УДК 004.896
DOI: 10.31891/CSIT-2020-1-7

БОБРОВНІКОВА К. Ю., ТОВСТУХА Е. В.
Хмельницький національний університет

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМІ РОЗУМНОГО БУДИНКУ

Розумний будинок (smart home) – це система управління основними процесами життєзабезпечення як невеликих систем (комерційні, офісні приміщення, квартири, котеджі), так і великих автоматизованих комплексів (торгові і промислові комплекси). Однією з важливих задач, на вирішення яких спрямована концепція сучасного розумного будинку, є проблема енергоефективності і енергозбереження. Ефективний контроль опалення, вентиляції, системи кондиціонування повітря, більш ефективне використання традиційних приладів та впровадження енергоефективного обладнання в будівлі мають важливе значення для забезпечення продуктивної, здорової та безпечної праці та життя, відіграють важливу роль у запобіганні втрат енергії, а також зменшують вплив на навколишнє середовище. Крім того, підвищення ефективності управління споживанням енергії є єдиним підходом забезпечення енергоефективності та енергозбереження багатьох існуючих будівель, які не можуть бути модернізовані згідно з вимогами сучасних будівельних технологій. В роботі представлено огляд сучасних методів і технологій, спрямованих на забезпечення енергоефективності та енергозбереження в системі розумного будинку.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, розумний будинок, Інтернет речей, автоматизація будівель.

BOBROVNIKOVA K., TOVSTUKHA E.
Khmelnitsky National University

METHODS FOR ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING IN THE SMART HOME SYSTEM

Today, the efficient use of energy resources is one of the most important tasks. The fastest growing sector of energy consumption in the world is electricity, which is projected to grow by 56% by 2035, and in developed countries almost all the growth is due to the generation and consumption of electricity and heat. Further growth of energy consumption by the population is also expected. At the same time, almost a third of the total energy consumption is made up of certain losses, ie energy is consumed for other purposes. Against the background of global growth in energy consumption, the rate of further accumulation of CO_2 emissions will increase. That is why the European Union, United Nations bodies, international financial organizations and the International Energy Agency give priority to energy efficiency issues. To this end, a set of mechanisms and practical tools for economic stimulation of measures to implement modern energy-saving technologies is used at the international level.

Smart home is a system for managing the basic life support processes of both small systems (commercial, office premises, apartments, cottages) and large automated complexes (commercial and industrial complexes). One of the important tasks to be solved by the concept of a modern smart home is the problem of energy efficiency and energy saving. Effective control of heating, ventilation, air conditioning, more efficient use of traditional appliances and the introduction of energy-efficient equipment in the building are important to ensure productive, healthy and safe work and life of residents, play an important role in preventing energy loss and reduce impact on the environment. In addition, improving the efficiency of energy management is the only approach to ensuring the energy efficiency and energy saving of many existing buildings that cannot be upgraded according to the requirements of modern construction technologies. The paper presents an overview of modern methods and technologies aimed at ensuring energy efficiency and energy saving in the smart home system.

Keywords: energy efficiency, energy saving, smart home, Internet of things, building automation.

Вступ. На сьогодні ефективність використання енергетичних ресурсів є однією з найважливіших задач. Найбільш швидкозростаючим сектором споживання енергоресурсів в світі є електроенергетика, де прогнозується 56 % приросту до 2035 р., причому у розвинених країнах майже весь приріст припадає на генерацію та споживання електро- та теплоенергії [1]. Також очікується подальше продовження зростання енергоспоживання населенням. При цьому майже третину від загального споживання енергії складають ті чи інші втрати, тобто енергія витрачається не за призначенням [2]. На фоні загальносвітового зростання споживання енергетичних ресурсів зростатимуть темпи подальшого накопичення викидів CO_2. Тому Європейський Союз, органи Організації Об'єднаних Націй, Міжнародні фінансові організації та Міжнародне енергетичне агентство надають питанням енергоефективності пріоритетного значення. З цією метою на міжнародному рівні задіяно комплекс механізмів та практичних інструментів економічного стимулювання заходів із впровадження сучасних енергозберігаючих технологій [1].

