринку є широкі можливості щодо реагування на попит, які впливають на підключені пристрої. Наприклад, на всій території США використовуються програмно-апаратні засоби для відключення пристроїв з високим споживанням електроенергії під час пікового попиту. Розумні термостати довели свою ефективність захисту від збоїв і відключень [7].

Крім того, на ринку з'явилися нові підключені пристрої, націлені на зміну енергокористування споживачами протягом доби або місяця.

Керування витратами на попит (англ. Demand Charge Management – DCM) можливо, наприклад, встановленням на будинок модульного накопичувача енергії Sparkplug Power [8]. У разі перевищення споживачем підведеної потужності, споживання переводиться з централізованої електромережі на літєві акумулятори (рис. 1).



а)



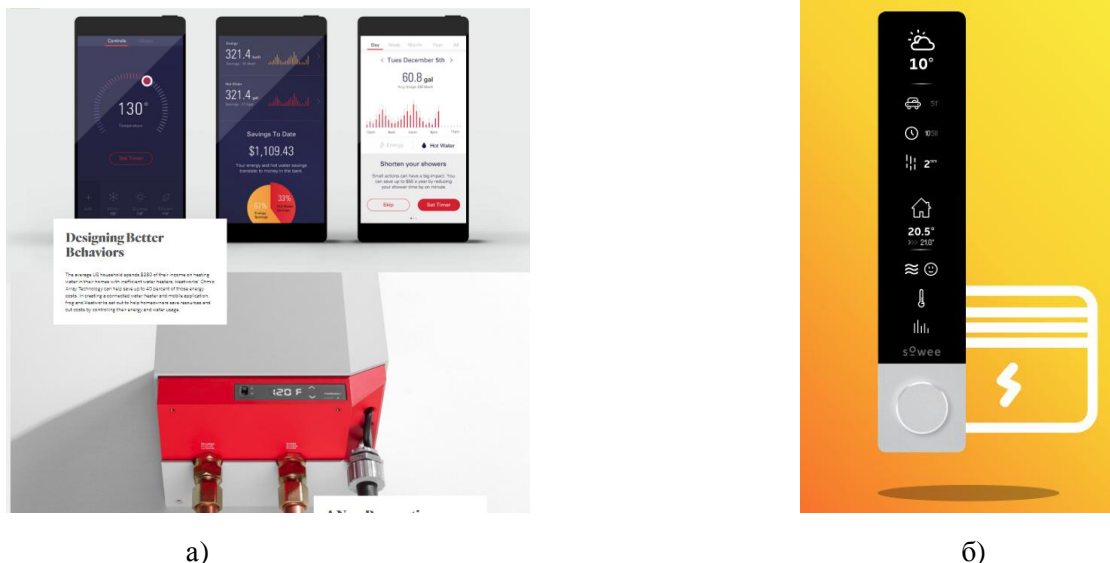
б)

Рис. 1. Керування витратами на попит за допомогою модульного накопичувача енергії Sparkplug Power

Але таке рішення підходить тільки для потужних споживачів, оскільки зазначене рішення орієнтоване на рівень споживання 250 кВт – 5 МВт.

На ринку з'являються все нові рішення, що дозволяють підключення та управління продуктами для виробництва, розподілу, управління та збереження енергії. Так, наприклад,

компанія Heatworks (США) у 2017 р. на виставці Consumer Electronics Show (CES – 2017) запропонував використовувати енергоефективний водонагрівач з підтримкою IoT на платформі Xively (рис. 2, а) – з повним контролем температури та виконанням завдань [9, 10].



а)
б)
Рис. 2. IoT-рішення з керування енергоспоживанням: а – фірми Heatworks (США);
б) – фірми Sowe (Франція)

Іншим прикладом є французьке рішення – підключена домашня станція Sowe (рис. 2, б), яка також дозволяє споживачам встановлювати бюджет на місяць з коригуванням енергоспоживання на основі цього бюджету шляхом зниження температури нагріву води, температури «теплої підлоги» тощо) [11].

