

УДК 681.5

DOI 10.31471/1993-9981-2022-2(49)-46-57

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ДЛЯ БУДІВЛІ УНІВЕРСИТЕТУ

*А. В. Яворський¹, В. С. Цих^{*1}, М. О. Карнаш², Л. Я. Жовтуля²*

*¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,
м. Івано-Франківськ, Україна 76019, e-mail: vitalii.tsykh@nung.edu.ua*

*²Університет Короля Данила, вул. Є. Коновальця, 35, м. Івано-Франківськ, Україна 76018, e-mail:
university@ukd.edu.ua*

В статті наведена та обґрунтована важлива проблема сьогодення, яка полягає в нестачі електричної енергії для забезпечення потреб споживачів, а також неможливості чіткого детального обліку використання енергетичних ресурсів окремими будівлями за потрібний період – місяць, тиждень, добу чи годину. Описані недоліки існуючих підходів до обліку споживання, які полягають в помісячному зборі інформації без прив'язки до зовнішньої температури, та до внутрішніх параметрів мікроклімату. Сформульована актуальність публікації, яка пов'язана із необхідністю розроблення автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи моніторингу та управління енергозабезпеченням, яка дозволить реалізувати визначення, збір та зберігання, а також можливість аналізу годинних та добових показників енергоспоживання різними об'єктами чи обладнанням за видами ресурсів, фіксацію параметрів внутрішнього мікроклімату в приміщеннях, а також здійснювати оперативне управління функціонуванням системи енергозабезпечення. Обрано основні складові та запропоновано структурну схему такої інформаційно-вимірювальної системи, яка в результаті була реалізована в частині будівлі університету та загалом 10 навчальних аудиторій. Реалізована система дозволяє отримати інформацію щодо споживання теплової, електричної енергії, води в конкретних приміщеннях, а також отримати онлайн-інформацію щодо параметрів мікроклімату в них, а саме – температура, вологість та вміст вуглекислого газу в повітрі. Додатково в системі реалізована метеостанція, яка дозволяє фіксувати параметри зовнішнього середовища: температура, атмосферний тиск, вологість та радіаційний фон. Уся інформація із відповідних давачів через Wi-Fi мережу передається в хмарне сховище, з якого можна отримати як історію даних, так і реальні онлайн-значення із під'єднаних до системи приміщень університету. Розроблена інформаційно-вимірювальна система володіє достатньою точністю за кожним із вимірювальних каналів та в перспективі дозволить реалізувати її в усьому університеті та отримувати необхідну інформацію щодо енергетичного споживання з метою подальшого впровадження максимально оптимальних енергоефективних заходів.

Ключові слова: структурна схема, енергетичний моніторинг, кафедра університету, показники мікроклімату, споживання енергії.

The article presents and substantiates an extremely important problem of today, which consists in the lack of electrical energy to meet the needs of consumers, as well as the impossibility of clear and detailed accounting of the use of energy resources by individual buildings for the required period - a month, a week, a day or an hour. The shortcomings of existing approaches to accounting for consumption are described, which consist in the monthly collection of information without reference to both the external temperature and the internal parameters of the microclimate. The relevance of the publication is formulated, which is related to the need to develop an automated information and measurement system for monitoring and managing energy supply, which will allow to implement the definition, collection and storage, as well as the possibility of analyzing hourly and daily indicators of energy consumption by various objects or equipment by types of resources, recording parameters of the internal microclimate in the premises, as well as to carry out operational management of the functioning of the energy supply system. The main components were selected and a structural diagram of such an information and measurement system was proposed, which was eventually implemented in a part of the university building and which covers a total of 10 classrooms. The implemented system allows you to get information about the consumption of heat, electricity, and water in specific rooms, as well as get online information about the parameters of the microclimate in them, namely, temperature, humidity, and carbon dioxide content in the air. In addition, the system implements a weather station that allows you to record the parameters of the external environment: temperature, atmospheric pressure, humidity and

radiation background. All information from the respective sensors is transmitted via Wi-Fi to the cloud storage, from which both the data history and the real online values from the university premises connected to the system can be obtained. The developed information and measurement system have sufficient accuracy for each of the measurement channels and in the future will allow to implement it as a whole in the university and obtain the necessary information on energy consumption in order to further implement the most optimal energy-efficient measures.

Key words: structural diagram, energy monitoring, university department, microclimate indicators, energy consumption.

Вступ

В умовах воєнного часу Україна стикнулася із надзвичайно важливою проблемою, а саме нестачею генерованої електричної енергії для забезпечення потреб усіх споживачів у зв'язку із руйнуванням енергетичної інфраструктури росією. Щоденні вимкнення електричної енергії найбільш суттєво відчуваються в опалювальний період, оскільки значна частина теплової енергії отримується з використанням електричної. Особливо актуальним таке питання постає для громадських організацій, функціонування яких без наявної електричної енергії, зазвичай, є практично неможливим.

Безперервний моніторинг споживання тепла, електричної енергії та води в громадських будівлях є основою для ефективного управління енергозабезпеченням та енергоспоживанням. У реальних умовах експлуатації будівель визначення їх поточного енергоспоживання за різними видами енергоресурсів проводиться за рахунок використання пристроїв обліку – лічильників тепла, електроенергії та води. Станом на сьогодні в системі енергозабезпечення відсутня детальна інформація щодо реального енергоспоживання окремими населеними пунктами чи навіть окремими споживачами. Існуюча практика оперує лише місячними показами енергоспоживання будівель, що надзвичайно утруднює процес оперативного аналізу та, відповідно, ускладнює процес прийняття рішень щодо зменшення енергоспоживання при дотриманні нормативних умов мікроклімату у приміщеннях будівель. Крім того, наявні системи обліку витрати енергетичних ресурсів у організаціях чи на підприємствах дають можливість зрозуміти виключно загальні обсяги споживання різних видів енергії впродовж встановленого проміжку часу, тоді як інформація щодо подинного чи погодинного споживання їх окремих структурних частин є недоступною.