В [3] термін «енергозбереження» визначено як діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), яка спрямована на раціональне використання та ощадливе витрачання первинної та перетвореної енергії і природних енергетичних ресурсів і яка реалізується з використанням технічних, економічних та правових методів. Згідно [4] енергетична ефективність будівлі – це властивість будівлі, що характеризується кількістю енергії, необхідної для створення належних умов проживання та/або життєдіяльності людей у такій будівлі. Енергоефективний проект спрямований на скорочення енергоспоживання, а саме: реконструкція мереж і систем постачання, регулювання і облік споживання води, газу, теплової та електричної енергії, модернізація огороджувальних конструкцій та технологій виробничих процесів [4]. Проблеми ефективного енергоспоживання в будівлях регламентовані ДСТУ Б EN 15232:2011 «Енергоефективність будівель – Вплив автоматизації, моніторингу та управління будівлями» [5]. Цей стандарт є тотожним перекладом EN 15232:2007 «Energy performance of buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management», розробленого Європейським технічним комітетом стандартизації CEN/TC 247 Building Automation, Controls and Building Management (Автоматизація,

моніторинг та управління будівлями), та містить вимоги відповідно до чинного законодавства України. В [5] викладено основні аспекти та нормативи енергетичних характеристик будівель, їх автоматизації та менеджменту: (1) структурний перелік функцій автоматизації, моніторингу та управління будівлями, а також технічного управління інженерними системами, які мають вплив на енергоефективність будівель; (2) метод визначення мінімальних вимог щодо використання функцій автоматизації, моніторингу та управління, які повинні бути впроваджені в будівлях різного рівня складності; (3) деталізовані методи оцінювання впливу вказаних функцій для конкретних будівель. Ці методи надають можливість ввести вплив вказаних функцій у розрахунки рейтингів енергоефективності будівель, а також показників, що розраховуються згідно з чинними стандартами; (4) спрощений метод для отримання первинної оцінки впливу вказаних функцій для типових будівель. Стандарт регламентує такі складові автоматизації будівель як: (1) управління та моніторинг опалення та охолодження; (2) управління та моніторинг систем вентиляції; (3) управління та моніторинг систем освітлення; (4) управління та моніторинг систем жалюзі.

Підвищення уваги до проблем енергоефективності та енергозбереження сприяє розвитку концепції сучасного розумного будинку. Якщо спочатку ця концепція полягала у підключенні давачів, приладів та пристроїв через мережу з метою віддаленого моніторингу, доступу та контролю житлового середовища та надання необхідних послуг користувачам, то на сучасному етапі передбачає також оптимальне використання енергії в будинках. Згідно [6] ідея розумного будинку полягає в тому, що комп'ютерне програмне забезпечення, яке грає роль інтелектуального агента, сприймає стан фізичного середовища та мешканців за допомогою давачів, а потім вживає дій для досягнення визначених цілей, таких як максимізація комфорту мешканців, мінімізація споживання ресурсів, збереження здоров'я та безпека будинку та мешканців.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сьогодні в наукових джерелах широко представлені різноманітні підходи, спрямовані на забезпечення енергоефективності та енергозбереження в системі розумного будинку. В [7] проведено огляд сучасної концепції розумного будинку. Зазначено, що в останні роки основним напрямком політики в галузі енергоефективності було сприяння використанню більш ефективних приладів та компонентів. Проте контроль автоматизації будинку відіграє важливу роль для ефективної та сталої експлуатації. Роль автоматизації будівель особливо важлива в операціях, спрямованих на стабільний комфорт у приміщенні та енергоефективне управління системою будинку: (1) шляхом виявлення та усунення втрат енергії; (2) шляхом використання енергії лише в потрібній кількості, місці та лише в той час, коли вона потрібна; (3) шляхом здійснення правильного контролю функціонального рівня системи для правильного застосування в потрібному місці.