На ринку України присутні такі регулятори навантаження електромережі, як «AR-01», реле відключення неперіоритетних пристроїв ABB LSS, реле пріоритету «РІПН-1-25» та ін. [12–17].

Наприклад, автоматичний регулятор навантаження мережі являє собою пристрій з електронною схемою управління, виконаний в пластмасовому корпусі з мережевою вилкою і двома розетками (рис. 3, а). Одна з розеток має маркування «Priority». Робоча напруга 220 В, допустимий струм кожної з розеток 16 А. Під розетками розташовані світлодіодні індикатори, що показують режим роботи приладу [12]. Пристрій має фіксовані установки і не потребує будь-яких налаштувань, але передбачає підключення всіх керованих пристроїв тільки в одному приміщенні (рис. 3, б).



а)



б)

Рис. 3. Автоматичний регулятор навантаження мережі «AR-01»: а – зовнішній вигляд;
б – варіант підключення [12]

Інші розповсюджені на вітчизняному ринку пристрої контролю споживаної потужності встановлюються в електричне коло після ввідного АВ перед навантаженням. Такі пристрої

здійснюють постійний контроль поточної споживаної потужності та порівнюють її із заданим максимально допустимим значенням. У разі перевищення загальної споживаної потужності заданого максимуму, реле відключає неперіоритетні навантаження, чим не допускає спрацьовування головного АВ.

Альтернативним виглядає рішення з використанням GSM-розетки або WiFi-розетки, які управляють подачею електроживлення вставленого в них приладу після команд, отриманих від власника через відповідну віддалену мережу [18]. «Розумна розетка» складається з контролера і електромагнітного реле. Після отримання команди контролер її розпізнає і передає відповідний сигнал реле, яка в свою чергу замикає або розмикає електричний ланцюг. Сигнали контролера можуть надходити за допомогою інтернету, SMS-повідомлень, по GSM каналам зв'язку.

Слід відмітити, що всі зазначені рішення не є адаптивними. При керуванні навантаженням, організованим у локальній мережі, розподіл на пріоритетне та неперіоритетне навантаження мережі користувача приймається одноразово та назавжди при виконання будівельно-монтажних робіт у приміщенні. В той же час, в процесі фахової або побутової діяльності у споживача можуть мінятися поточні пріоритети для різних пристроїв, навіть протягом доби. Але, пріоритети пристроїв у всіх зазначених рішеннях не можуть бути змінені власником пристроїв власноруч, а потребують при кожній такій зміні залучення фахівців енергокомпаній.

Навпаки, при тільки віддаленому типу керування електроспоживанням у локальній мережі остання знаходиться під постійною загрозою Інтернет-хакінгу. При такому типу керування ніякі підключення/відключення не виконуються автоматично, навіть такі, що є однотипними та не потребують змін режимів роботи.

Сучасний стан розвитку комп'ютерно-інтегрованих систем дозволяє переглянути жорстку однозначність у визначенні типу керування або пріоритетів підключень пристроїв відповідно до поточних потреб споживача. Із зростанням кількості розумних пристроїв, підключених за технологією IoT, з'являється можливість надавати споживачам (на мобільні або стаціонарні комп'ютерні системи) докладний вигляд того, які прилади використовують електроенергію в їх будинку у кожен момент часу. Крім того, можливо забезпечувати комбінування віддаленого та автоматизованого контролю цих пристроїв, щоб або зменшити споживання енергії, або попередити її відключення через перенавантаження електромережі споживача електроприладами.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Розробка та підключення IoT-блоків до кожного пристрою споживача дозволяє замість централізованої технології керування, структура якої обирається та реалізується одноразово, реалізувати адаптивні алгоритми роботи таких пристроїв з урахуванням поточних потреб споживача.