Наявність інформації щодо погодинного споживання енергії окремими споживачами та конкретними об'єктами в будівлях дозволять зрозуміти реальні потреби в енергії, а також планувати відповідний розподіл енергопостачальними організаціями. Така інформація також сприятиме пошуку шляхів щодо підвищення енергетичної ефективності саме в тих місцях, де наявне високе споживання енергетичних ресурсів.

Тому, **мета роботи** полягає у розробленні спеціалізованої інформаційно-виміральної системи моніторингу споживання енергетичних ресурсів, пілотна версія якої буде реалізована в будівлі університету.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Правовою основою, в якій наведені основні принципи енергоефективності та основи енергетичного моніторингу є недавно прийнятий Закон України «Про енергетичну ефективність» [1]. В статті 3 даного Закону наведений перелік, який відображає основну державну політику в сфері забезпечення енергоефективності. В цьому переліку присутня така складова, як «популяризація та використання вискоелективних технологій, систем енергетичного менеджменту, систем моніторингу споживання енергії».

Енергетичний моніторинг – це комплекс заходів, спрямований на отримання даних про енергоспоживання об'єкту та їх обробку, для виявлення випадків відхилення енергоспоживання від базової лінії. Проведення енергомоніторингу дає змогу виключити перевитрати паливно-енергетичних ресурсів, які можуть бути пов'язані з аваріями або невірним налаштуванням обладнання. По суті, енергетичний моніторинг – це інструмент управління, націлений на постійне підтримання енергоспоживання на відповідному рівні [2].

Основними об'єктами, для яких дане питання є найбільш актуальним, є будівлі, оскільки на них припадає близько 40% світового

споживання енергії [3]. Витрати енергії для будівель в Україні є у 2–3 рази вищими, ніж подібні витрати в країнах ЄС. Практично 90% будівель України не відповідають сучасним вимогам енергоефективності, що призводить до перевитрат енергії на опалення та недотримання вимог по мікроклімату приміщень [4]. Ці будівлі включають в себе значну кількість громадських будівель – від дитячих садків та шкіл, і до університетських, адміністративних будівель та закладів охорони здоров'я і культури. Відповідно, на утримання цих будівель в Україні витрачається значна частина коштів з місцевого та державного бюджетів [5].

На даний час в світі присутні багато рішень для енергетичного моніторингу будівель [6-10]. Проте саме для громадських будівель, враховуючі значні площі і велику кількість точок вимірювання енергетичних параметрів і параметрів мікроклімату, важливою є простота і вартість побудови інформаційно-вимірювальної системи (ІВС), інтеграція з існуючими засобами обліку, гнучкість і доступність у налаштуванні візуалізації та зберігання отриманих даних, що не потребують спеціалізованих навичок.

Наявні в Україні підходи насамперед пов'язані з впровадженням систем енергетичного менеджменту із використанням інформації щодо споживання енергетичних ресурсів, однак в більшій мірі із ручним збором інформації щодо споживання та без можливості оперування погодинною чи подовою витратою [4,11,12].

Формулювання цілей статті

Таким чином, актуальним завданням є розроблення автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи моніторингу та управління енергозабезпеченням, що має реалізовувати завдання визначення годинних та добових показників енергоспоживання різними муніципальними будівлями за різними видами енергоресурсів з фіксацією параметрів внутрішнього мікроклімату, а також здійснювати управління функціонуванням системи енергозабезпечення на основі оперативного прийнятих рішень.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

В розробленій ще в 2015 році «Методиці моніторингу енергоефективності будівель» [2] наведені основні вимоги щодо системи

моніторингу. Основною її складовою повинна бути інформаційно-вимірювальна система, яка забезпечуватиме облік паливно-енергетичних ресурсів, на основі чого буде можливість проводити наступне [2]:

- формувати енергетичні баланси різного профілю за будь-який період, що цікавить;
- визначати залежності енергоспоживання від визначальних факторів;
- проводити аналіз ефективності використання енергії.

Основним інструментом системи енергетичного моніторингу є діаграма «Енергія-Температура» (ЕТ-діаграма), яка дозволяє отримати інформацію щодо споживання енергії за різних температурних умов у приміщенні. На горизонтальній осі відкладається «середня зовнішня температура» (°C) за добу/тиждень, а вертикальна вісь показує «споживання енергії» на одиницю опалювальної площі за ту саму добу/тиждень ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$). ЕТ-діаграма включає покази вимірів спожитої енергії і відповідної зовнішньої температури впродовж деякого проміжку часу. Отримана в результаті вимірів лінія називається «ЕТ-крива» [2] (рисуюнок 1).