В [8] проведено аналіз переваг та ризиків технологій розумного будинку з різних точок зору. Основними ризиками визначено необхідність поступитися автономністю та незалежністю в будинку за умов посилення технологічного контролю. Іншим ризиком є недостатня увага розробників в галузі технологій розумного будинку до заходів з підвищення рівня довіри споживачів до безпеки та конфіденційності даних. Правильна політика керування ризиками може відіграти важливу роль у пом'якшенні цих ризиків та підтримці потенціалу підвищення енергоефективності в галузі технологій розумного будинку. Заходи політики щодо підтримки розвитку ринку технологій розумного будинку включають стандарти проектування та експлуатації, вказівки щодо даних та їх конфіденційності, контроль якості та регіональні дослідницькі програми.

В [9] розглянуто вимоги до енергетичних показників та проблеми модернізації розумного будинку в умовах європейського холодного клімату. Зазначено, що у європейському секторі житлових будинків енергоспоживання систем опалення та охолодження займає близько 80% від загального споживання. Також обговорюються заходи щодо зниження, контролю та моніторингу енергоспоживання в будинку. В роботі розглянуто різні підходи до інтелектуального управління системами будинку, а також проаналізовано, як управління та автоматизація системи управління будинком можуть зменшити споживання енергії будівлі. Одним з підходів для підвищення продуктивності системи управління будинком та зменшення енергоспоживання є контроль з прямим зв'язком (feed-forward control) [9]. Така система безпосередньо компенсує фактори завад, такі як зовнішня температура, вітер, сонячне випромінювання, внутрішній приріст тепла, шляхом виміру коефіцієнтів завад в режимі реального часу для здійснення відповідних заходів на основі відомих параметрів. Іншим підходом є предиктивне керування на основі моделей (model-based predictive control – MPC) [9] – це структурований підхід, який прогнозує майбутню поведінку системи на основі моделей і відповідно коригує систему. Така система добре підходить для оптимізації, наприклад, для збалансування витрат та енергоефективності шляхом мінімізації пікових навантажень тощо. Недоліком MPC є складність моделювання, збору, обробки та моніторингу даних, що робить застосування підходу нерентабельним для житлових приміщень та невеликих комерційних будівель.

Управління на основі нечіткої логіки не потребує складної математичної моделі для управління системою і може базуватися безпосередньо на якісному досвіді користувача. Недоліком підходу є складність визначення оптимальних правил та функцій приналежності для таких систем [9]. Іншим відомим підходом для побудови систем управління будинку є штучні нейронні мережі (artificial neural networks, ANN), які широко застосовуються для моделювання і прогнозування використання енергії в будівлях. Штучні

нейронні мережі здатні моделювати нелінійні процеси, постійно пристосовуватися до нових даних та вчитися на основі цих даних з метою вирішення складних задач [9]. Також відомі гібридні підходи, засновані на використанні нечіткої логіки та штучних нейронних мереж, які поєднують переваги обох підходів – наслідування людській логіці та здатність до навчання. Адаптивні нейронечіткі системи (adaptive neuro-fuzzy – ANF) реалізують алгоритми навчання нейронної мережі для налаштування функцій приналежності в нечіткій системі. В системі управління на основі агентів, які є віртуальними або фізичними модулями, агенти співпрацюють з навколишнім середовищем шляхом сприймання та впливу на параметри за допомогою штучного інтелекту [9]. Такі системи здатні знаходити компроміс між споживанням енергії, витратами і комфортом шляхом вимірювань та взаємодії з середовищем і контролювання систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря та електричних приладів. Мультиагентні системи спроможні вирішувати складні задачі шляхом навчання за шаблонами та реагувати на зміни у приміщенні в режимі реального часу.

Зазначено, що найважливішими завданнями системи управління є мінімізація показників [9]: (1) вплив завад на вихідну змінну; (2) відхилення (похибка) між вихідною змінною і опорною змінною (задана точка); (3) час реакції, коли виявлена помилка. Зазвичай системи управління потребують налаштування для забезпечення оптимальної продуктивності, що може потребувати витрат часу, проте адаптивні контролери мають можливість постійно самоналаштовуватися, пристосовуючись до різних умов у будівлях.