На рис. 4 наведені схематичні рішення IoT-блоків двох типів (пріоритетного та неперіоритетного навантаження) на платформі Arduino [19–21].

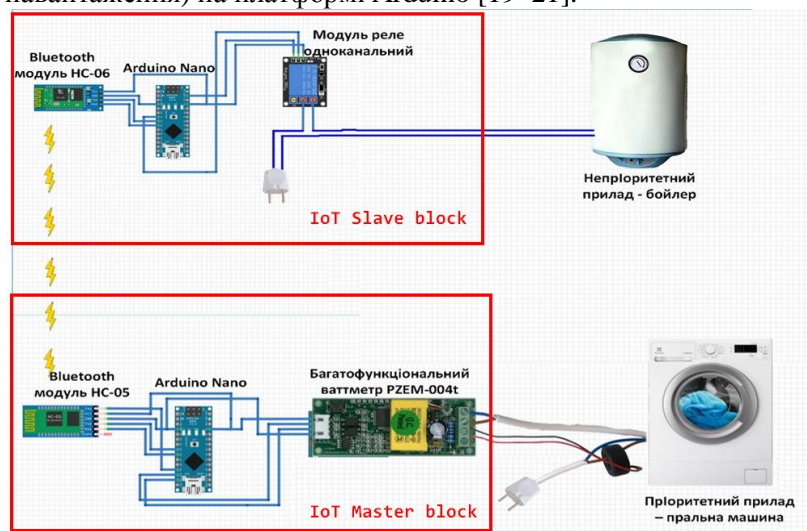


Рис. 4. Схема підключення модулів IoT-блоків пріоритетного та неперіоритетного побутових приладів

Починається робота блоків з їх підключення до електромережі та вибору користувачем пріоритетного та неперіоритетного приладу на певний термін. Далі стартують нескінченні (до

повного вимкнення блоків з електромережі) цикли роботи для кожного з IoT-блоків, блок-схема алгоритму якої наведена на рис. 5. Якщо почав працювати прилад, визнаний пріоритетним у даний час, то до непріоритетних IoT-блоків через Bluetooth-мережу відправляється сигнал на припинення роботи. Після вимкнення через певні інтервали часу йде перевірка вхідних сигналів на поновлення роботи: якщо такий сигнал прийшов від пріоритетного блоку – відбувається поновлення роботи та повертання на початок циклу, якщо ні – повертання вимкненого стану.