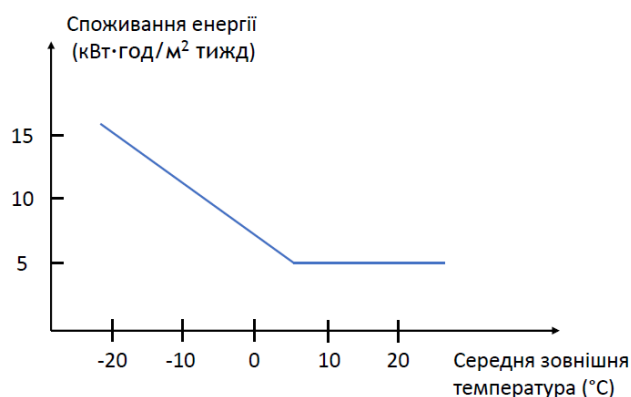


Рисунок 1 – Крива «Енергія-Температура»

На основі наведених вимог в [1, 2] і повинна бути побудована інформаційно-вимірювальна система (ІВС) моніторингу споживання енергії.

Науковцями Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) в рамках міжнародного проєкту «Cross-border Network of Energy Sustainable Universities (NET4SENERGY)» (HUSKROUA/1702/6.1/0075) було проведено

грунтовне дослідження, щодо пошуку найбільш оптимального рішення для побудови ІВС енергетичного моніторингу університетської будівлі, яка має відповідати вище наведеним вимогам [13]. Для побудови системи моніторингу обрано «сма́рт»-пристро́ї енергомонітори українського компанії smart-MAIC [14].

Модельний ряд пристроїв smart-MAIC представлений енергомоніторами для постійного вимірювання параметрів електричної мережі та споживання електроенергії, універсальними імпульсними лічильниками для вимірювання споживання води, газу, тепла і за допомогою відповідних давачів вимірювання температури, вологості, тиску, концентрації вуглекислого газу в повітрі, швидкості та напрямку вітру та інших параметрів.

Пристрої smart-MAIC легко встановлюються і приєднуються. Всі пристрої виконані в універсальному корпусі з можливістю монтажу на DIN-рейку. Після включення пристрій доступний як точка доступу Wi-Fi, початкове налаштування можливе з будь-якого мобільного пристрою і займає лічені хвилини. Спеціальні налаштування для роботи не потрібні, пристрій самостійно приєднується до хмарного сервера даних і забезпечує двонаправлений обмін інформацією. Після встановлення і початкового налаштування пристрій smart-MAIC почне перетворення вимірюваних параметрів в інформацію, яка буде відправлена за допомогою бездротової технології Wi-Fi на хмарний сервер даних. Використання існуючої в громадській будівлі мережі Wi-Fi значно здешевлює встановлення ІВС енергетичного моніторингу, оскільки відпадає потреба у прокладанні кабельних ліній значної довжини. Для аналізу і візуалізації даних використовується універсальний WEB-додаток smart-MAIC Dashboard який є в звичайному інтернет браузері, а також як додаток для платформ Windows, Android і iOS. Всі зібрані дані зберігаються на хмарному сервері з хвилинною деталізацією. Під час роботи в режимі реального часу показання з лічильників оновлюються з інтервалом 5 секунд. Smart-MAIC Dashboard дає можливість контролювати поточні показання і візуалізувати історичні дані отримані з пристроїв smart-MAIC, наприклад, для оптимізації споживання за умови двотарифного

або багатотарифного обліку. Користувачеві доступні гнучке налаштування віджетів індикаторів і графіків, необмежену кількість сторінок і підключених пристроїв до одного облікового запису. Так само поточні дані доступні на WEB сторінці самого пристрою.

Пілотна ІВС енергетичного моніторингу для університетської будівлі з використанням пристроїв smart-MAIC інстальована на базі кафедри «Енергетичного менеджменту і технічної діагностики» (ЕМіТД) ІФНТУНГ. Кафедра ЕМіТД займає третину будівлі навчального корпусу №9 університету і розміщується на двох поверхах будівлі, обладнана різноманітними автоматними системами електричного опалення. Відповідно на основі приміщень кафедри можна повністю відмоделювати ІВС енергетичного моніторингу, яку потім можна буде за аналогією поширювати на інші будівлі як даного університету, так і на громадські будівлі загалом.

Структура пілотної ІВС енергетичного моніторингу для навчальної будівлі університету наведена на рисунку 2. Дана ІВС енергетичного моніторингу дозволяє отримати реальні дані по споживанню електричної та теплової енергії, холодної та гарячої води для університетської будівлі. Окрім того в кожному навчальному приміщенні передбачено моніторинг основних показників мікроклімату – температури і вологості повітря, концентрації вуглекислого газу. Окремою складовою системи моніторингу є метеорологічний модуль, що дозволить відслідковувати температуру і вологість зовнішнього повітря, значення і тренд зміни атмосферного тиску.

Як було зазначено, продуктова лінійка smart-MAIC представлена рішеннями для моніторингу будь-яких подій, станів і процесів – однофазний електrolічильник та трифазний електrolічильник з кільцевими або роз'ємними трансформаторами струму, лічильники імпульсів з давачами температурних режимів і аналоговим входом. Пристрої мають зручне виконання у вигляді корпусу на DIN-рейку відповідно до BS EN 60715:2017 [15], що дозволяє монтувати їх у будь-якому новому або вже змонтованому електрощитку. На рисунку 3 наведено приклад інсталяції сегменту системи енергетичного моніторингу для навчальної аудиторії університету.