В дослідженні [10] проведено аналіз відомих систем управління енергією будинку з метою виявлення ключових відмінностей щодо їх функціональності та якості. Визначено можливості для енергозбереження (як поведінкового, так і експлуатаційного), проте зазначено, що у багатьох випадках потенційні переваги, пов'язані із зручністю, комфортом чи безпекою, можуть обмежувати реалізацію сценаріїв заощадження енергії. Це пов'язано з нестачею інформації, що стосується енергозбереження, яка надається користувачам, а також недостатнім розумінням способів взаємодії користувачів з додатковою інформацією та наданою їм можливістю контролю.

В роботі [11] представлено систему для управління енергоспоживанням (Energy Management System – EMS) для розумного будинку. В запропонованій системі кожен домашній пристрій поєднується з модулем збору даних, що представляє собою об’єкт IoT з унікальною IP-адресою, і всі пристрої утворюють велику бездротову мережу. Модуль збору даних (System on Chip – SoC) збирає дані про споживання енергії з кожного пристрою, з кожного розумного будинку, з усіх житлових районів, та передає дані на централізований сервер для подальшої обробки та аналізу. Ця інформація накопичується на сервері як великі дані (Big Data). Для управління споживанням енергії та задоволення попиту споживачів EMS використовує пакети програмного забезпечення Business Intelligence (BI) та Big Data analytics. В якості тестового обладнання для експериментального дослідження роботи запропонованої системи було використано прилади для опалення, вентиляції та кондиціонування.

В [12] запропоновано енергоефективну мультисенсорну кібер-фізичну систему розумного будинку для людей похилого віку, яка використовує потенціал хмарних обчислень та технологій великих даних. Зважаючи на те, що літній людині може знадобитися допомога у виконанні складних дій з підтримання енергоефективності, розроблено програмне забезпечення розумного мультимедійного помічника, що дозволяє людині спостерігати за різними енергоефективними процесами, керувати розумними побутовими приладами за допомогою жестів, отримувати сповіщення щодо статусів пристрою тощо. Для обробки даних на сервері вилучаються низькорозмірні ознаки, доступні з давачів та мультимедіа. Для сприяння прийняттю рішень також на сервері автоматично класифікуються події. З метою заощадження енергії розроблено автоматичну систему управління увімкненням / вимкненням за допомогою мови або жестів. В якості команд управління використовуються ключові слова, які вилучаються безпосередньо з мови. Експериментальні результати показують обнадійливий потенціал для розгортання запропонованого фреймворку у великих масштабах.

Підвищення ефективності споживання енергії, як правило, впливає на рівень комфорту користувача. В [13] представлено адаптивно-інтелектуальний інструмент управління енергією (Adaptive-Smart Energy Management Tool, A-SEM) для збалансування рівня комфорту та ефективності споживання енергії. Підхід використовує алгоритм адаптивного обмеження енергії, який побудований на основі визначення середньодобового споживання енергії за 30 днів. На споживання енергії впливає поведінка користувача, яка контролюється системою. Система використовує різні давачі для контролю споживання енергії та розпізнає поведінку користувача, щоб адаптувати обмеження для забезпечення комфорту. Користувач розумного будинку може встановити свій щомісячний бюджет споживання енергії, який впливає на початковий рівень щоденного обмеження енергії. A-SEM здійснює моніторинг та контроль у режимі реального часу, головним чином враховуючи показники, оцінені на етапі тестування.

Обмеження споживання енергії розраховується за формулою:

$$EL_n = \frac{(EL_{n-1} \times n) + EC_{n-1}}{m}, \quad (1)$$

де EL_n – обмеження енергії в день n;

EL_{n-1} – обмеження енергії в день n – 1;

EC_{n-1} – споживання енергії в день n – 1;

n – кількість днів;

$m = n + 1$ – з максимальним значенням n, рівним 30.