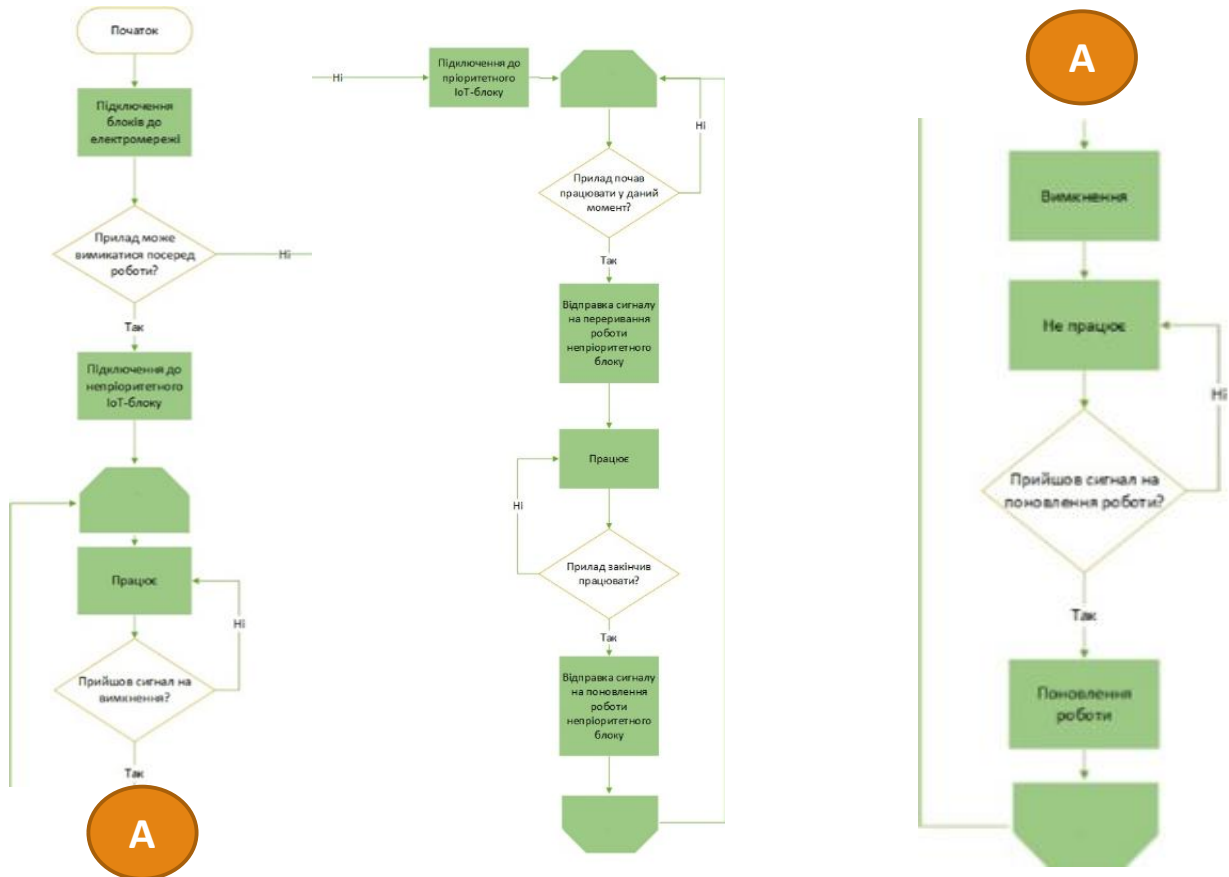


Рис. 6. Алгоритм роботи системи почергового підключення побутової техніки до електромережі

Кожен IoT-блок складається з чотирьох основних компонентів.

Пріоритетний (IoT Master block):

- плата Arduino Nano (ATmega328);
- Bluetooth-модуль для Arduino (HC-05 6 pin);
- багатофункціональний ватметр PZEM-004t;
- електричний подовжувач.

Непріоритетний (IoT Slave block):

- плата Arduino Nano (ATmega328);
- Bluetooth-модуль для Arduino (HC-06 4 pin);
- блок реле одноканальний 5 V;
- електричний подовжувач.

Такі блоки працюють в автоматизованому режимі відразу після розподілу на пріоритетне та непріоритетне навантаження в електромережі споживача. Віддалене керування не потрібне аж до моменту, коли необхідно змінити режим підключення приладів.

Також можна обладнати головний модуль можливістю керування через мережу Інтернет (рис. 7). Для цього у вже існуючу схему потрібно додати Wi-Fi модуль ESP8266 ESP-01, який буде приймати сигнали з мобільного пристрою споживача або зі стаціонарного серверу, де встановлюється відповідний програмний застосунок для керування описаною IoT-мережею.