В навчальній аудиторії за допомогою системи енергетичного моніторингу відслідковуються параметри мікроклімату в приміщенні (температура, вологість і рівень вуглекислого газу) для цього використовується універсальний лічильник smart-MAIC D105 до якого приєднується датчик температури-вологості і вуглекислого газу. В якості датчиків температури і вологості повітря для приміщень використовуються широко розповсюджені цифрові датчики AM2302 (які дозволяють вимірювати температуру в діапазоні $-40 \dots 80^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ а вологість в діапазоні $0 \dots 99,9\%$ з точністю $\pm 2\%$) [16]. Вимірювання рівня вуглекислого газу в повітрі навчальної аудиторії здійснюється на базі цифрового датчика

MH-Z41A (який дозволяє вимірювати концентрацію вуглекислого газу в діапазоні $0 \dots 5000\text{ppm}$ з точністю $\pm 50\text{ppm}$) [17]. Для визначення рівня споживання електричної енергії в аудиторії (навчальна аудиторія обладнана електричним опаленням) використовується енергомонітор smart-MAIC D103, що забезпечує приєднання до трифазної лінії електропостачання по напрузі і по струму (за допомогою кільцевих трансформаторів струму на номінал 100A). Відносна похибка вимірювання значення струму і напруги за допомогою енергомонітору smart-MAIC D103 складає 1%.

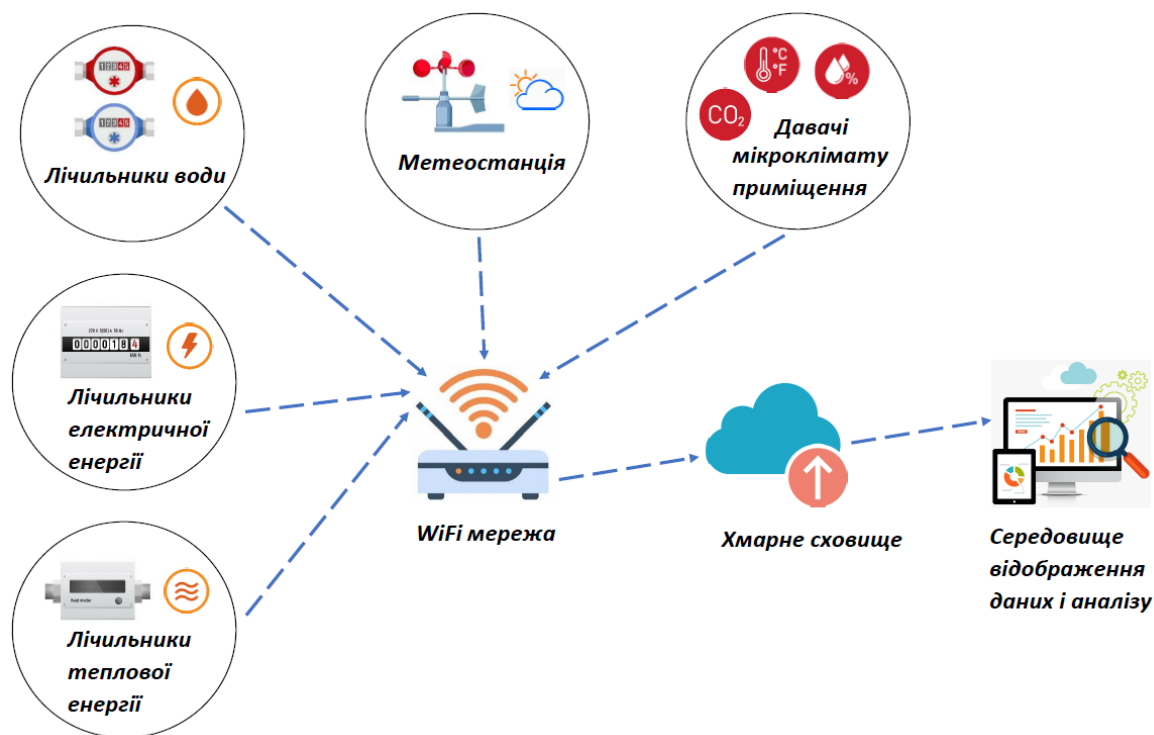
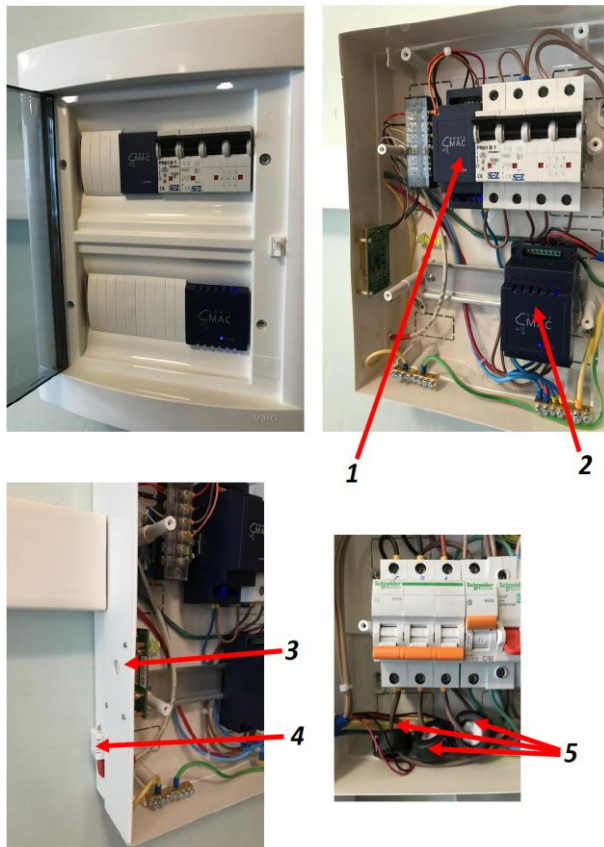