Оцінки енергозбереження, рівня комфорту та ефективності обчислюються за наступними формулами відповідно:

$$Energy\ saving\ (\%) = \left(1 - \frac{\sum_1^{30} Em}{\sum_1^{30} En}\right) \times 100\%,\ Comfort\ level = \frac{\sum_1^{30} Em - \sum_1^{30} EL}{\sum_1^{30} En - \sum_1^{30} EL},\ Efficiency\ level = \frac{\sum_1^{30} En - \sum_1^{30} Em}{\sum_1^{30} En - \sum_1^{30} EL}. \quad (2)$$

Проведені експерименти показали, що алгоритм обмеження споживання енергії «адаптивного граничного рівня» успішно врівноважує рівень комфорту та енергоефективності, що відповідає належному рівню комфорту користувача, а також досягає певного заощадження енергії. Застосування підходу надає можливість забезпечити заощадження енергії на рівні 2,62 %, що може збільшуватися або зменшуватися в залежності від поведінки користувача.

В [14] представлено систему IntelliHome, яка спрямована на зниження споживання електричної енергії в розумному будинку. З цією метою система використовує технології аналізу великих даних, методи машинного навчання та статистики, щоб надати користувачам корисну інформацію про їх звички споживання електроенергії та активно залучити їх до процесу енергозбереження за допомогою інформації, що надається в режимі реального часу, та рекомендацій щодо енергозбереження.

На сьогоднішній день має місце нестача операційних систем, які б надавали можливість інтеграції пристроїв, що складають середовище розумного будинку. Проблема пов'язана з тим, що розумні пристрої засновані на модулях самообслуговування та використовують незалежні IoT платформи, розроблені різними виробниками. Це призводить до необхідності керування кожним приладом окремо, що знижує енергоефективність будинку та збільшує кількість трафіку в мережі. Для вирішення цієї проблеми в [15] запропоновано інтегровану систему управління, яка поєднує IoT пристрої в єдину систему. Для ефективного управління розроблено три інтелектуальні моделі в якості сервісів додатку IoT платформи для розумного будинку: (1) інтелектуальне врахування особливостей задачі (intelligence awareness target, IAT), що слугує для збору даних з середовища та використовує інтелектуальне навчання для набуття ситуаційної обізнаності про значення даних, генерованих сенсорами; (2) інтелектуальна енергоефективність (intelligence energy efficiency, IE^2S), що виконує роль сервера і заснована на платформі з відкритим кодом Mobius та відкритій програмній бібліотеці для машинного навчання TensorFlow для обробки даних, зібраних IAT, а також аналізу шаблонів з метою автоматичного надання послуг; (3) інтелектуальний сервіс TAS (IST), який слугує для контролю та управління на етапі обслуговування користувача. Ці три інтелектуальні моделі дозволяють взаємодіяти пристроям IoT у розумному будинку і вирішувати проблеми перевантаженості мережі та втрат енергії за рахунок скорочення непотрібних задач та використання енергії шляхом керування задачами за відповідними шаблонами.

В [16] пропонується гібридна інтелектуальна система, яка використовує туманні обчислення для досягнення енергоефективності в розумному будинку. Гібридна архітектура системи поєднує інтелект реагування для швидкої адаптації до середовища, що постійно змінюється, та деліберативний інтелект для виконання комплексного навчання та оптимізації. Така архітектура надає можливість системі бути адаптивною, реагуючи в режимі реального часу на відповідні події, що відбуваються в навколишньому середовищі, і в той же час постійно вдосконалювати свою ефективність, вивчаючи потреби користувачів. Результати експериментів показують, що система забезпечує значне заощадження енергії при управлінні розумним середовищем, одночасно задовольняючи потреби та вподобання користувачів. Баланс між виконанням переваг користувача та заощадженням енергії встановлюється відповідно до рівняння:

$$F = \alpha \times energy_saving + (1-\alpha) \times user_satisfaction, \quad (3)$$

де $energy_saving \in [0,1]$ – інтервал, визначений як нормалізована різниця між верхньою межею допустимого споживання енергії та поточним витрачанням енергії. Якщо значення α близьке до 0, то система надає пріоритет перевагам користувача; якщо значення α близьке до 1, то збільшується важливість заощадження енергії. Основними недоліками системи є: непридатність для керування сценаріями, розрахованими на багатьох користувачів, а також у випадках, коли сценарії різних користувачів можуть впливати один на одного; протиріччя індивідуальних потреб користувача; необхідність збору вихідних даних для налаштування нечітких контролерів для визначення нечітких функцій приналежності інтелекту реагування.