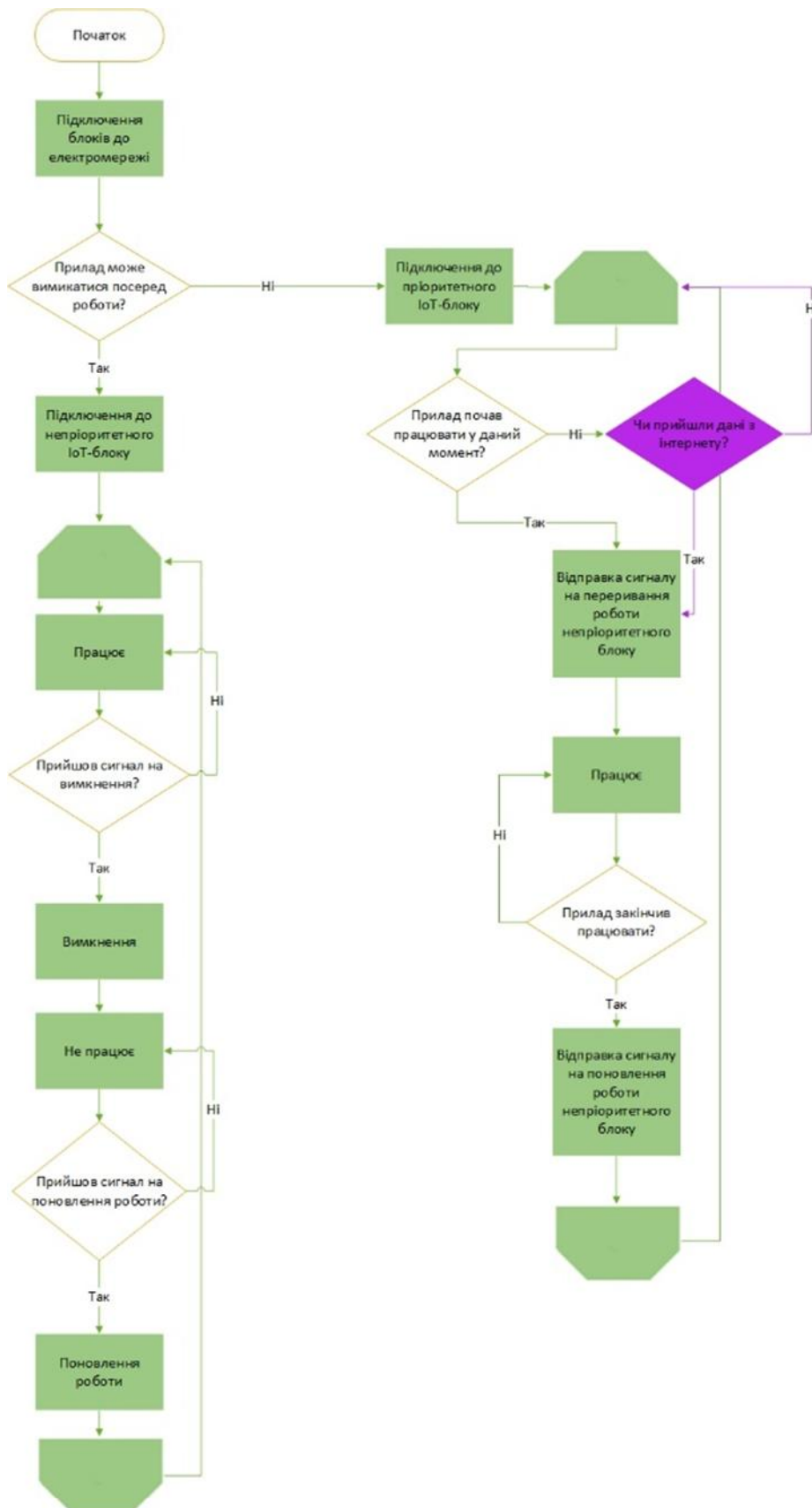


Рис. 7. Алгоритм роботи системи чергового підключення приладів до електромережі (з можливістю керувати через Інтернет)

У разі необхідності віддаленого керування через Інтернет наведений алгоритм буде змінено для пріоритетного IoT-блоку таким чином (рис. 7):

– перевірка, чи почав прилад працювати у даний час (якщо почав, то відправка сигналу до неперіоритетного IoT-блоку на припинення роботи; якщо не почав – то перевірка надходження команд через Інтернет);

– перевірка надходження даних з Інтернету (якщо прийшли, то відправка сигналу на припинення роботи до неперіоритетного IoT-блоку; якщо не прийшли – повернення на початок циклу);

– робота;

– перевірка, чи вимкнувся прилад (якщо так, то відправка сигналу на поновлення роботи до неперіоритетного IoT-блоку та перехід до початку циклу; якщо ні – повернення до роботи).