Рисунок 2 – Структура пілотної інформаційно-вимірювальної системи енергетичного моніторингу для навчальної будівлі університету



1 – універсальний лічильник smart-MAIC D105; 2 – енергомонітор smart-MAIC D103; 3 – давач рівня вуглекислого газу; 4 – давач температури і вологості повітря; 5 – трансформатори струму (100А) для енергомонітору smart-MAIC D103

Рисунок 3 – Приклад інсталяції сегменту інформаційно-виміральної системи енергетичного моніторингу для навчальної аудиторії університету:

Дані, які збираються з пристроїв, зберігаються в хмарному сховищі і доступні для перегляду та аналізу в режимі реального часу. Агрегування інформації, щодо конкретної аудиторії чи інших об'єктів моніторингу, її візуалізація та подальший аналіз здійснюється в хмарному WEB-додатку smart-MAIC Dashboard. Користувач сам налаштовує вид віджетів індикаторів, графіків та таблиць для інформаційної панелі. На рисунку 4 наведений приклад інформаційної панелі сегменту системи енергетичного моніторингу для навчальної аудиторії університету.

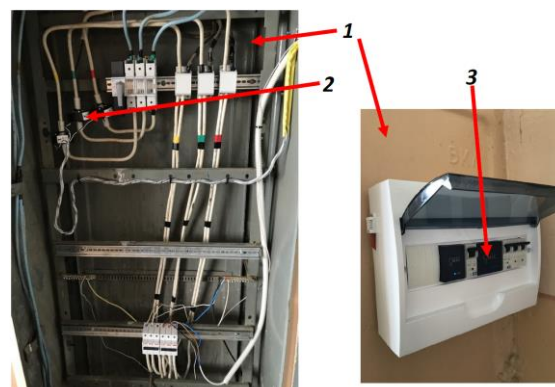
На інформаційну панель (рисунок 4) виводяться поточні значення температури та вологості повітря та концентрації вуглекислого газу в приміщенні, напруги, струму, споживаної

потужності по кожній фазі лінії електропостачання. Важливим для аналізу енергоспоживання, температурної інерції будівлі, ефективності роботи системи опалення кондиціонування та вентиляції є відслідковування зміни контрольованих параметрів в часі. WEB-додаток smart-MAIC Dashboard дає можливість побудови різноманітних графічних залежностей з різною часовою деталізацією (хвилина, година, день, тиждень, місяць, рік) і в з різним типом графічного відображення трендів (лінія, площа, стовпчикова діаграма). Додатково користувач може сконфігурувати виведення необхідних даних у вигляді таблиці, зокрема для деталізації споживання та витрат, задавши відповідно вартість для енергоносія чи гарячої/холодної води, витрата яких відслідковується системою моніторингу. Для подальшого аналізу, до прикладу, в середовищі Excel (як стандартний програмний інструмент для задач енергоменеджменту), дані арегovanі в таблиці експортуються в форматі csv.

Для оцінки споживання електричної енергії усією будівлею чи її частиною теж використовується енергомонітор smart-MAIC D103 з відповідними трансформаторами струму. В лінійці пристроїв smart-MAIC використовуються трансформатори струму від 100А до 2000А, що дозволяє контролювати навантаження в будівлі до 1,5МВт. Приклад інсталяції сегменту системи енергетичного моніторингу для визначення споживання електричної енергії частиною будівлі показано на рисунку 5. В даному випадку моніториться споживання електричної енергії для цілої кафедри, що займає частину будівлі. Відповідно використовується енергомонітор smart-MAIC D103 з накидними кільцевими трансформаторами струму на 300А. Для візуалізації та аналізу даних по споживанню електричною енергією кафедрою формується окрема інформаційна сторінка в хмарному WEB-додатку smart-MAIC Dashboard аналогічна до наведеної на рисунку 4.



Рисунок 4 – Приклад інформаційної панелі сегменту інформаційно-вимірювальної системи енергетичного моніторингу для навчальної аудиторії університету



1 – шафа ввідно-розподільча; 2 – трансформатори струму (300A);
 3 – енергомонітор smart-MAIC D103

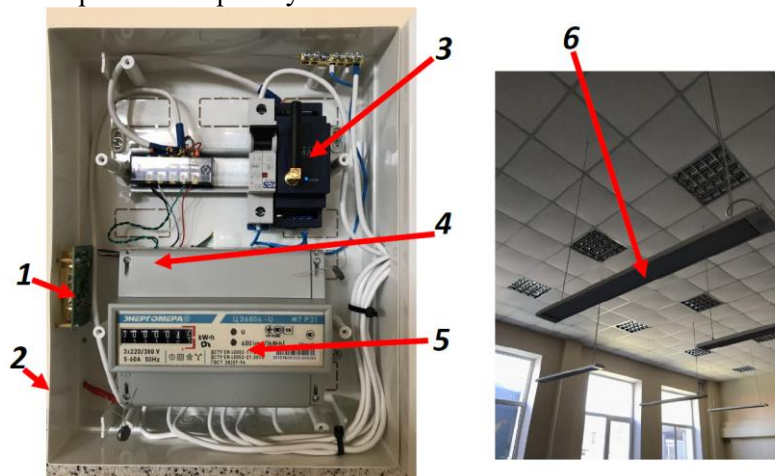
Рисунок 5 – Приклад інсталяції сегменту інформаційно-вимірювальної системи енергетичного моніторингу для визначення споживання електричної енергії частиною будівлі

З метою комплексного вирішення задач енергетичного моніторингу прилади сторонніх виробників теж інтегруються з пристроями smart-MAIC - лічильники води, тепла, палива, давачі до газових лічильників та інші витратоміри з імпульсними виходами. Важливим є те, що такий підхід дозволяє задіяти в систему енергетичного моніторингу прилади обліку, що вже наявні в будівлі або необхідні для технологічного обліку енергоємного обладнання. В цьому випадку використовується універсальний монітор smart-MAIC D105, який обладнаний двома імпульсними входами.