В [17] запропоновано комплексний підхід, який полягає у побудові частково-цілочисельної моделі квадратичного програмування для схеми керування з прогнозуванням, заснованої на температурній моделі

будівлі та системі управління енергією будівлі. Ключовим аспектом запропонованої моделі прогнозуючого контролера є обчислення оптимальних рішень під час опрацювання неперервних двійкових обмежень, а також змінних та врахування як теплової, так і електричної складової розумного будинку. Система включає також прогнозування завад, функцій будівлі та індивідуальних ваг користувачів, причому прогнозування функцій будівлі базується на неконтрольованому методі. Система надає можливість здійснювати управління такими приладами як опалення, акумулятор, морозильна камера, посудомийна машина, фотоелектричні системи, а також здійснювати покупки та продажі через розумну мережу. Оптимальне використання теплоємності будівлі допомагає мінімізувати необхідну ємність акумулятора.

В [18] представлена система HEMS-IoT для управління енергією розумного будинку з метою забезпечення домашнього комфорту, безпеки та збереження енергії, заснована на великих даних та машинному навчанні. Система використовує алгоритм машинного навчання J48 та API Weka для вивчення поведінки користувачів та моделей споживання енергії, а також класифікації будинків відповідно до споживання енергії. Для створення енергозберігаючих рекомендацій і одночасного збереження комфорту та безпеки розумного будинку, заснованих на вподобаннях користувачів, використовуються RuleML та Apache Mahout.

Висновки. В роботі проведено огляд сучасних методів забезпечення енергоефективності та енергозбереження в системі розумного будинку. Огляд літератури показав, що проблема енергоефективності та енергозбереження є надзвичайно актуальною. Відомі підходи, спрямовані на вирішення цієї проблеми, мають ряд недоліків та обмежень, такі як: складність моделювання, збору, обробки та моніторингу даних; складність визначення оптимальних правил та функцій приналежності; потреба в попередньому налаштуванні, що може вимагати значних витрат часу; необхідність поступитися автономністю, незалежністю та комфортом умов проживання за умов посилення технологічного контролю; потенційні переваги, пов'язані із зручністю, комфортом чи безпекою, можуть обмежувати реалізацію сценаріїв заощадження енергії; протиріччя індивідуальних потреб користувача. Отже, можна зробити висновок, що існує необхідність у розробленні нових методів забезпечення енергоефективності та енергозбереження в системі розумного будинку, які б усували недоліки відомих підходів.