Висновки та перспективи подальших досліджень. В результаті роботи проаналізовано існуючі рішення щодо керування електроспоживанням побутових приладів через локальну мережу.

Розроблене апаратне рішення на платформі Arduino для відключення неперіоритетного електроприладу через локальну мережу при початку циклу роботи пріоритетного приладу. Розроблене програмне забезпечення (ПЗ), що дозволяє автоматизувати процес почергового підключення зазначених приладів до електромережі.

Розроблений алгоритм та структурна схема апаратного модулю для віддаленого керування розробленим пристроєм через Інтернет.

Проаналізовані можливості та принципи організації раціонального енергоспоживання на основі технології «Інтернету речей». Викладено теоретичні підходи до створення адаптивних алгоритмів оптимізації електроживлення в умовах обмеженої потужності.

Запропонований алгоритм автоматизованого почергового підключення приладів до мережі електроживлення шляхом розподілу на пріоритетне та неперіоритетне навантаження з використанням протоколу Bluetooth. Використання бездротових технологій суттєво розширює галузь застосування запропонованого підходу з керування підключенням приладів у приміщенні до керування підключенням до енергоспоживання територіально розподілених систем (у т. ч. безпілотних, без втручання людини). Передбачені два режими роботи: автоматизований у локальній IoT-мережі та з можливістю віддаленого керування.

Розроблена відповідна апаратно-програмна система на платформі Arduino. Розглянуто приклади реалізації IoT-мережі на базі Bluetooth-пристроїв для побудови системи раціонального споживання електроенергії.

Використання запропонованих рішень з інтеграції компонентів комп'ютерної та електричної мереж дозволяє запобігти перенавантаженням електромережі, забезпечити безперервність циклу роботи пріоритетних приладів та позбавитись від аварійних відключень всіх приладів споживача від електроживлення. Крім того, такий підхід суттєво підвищує безпеку впровадження IoT-рішень в локальній мережі через відсутність постійного підключення останньої до глобальної мережі Інтернет. Використання віддаленого керування здійснюється тільки у разі необхідності зміни запрограмованих заздалегідь режимів.

Напрямом подальшого дослідження є розробка способів збільшення відстані між IoT-блоками в приватній мережі та зменшення часової затримки при перепідключеннях апаратних компонентів.

1. Клевков А. В. Основы рационального потребления электроэнергии. – М. Инфра-инженерия, 2017. – 232 с.
2. Jadot F. Smart Control Harnesses the Industrial Internet of Things [Electronic resource] // Schneider Electric Blog. – Publ. June 30, 2016. – Available at: <https://blog.schneider-electric.com/machine-and-process-management/2016/06/30/smart-control-harnesses-industrial-internet-things/> (Last accessed: 14.03.2018).
3. Ганжа В. Л. Основы эффективного использования энергоресурсов: теория и практика энергосбережения. – Минск : Белорусская наука, 2007. – 451 с.
4. Правила користування електричною енергією для населення [Електронний ресурс] : затв. постановою КМУ від 29 липня 1999 р. № 1357. – Дата оновлення : 20.09.2016. – Режим доступу : <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1357-99-%D0%BF> (дата звернення 23.03.2018).
5. Ashton K. That 'Internet of Things' Thing [Electronic resource] // RFID Journal. – Publ. June 22, 2009. – Available at : <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986> (Last accessed : 19.03.2018).
6. McFarlane D. Auto ID systems and intelligent manufacturing control / D. McFarlane, S. Sarma, J. L. Chirn, C. Y. Wong, K. Ashton // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2003, June. – Vol. 16, Is. 4. – June 2003, Pp. 365–376. doi: 10.1016/S0952-1976(03)00077-0.
7. The Internet of Things: Making the Energy Industry New (and Great) Again. Clean Technica [Electronic resource] : web-newspaper. – Publ. June 16, 2017. – Available at : <https://cleantechnica.com/2017/06/16/the-internet-of-things-making-the-energy-industry-new-and-great-again/> (Last accessed : 19.03.2018).