Пос'єднання класичних приладів обліку і елементів ІВС енергетичного моніторингу будівлі показано на рисунку 6. В даному випадку поряд з визначенням параметрів мікроклімату в лекційній аудиторії проводиться моніторинг споживання електричної енергії на потреби системи інфрачервоного опалення. На рисунку 7 показано приклад реалізації моніторингу споживання гарячої води в будівлі і витрати електричної енергії на її приготування.

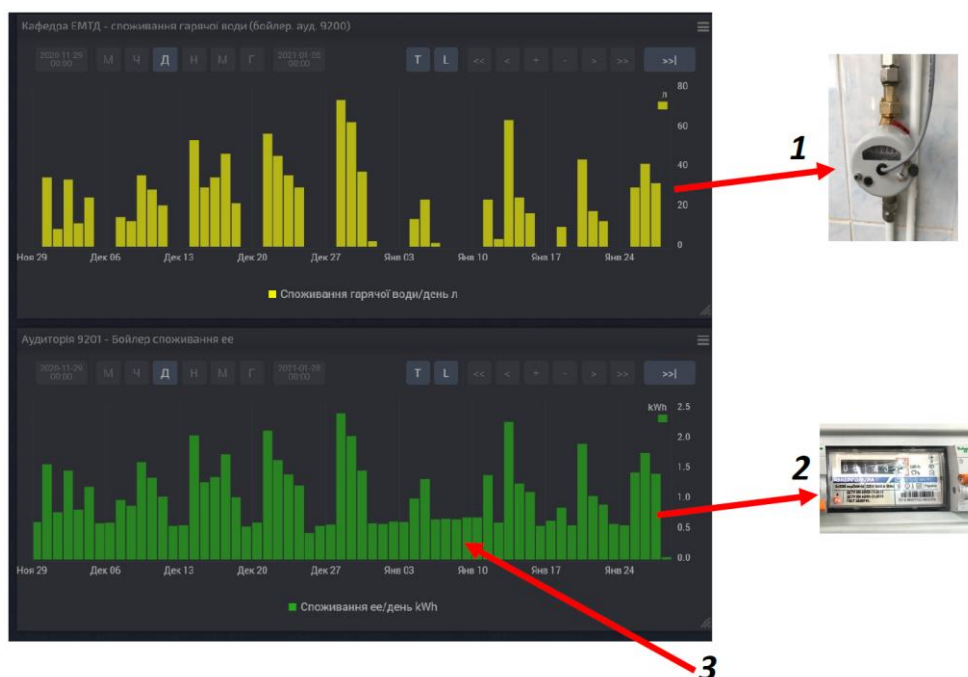
В цьому випадку використовується лічильник гарячої води з імпульсним видом, який змонтований на виході електричного бойлера і класичний електронний лічильник з механічним обліковим пристроєм (через який відбувається електроживлення бойлера), що має телеметричний імпульсний вихід. Відповідно ці лічильники приєднуються до універсального монітора smart-MAIC D105 для передачі даних в систему енергетичного моніторингу будівлі.

Отримані дані по споживанню електричної енергії і витраті гарячої води для електричного бойлера (рисунк 7), чітко показують нераціональне використання електричної енергії в часовий проміжок, коли не відбувається розбір гарячої води в громадській будівлі (вихідні і святкові дні, нічний час). Даний приклад показує, як дані по енергоспоживанню, які накопичуються в системі, дають можливість реально оцінити ефективність використання енергетичних ресурсів для потреб громадської будівлі.



- 1 – давач рівня вуглекислого газу; 2 – давач температури і вологості повітря; 3 – універсальний лічильник smart-MAIC D105; 4 – імпульсний телеметричний вихід електролічильника;
5 – електролічильник технологічного обліку; 6 – інфрачервоні панелі системи електроопалення лекційної аудиторії

Рисунок 6 – Приклад інсталяції сегменту інформаційно-вимірювальної системи енергетичного моніторингу для контролю параметрів мікроклімату і споживання електричної енергії (в пос'єднанні з електролічильником) на потреби електроопалення лекційної аудиторії

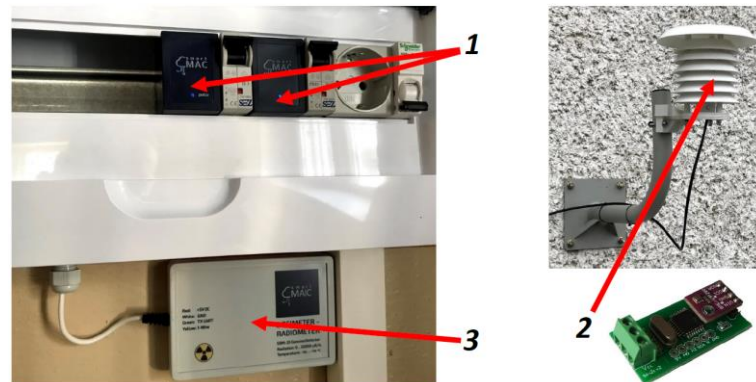


1 – споживання гарячої води (л/день), що визначається за допомогою лічильника з імпульсним виходом; 2 – споживання електричної енергії (кВт·год/день) на підігрів води в бойлері, що визначається за допомогою електрولیчильника з імпульсним виходом; 3 – приклад нераціональної витрати електричної енергії на підігрів води під час вихідних днів