Література

1. Національна енергетична компанія «Укренерго». Аналіз законодавства провідних зарубіжних країн та України щодо ефективного використання енергетичних ресурсів – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/1.-Efektyvne-vykorystannya-energoresursiv.pdf. – 2.07.2020 р.
2. U.S. Energy Information Administration (EIA). International Energy Outlook 2019 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.eia.gov/outlooks/ieo/. – 2.07.2020 р.
3. Верховна Рада України. Законодавство України. Про енергозбереження. Закон України [Документ 74/94-ВР, чинний, поточна редакція – Редакція від 23.07.2017, підстава - 2095-VIII]. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://zakon.rada./gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text. – 2.07.2020 р.
4. Верховна Рада України. Законодавство України. Про енергетичну ефективність будівель. Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII [Чинний, поточна редакція — Прийняття від 22.06.2017]. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text. – 2.07.2020 р.
5. Енергоефективність будівель – Вплив автоматизації, моніторингу та управління будівлями (EN 15232:2007, IDT) : ДСТУ Б EN 15232:2011. – [Чинний з 2012-04-01]. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 115 с. –(Національний стандарт України).
6. Cook, D. J. How smart is your home? – Science.– 2012. – Vol. 335, Issue 6076. – pp. 1579-1581.
7. Fabi, V. Insights on smart home concept and occupants' interaction with building controls / V. Fabi, G. Spigliantini, S. P. Corgnati // Energy Procedia. – 2017. – Vol. 111. – pp. 759-769.
8. Wilson, C. Benefits and risks of smart home technologies / C. Wilson, T. Hargreaves, R. Hauxwell-Baldwin // Energy Policy. – 2017. – Vol. 103. – pp. 72-83.
9. Felius, L. C. Retrofitting towards energy-efficient homes in European cold climates: a review / L. C. Felius, F. Dessen, B. D. Hrynyszyn // Energy Efficiency. – 2020. – Vol. 13, Issue 1. – pp. 101-125.
10. Ford, R. Categories and functionality of smart home technology for energy management / R. Ford, M. Pritoni, A. Sanguinetti, B. Karlin // Building and environment. – 2017. – Vol.123. – pp. 543-554.
11. Al-Ali, A. R. A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach / A. R. Al-Ali, I. A. Zualkernan, M. Rashid, R. Gupta, M. Alikarar // IEEE Transactions on Consumer Electronics. – 2017. – Vol. 63, Issue 4. – pp. 426-434.
12. Hossain, M. S. Cyber–physical cloud-oriented multi-sensory smart home framework for elderly people: An energy efficiency perspective / M. S. Hossain, M. A. Rahman, G. Muhammad // Journal of Parallel and Distributed Computing. – 2017. – Vol. 103. – pp. 11-21.
13. Isnen, M. A-SEM: An adaptive smart energy management testbed for shiftable loads optimisation in the smart home / M. Isnen, S. Kurniawan, E. Garcia-Palacios // Measurement. – 2020. – Vol. 152, 107285.
14. Paredes-Valverde, M. A. IntelliHome: An internet of things-based system for electrical energy saving in smart home environment / M. A. Paredes-Valverde, G. Alor-Hernández, J. L. García-Alcaráz, M. D. P. Salas-Zárate, L. O. Colombo-Mendoza, J. L. Sánchez-Cervantes // Computational Intelligence. – 2020. – Vol. 36, Issue 1. – pp. 203-224.
15. Jo, H. Intelligent smart home energy efficiency model using artificial TensorFlow engine / H. Jo, Y. I. Yoon // Human-centric Computing and Information Sciences. – 2018 – Vol. 8, Issue 1. – pp. 1-18.
16. De Paola, A. A fog-based hybrid intelligent system for energy saving in smart buildings / A. De Paola, P. Ferraro, G. L. Re, M. Morana, M. Ortolani // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2020. – Vol. 11, Issue 7. – pp. 2793-2807.
17. Killian, M. Comprehensive smart home energy management system using mixed-integer quadratic-programming / M. Killian, M. Zauner, M. Kozek // Applied energy. – 2018. – Vol. 222 . – pp. 662-672.
18. Machorro-Cano, I. HEMS-IoT: A Big Data and Machine Learning-Based Smart Home System for Energy Saving / I. Machorro-Cano, G. Alor-Hernández, M. A. Paredes-Valverde, L. Rodríguez-Mazahua, J. L. Sánchez-Cervantes, J. O. Olmedo-Aguirre // Energies. – 2020. – Vol. 13, Issue 5. – pp. 1097.