8. Reducing Electricity Costs for Commercial & Institutional Electric Customers with Energy Storage as a Service [Electronic resource]. – Available at: <http://sparkplugpower.com/wp-content/uploads/2015/04/SP-brochure-IAPR2015.pdf> (Last accessed : 19.02.2018).
9. IoT for Smart Energy & Utilities. Xively IoT Platform [Electronic resource]: web-site. – Available at: <https://www.xively.com/navigating-iot/iot-for-smart-energy> (Last accessed : 19.03.2018).
10. The Heatworks team previewed their next-generation, IoT-connected MODEL 3 water heater [Electronic resource] // Proceedings of the Consumer Electronics Show (CES'2017), Las Vegas, USA, Jan. 8–12, 2017. – Available at: <https://www.frogdesign.com/work/heatworks> (Last accessed : 19.02.2018).
11. Je ne trouve pas le Wi-Fi Sowee dans la liste des réseaux Wi-Fi [Electronic resource]. – Available at: <https://monespace.sowee.fr/s/article/Je-ne-trouve-pas-le-wifi-Sowee-dans-la-liste-des-reseaux-wi-fi> (Last accessed : 19.03.2018).
12. AR-01 – Автоматический регулятор нагрузки сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ar01.real-el.ua/> (дата обращения 23.02.2018).
13. Как обеспечить комфорт при недостаточной мощности электросети [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://elektrik.info/main/news/796-kak-obespechit-komfort-optimizator.html> (дата обращения 23.03.2018).
14. Умная розетка – Оптимизатор нагрузки на электросеть OEL-820 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://smartron.ru/catalog/products/saveenergy/umnaja-rozetka-optimizator-nagruzki-na> (дата обращения 23.03.2018).
15. Реле отключения неприоритетных нагрузок АBB LSS1/2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://myvolt.ua/rele-otklyucheniya-neprioritetnykh-nagruzok-abb-lss12> (дата обращения 23.03.2018).
16. Реле приоритета нагрузок [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/1553-rele-prioriteta-nagruzok.html> (дата обращения 23.02.2018).
17. Реле приоритета. Автоматическое управление нагрузкой [Электронный ресурс] // Режим доступа : <http://elektrik-sam.info/rele-prioriteta-avtomaticheskoe-upravlenie-nagruzkoj> (дата обращения 23.02.2018).
18. GSM-розетки [Электронный ресурс]: интернет-магазин. – Режим доступа : https://ohrana.ua/gsm-signalizatsiya/gsm-rozetka/?gclid=EAIaIQobChMIrMW2tqmG2gIVjZztCh3zfgU4EAAAYASAAEgI2P_D_BwE (дата обращения : 18.03.2018).
19. Arduino Nano (V3.0): User Manual [Electronic Resource]. – Available at: http://site.gravitech.us/Arduino/NANO30/Arduino_Nano3_0.pdf (Last accessed: 14.03.2018).
20. Ардуино в Украине [Электронный ресурс]: интернет-магазин. – Режим доступа : <https://arduino.ua/> (дата обращения : 18.03.2018).
21. Модуль Bluetooth HC-05 [Электронный ресурс] // Arduino-KiT: веб-сайт. – Режим доступа : <https://arduino-kit.ru/catalog/id/modul-Bluetooth-hc-05> (дата обращения : 18.03.2018).