Рисунок 7 – Приклад інсталяції сегменту інформаційно-вимірювальної системи енергетичного моніторингу для контролю споживання гарячої води

Обов'язковим сегментом в ІВС енергетичного моніторингу будівлі має бути метеорологічний модуль для отримання локальних метеоданих. Адже для оцінки енергетичної ефективності будівлі необхідно володіти інформацією щодо споживання теплової енергії або витрати природного газу чи електроенергії, що використовуються на потреби опалення будівлі, в залежності із зовнішньою температурою повітря. На рисунку 8 наведено реалізацію частини метеорологічного модуля системи енергетичного моніторингу будівлі, що призначений для реєстрації температури та вологості зовнішнього повітря і значення атмосферного тиску. В якості первинного перетворювача використовується цифровий датчик температури, вологості і атмосферного

тиску ВМЕ280 [18], який приєднаний до універсального монітора smart-MAIC D105. Даний датчик дозволяє вимірювати температуру в діапазоні $-40...85^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 1^{\circ}\text{C}$, вологість в діапазоні $0...100\%$ з точністю $\pm 3\%$ і атмосферний тиск в діапазоні від $300...1100$ гПа з точністю ± 1 гПа. Для забезпечення отримання коректних метеоданих датчик змонтований в радіаційному екрані, для захисту від сонячного випромінювання, і розміщується на північній стороні будівлі в затінку. Також ІВС енергетичного моніторингу дозволяє інтегрувати в себе і інші пристрої, як приклад що відносяться до систем безпеки. На рисунку 8 наведено як в систему енергетичного моніторингу будівлі долучено дозиметр радіометр для контролю за станом радіаційного фону.



1 - універсальні лічильники smart-MAIC D105; 2 - цифровий датчик температури, вологості і атмосферного тиску BME280 в радіаційному екрані; 3 – дозиметр-радіометр.

Рисунок 8 – Реалізація метеорологічного модуля і інформаційної панелі сегменту інформаційно-вимірювальної системи енергетичного моніторингу будівлі, що призначений для реєстрації температури та вологості зовнішнього повітря і значення атмосферного тиску:

Висновки

На даний час пілотна ІВС енергетичного моніторингу будівлі охоплює 10-ть навчальних аудиторій з використанням 18-ти пристроїв smart-MAIC. Отримані дані по фактичному енергоспоживанню, після розгортання пілотної системи моніторингу, протягом календарного року (з повноцінним енергопостачанням) дозволять зокрема оцінити питомі теплові характеристики будівлі, визначити необхідні обсяги енергоспоживання для забезпечення нормативних показників мікроклімату в приміщеннях будівлі, оцінити раціональність і тренди споживання енергоносіїв. Також такі дані допоможуть оцінити реальний ефект після впровадження енергоефективних заходів для зменшення споживання енергоресурсів в будівлях університету.

Успішне впровадження та використання такої ІВС дає можливість обґрунтувати необхідність використання подібних систем і в інших громадських будівлях – навчальних та медичних закладах, державних адміністраціях і т. ін.

Список використаних джерел

1. Закон України «Про енергетичну ефективність». Відомості Верховної Ради України, 2022, №2, ст.8. [Електронний ресурс], URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>.
2. Методика моніторингу енергоефективності будівель. USAID. Муніципальна енергетична реформа в Україні.

Київ, 2015. [Електронний ресурс], URL: <http://surl.li/evtbm>.

3. P. Nejat, F. Jomehzadeh, M. M. Taheri, M. Gohari and M. Z. A. Majid, "A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries)". *Renewable and sustainable energy reviews*, 2015 vol.43, pp. 843-862.

4. O. M. Shevchenko, M. M. Shovkalyuk, "KPI energy efficient campus: instruments and research methods", *Bulletin of Kyiv National University of Technology and Design. Series: Technical Sciences*, 2019 vol. 4, pp. 97-105.

5. Y. Parfenenko, V. Shendryk, V. Nenja and S. Vashchenko, "Information system for monitoring and forecast of building heat consumption" in *Int. Conf. Information and Software Technologies*, Oct, 2014, PP. 1-11.

6. Zhao, L., Zhang, J. L., & Liang, R. B. Development of an energy monitoring system for large public buildings. *Energy and Buildings*, 2013 66, PP 41-48.

7. Baranyai, B., & Kistelegdi, I. Energy management monitoring and control of public buildings. *Pollack Periodica*, 2014 9(2), 77-88.

8. Ibaseta, D., García, A., Álvarez, M., Garzón, B., Díez, F., Coca, P., ... & Molleda, J. Monitoring and control of energy consumption in buildings using WoT: A novel approach for smart retrofit. *Sustainable Cities and Society*, 2021 65, PP. 102-637.

9. Mataloto, B., Calé, D., Carimo, K., Ferreira, J. C., & Resende, R. 3D IoT System for Environmental and Energy Consumption Monitoring System. *Sustainability*, 2021 13(3), PP. 14-95.