References

1. Nacionalna energetichna kompaniya «Ukrenergo». Analiz zakonodavstva providnih zarubizhnih krayin ta Ukrayini shodo efektivnogo vikoristannya energetichnih resursiv – [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/1.-Efektyvne-vykorystannya-energoresursiv.pdf. – 2.07.2020 r.
2. U.S. Energy Information Administration (EIA). International Energy Outlook 2019 – [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: https://www.eia.gov/outlooks/ieo/. – 2.07.2020 r.
3. Verhovna Rada Ukrayini. Zakonodavstvo Ukrayini. Pro energozberezhennya. Zakon Ukrayini [Dokument 74/94-VR, chinnij, potochna redakciya – Redakciya vid 23.07.2017, pidstava - 2095-VIII]. – [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text. – 2.07.2020 r.
4. Verhovna Rada Ukrayini. Zakonodavstvo Ukrayini. Pro energetichnu efektivnist budivel. Zakon Ukrayini vid 22.06.2017 № 2118-VIII [Chinnij, potochna redakciya — Prijnyattya vid 22.06.2017]. – [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text. – 2.07.2020 r.
5. Energoefektivnist budivel – Vpliv avtomatizaciyi, monitoringu ta upravlinnya budivlyami (EN 15232:2007, IDT) : DSTU B EN 15232:2011. – [Chinnij z 2012-04-01]. – K.: Minregion Ukrayini, 2012. – 115 s. –(Nacionalnij standart Ukrayini).
6. Cook, D. J. How smart is your home? – Science.– 2012. – Vol. 335, Issue 6076. – pp. 1579-1581.
7. Fabi, V. Insights on smart home concept and occupants' interaction with building controls / V. Fabi, G. Spigliantini, S. P. Corgnati // Energy Procedia. – 2017. – Vol. 111. – pp. 759-769.
8. Wilson, C. Benefits and risks of smart home technologies / C. Wilson, T. Hargreaves, R. Hauxwell-Baldwin // Energy Policy. – 2017. – Vol. 103. – pp. 72-83.
9. Felius, L. C. Retrofitting towards energy-efficient homes in European cold climates: a review / L. C. Felius, F. Dessen, B. D. Hrynyszyn // Energy Efficiency. – 2020. – Vol. 13, Issue 1. – pp. 101-125.
10. Ford, R. Categories and functionality of smart home technology for energy management / R. Ford, M. Pritoni, A. Sanguinetti, B. Karlin // Building and environment. – 2017. – Vol.123. – pp. 543-554.
11. Al-Ali, A. R. A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach / A. R. Al-Ali, I. A. Zualkernan, M. Rashid, R. Gupta, M. Alikarar // IEEE Transactions on Consumer Electronics. – 2017. – Vol. 63, Issue 4. – pp. 426-434.
12. Hossain, M. S. Cyber–physical cloud-oriented multi-sensory smart home framework for elderly people: An energy efficiency perspective / M. S. Hossain, M. A. Rahman, G. Muhammad // Journal of Parallel and Distributed Computing. – 2017. – Vol. 103. – pp. 11-21.
13. Isnen, M. A-SEM: An adaptive smart energy management testbed for shiftable loads optimisation in the smart home / M. Isnen, S. Kurniawan, E. Garcia-Palacios // Measurement. – 2020. – Vol. 152, 107285.
14. Paredes-Valverde, M. A. IntelliHome: An internet of things-based system for electrical energy saving in smart home environment / M. A. Paredes-Valverde, G. Alor-Hernandez, J. L. Garcia-Alcaraz, M. D. P. Salas-Zarate, L. O. Colombo-Mendoza, J. L. Sanchez-Cervantes // Computational Intelligence. – 2020. – Vol. 36, Issue 1. – pp. 203-224.
15. Jo, H. Intelligent smart home energy efficiency model using artificial TensorFlow engine / H. Jo, Y. I. Yoon // Human-centric Computing and Information Sciences. – 2018 – Vol. 8, Issue 1. – pp. 1-18.
16. De Paola, A. A fog-based hybrid intelligent system for energy saving in smart buildings / A. De Paola, P. Ferraro, G. L. Re, M. Morana, M. Ortolani // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2020. – Vol. 11, Issue 7. – pp. 2793-2807.
17. Killian, M. Comprehensive smart home energy management system using mixed-integer quadratic-programming / M. Killian, M. Zauner, M. Kozek // Applied energy. – 2018. – Vol. 222 . – pp. 662-672.
18. Machorro-Cano, I. HEMS-IoT: A Big Data and Machine Learning-Based Smart Home System for Energy Saving / I. Machorro-Cano, G. Alor-Hernandez, M. A. Paredes-Valverde, L. Rodriguez-Mazahua, J. L. Sanchez-Cervantes, J. O. Olmedo-Aguirre // Energies. – 2020. – Vol. 13, Issue 5. – pp. 1097.

Надійшла / Paper received: 10.08.2020
Надрукована / Paper Printed : 02.09.2020