10. Nguyen, V. K., Zhang, W. E., & Mahmood, A. Semi-supervised Intrusive Appliance Load Monitoring in Smart Energy Monitoring System. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 2021 17(3), 1-20.

11. Шовкалюк Ю.В. Інструменти і методи для підвищення енергоефективності будівельного фонду. *Молодий вчений*. 2021 №1 (53), 2018. С. 573-577.

12. Дешко В.І., Шевченко О.М., Шовкалюк М.М., Суходуб І.О., Сотник М.І., Соколова Н.П. Досвід створення та функціонування системи енергоменеджменту у ВНЗ *Енергетика*:

економіка, технології, екологія. 2016 №2. С. 34-45.

13. Indoor climate and energy monitoring system at educational institutions / Ihor Rybitskyi, Maksym Karpash, Andrii Yavorskyi, Vitalii Tsykh. *Building Smart Communities for the Future: SMART solutions for energy*. Technical University of Košice, 2021. p. 69-76. ISBN 978-80-553-3840-8.

14. Smart-MAIC. Smart meters for any kind of consumptions. URL: <https://smart-maic.com/en/>.

15. BS EN 60715:2017. Dimensions of low-voltage switchgear and controlgear. Standardized mounting on rails for mechanical support of switchgear, controlgear and accessories.

16. AM2302 SIP Packaged Temperature and Humidity Sensor. URL: <http://www.aosong.com/en/products-22.html>.

17. Давач вуглекислого газу CO2 (діоксид вуглецю), RS485. URL: <https://store.smart-maic.com/ua/p964247124-datchik-uglekislogo-gaza.html>.

18. BME280 digital humidity pressure and temperature sensor. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/#documents/>

Referencis

1. Закон Украйны «Pro enerhetychnu efektyvnist'». Vidomosti Verkhovnoyi Rady Украйны, 2022, №2, st.8. [Elektronnyy resurs], URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>. [in Ukrainian]

2. Metodyka monitorynhu enerhoefektyvnosti budivel'. USAID. Munitsypal'na enerhetychna reforma v Украйini. Kyiv, 2015. [Elektronnyy resurs], URL: <http://surl.li/evtbm>. [in Ukrainian]

3. P. Nejat, F. Jomehzadeh, M. M. Taheri, M. Gohari and M. Z. A. Majid, "A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries)". *Renewable and sustainable energy reviews*, 2015 vol.43, pp. 843-862.

4. O. M. Shevchenko, M. M. Shovkalyuk, "KPI energy efficient campus: instruments and research methods", *Bulletin of Kyiv National University of Technology and Design. Series: Technical Sciences*, 2019 vol. 4, pp. 97-105. [in Ukrainian]

5. Y. Parfenenko, V. Shendryk, V. Nenja and S. Vashchenko, "Information system for monitoring and forecast of building heat consumption" in *Int. Conf. Information and Software Technologies*, Oct, 2014, PP. 1-11.

6. Zhao, L., Zhang, J. L., & Liang, R. B. Development of an energy monitoring system for large public buildings. *Energy and Buildings*, 2013 66, PP 41-48.

7. Baranyai, B., & Kistelegdi, I. Energy management monitoring and control of public buildings. *Pollack Periodica*, 2014 9(2), 77-88.

8. Ibaseta, D., García, A., Álvarez, M., Garzón, B., Díez, F., Coca, P., ... & Molleda, J. Monitoring and control of energy consumption in buildings using WoT: A novel approach for smart retrofit. *Sustainable Cities and Society*, 2021 65, PP. 102-637.

9. Mataloto, B., Calé, D., Carimo, K., Ferreira, J. C., & Resende, R. 3D IoT System for Environmental and Energy Consumption Monitoring System. *Sustainability*, 2021 13(3), PP. 14-95.

10. Nguyen, V. K., Zhang, W. E., & Mahmood, A. Semi-supervised Intrusive Appliance Load Monitoring in Smart Energy Monitoring System. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 2021 17(3), 1-20.

11. Shovkalyuk YU.V. Instrumenty i metody dlya pidvyshchennya enerhoefektyvnosti budivel'noho fondu. *Molodyy vchenyy*. 2021 №1 (53), 2018. S. 573-577. [in Ukrainian]

12. Deshko V.I., Shevchenko O.M., Shovkalyuk M.M., Sukhodub I.O., Sotnyk M.I., Sokolova N.P. Dosvid stvorennya ta funkcionuvannya systemy enerhomenedzhmentu u VNZ Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya. 2016 №2. S. 34-45. [in Ukrainian]

13. Indoor climate and energy monitoring system at educational institutions / Ihor Rybitskyi, Maksym Karpash, Andrii Yavorskyi, Vitalii Tsykh. *Building Smart Communities for the Future: SMART solutions for energy*. Technical University of Košice, 2021. p. 69-76. ISBN 978-80-553-3840-8. [in Ukrainian]

14. Smart-MAIC. Smart meters for any kind of consumptions. URL: <https://smart-maic.com/en/>.

15. BS EN 60715:2017. Dimensions of low-voltage switchgear and controlgear. Standardized

mounting on rails for mechanical support of switchgear, controlgear and accessories.

16. AM2302 SIP Packaged Temperature and Humidity Sensor. URL: <http://www.aosong.com/en/products-22.html>.

17. Давач вуглекислого газу CO2 (діоксид вуглецю), RS485. URL: <https://store.smart-maic.com/ua/p964247124-datchik-uglekislogo-gaza.html>.

18. BME280 digital humidity pressure and temperature sensor. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/#documents/>