

Пілотна система енергетичного моніторингу для навчальної будівлі університету

Андрій Яворський¹, Максим Карпаш², Віталій Цих¹, Любомир
Жовтуля²

¹*Кафедра енергетичного менеджменту і технічної діагностики
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*
²*Університет Короля Данила
Івано-Франківськ, Україна*

Анотація—Будівлі є одними з найбільших споживачів енергії. Відповідно, найбільше енергії споживається у великих громадських будівлях, до яких відносяться і приміщення університетів. Управління потоками енергії в таких будівлях і забезпечення їх енергоефективності починається з контролю та аналізу витрати енергії. Представлено реалізацію пілотної системи енергетичного моніторингу університетської будівлі на прикладі навчального корпусу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Дана система моніторингу побудована на базі пристроїв smart-МАС, що дозволяють вимірювати споживання електричної та теплової енергії, холодної і та гарячої води, параметрів мікроклімату в приміщеннях будівлі та метеопараметрів, які впливають на споживання енергії. Система енергетичного моніторингу на базі пристроїв smart-МАС легко розгортається і налаштовується, приспосовування пристроїв для передачі даних здійснюється через мережу Wi-Fi, яка вже наявна в більшості будівель. Всі зібрані дані в системі зберігаються в хмарному сховищі з хвилинною деталізацією і доступні для подальшого аналізу та прийняття рішень у зручному WEB-додатку.

Ключові слова—*Система Енергетичного Моніторингу Будівлі, Енергоспоживання, Облік Енергоносіїв, Показники Мікроклімату.*

I. ВСТУП

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. 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. Таким чином, актуальним є розроблення автоматизованої 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.

II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На будівлі припадає біля 40% світового споживання енергії, що спричиняє біля третини усіх викидів парникових газів [1]. 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 [2]. 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 [3].

На даний час на ринку присутні досить багато рішень для енергетичного моніторингу будівель [4-8]. Проте саме для громадських будівель, враховуючі значні площі і велику кількість точок вимірювання енергетичних параметрів і параметрів мікроклімату, важливою є простота і вартість побудови системи, інтеграція з існуючими засобами обліку, гнучкість і доступність у налаштуванні візуалізації та зберігання отриманих даних, що не потребують спеціалізованих навичок.

Науковцями Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) було проведено ґрунтовне дослідження щодо пошуку найбільш оптимального рішення для побудови системи енергетичного моніторингу університетської будівлі, яка має відповідати наведеним вище вимогам. Для побудови системи моніторингу обрано «smart»-пристрої енергомонітори української компанії smart-MAIC [9].

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 датчиків вимірювання температури, вологості, тиску, концентрації вуглекислого газу в повітрі, швидкості та напрямку вітру та інших параметрів (рисунок 1).

ПРОДУКТИ smart-MAIC





<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Енергомонітор D101 (1 лінія) D103 (3 ліній)</p> </div> </div> <p style="margin-top: 20px;">Моніторинг та аналіз електроенергії</p> <p>Основні характеристики</p> <ul style="list-style-type: none"> напруга - V струм - A активна потужність - W реверсивна активна потужність - rW активна енергія - Wh зворотна активна енергія - rWh коефіцієнт потужності - cosФ вартість від 2390 грн. 	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>Універсал D105</p> </div>  </div> <p style="margin-top: 20px;">Облік електроенергії, води, газу, тепла ...</p> <p>Температура, вологість, тиск, CO2, TDS, pH ...</p> <p>Основні характеристики</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 імпульсних входи 1 аналоговий вхід (0-15В) 5 датчиків температури 1 універсальний датчик RS485 на вхід та вихід живлення 220В або 5В вартість від 990 грн.
--	--

Рисунок 1 – Модельний ряд пристроїв smart-MAIC

Пристрої smart-MAIC легко встановлюються і підключаються. 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 виміряних параметрів в інформацію, яка буде відправлена за допомогою бездротової технології Wi-Fi на хмарний сервер даних. Для аналізу і візуалізації даних використовується універсальний WEB-додаток smart-MAIC Dashboard, який є в звичайному інтернет браузері, а також як додаток для платформ

2022 International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering
Ivano-Frankivsk, Ukraine, November 29-30, 2022

Windows, Android і iOS. Всі зібрані дані зберігаються на хмарному сервері з хвилинною деталізацією. При роботі 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 при двотарифному або багатотарифному обліку. Користувачеві доступні гнучке налаштування віджетів індикаторів і графіків, необмежена кількість сторінок і підключених пристроїв до одного облікового запису. Так само поточні дані доступні на WEB сторінці самого пристрою.

III. РЕЗУЛЬТАТИ

Пілотна системи 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 (рисунок 2). Відповідно, на основі приміщень кафедри можна повністю змодельовати систему енергетичного моніторингу, яку потім можна буде за аналогією поширювати на інші будівлі університету.



Рисунок 2 – Навчальний корпус №9 ІФНТУНГ (а) та аудиторії кафедри «Енергетичного менеджменту і технічної діагностики» (б)

Структура пілотної системи енергетичного моніторингу для навчальної будівлі університету наведена на рисунку 3. Система 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, напрямок і швидкість вітру, атмосферний тиск, інтенсивність сонячного випромінювання (інсоляцію), значення і тренд зміни атмосферного тиску.

Як було зазначено, продуктова лінійка smart-MAIC представлена рішеннями для моніторингу будь-яких подій, станів і процесів – однофазний електролічильник та трифазний електролічильник 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, що дозволяє монтувати їх у будь-якому новому або вже змонтованому електрошриту. На рисунку 4 наведено приклад інсталяції сегменту системи енергетичного моніторингу для навчальної аудиторії університету.

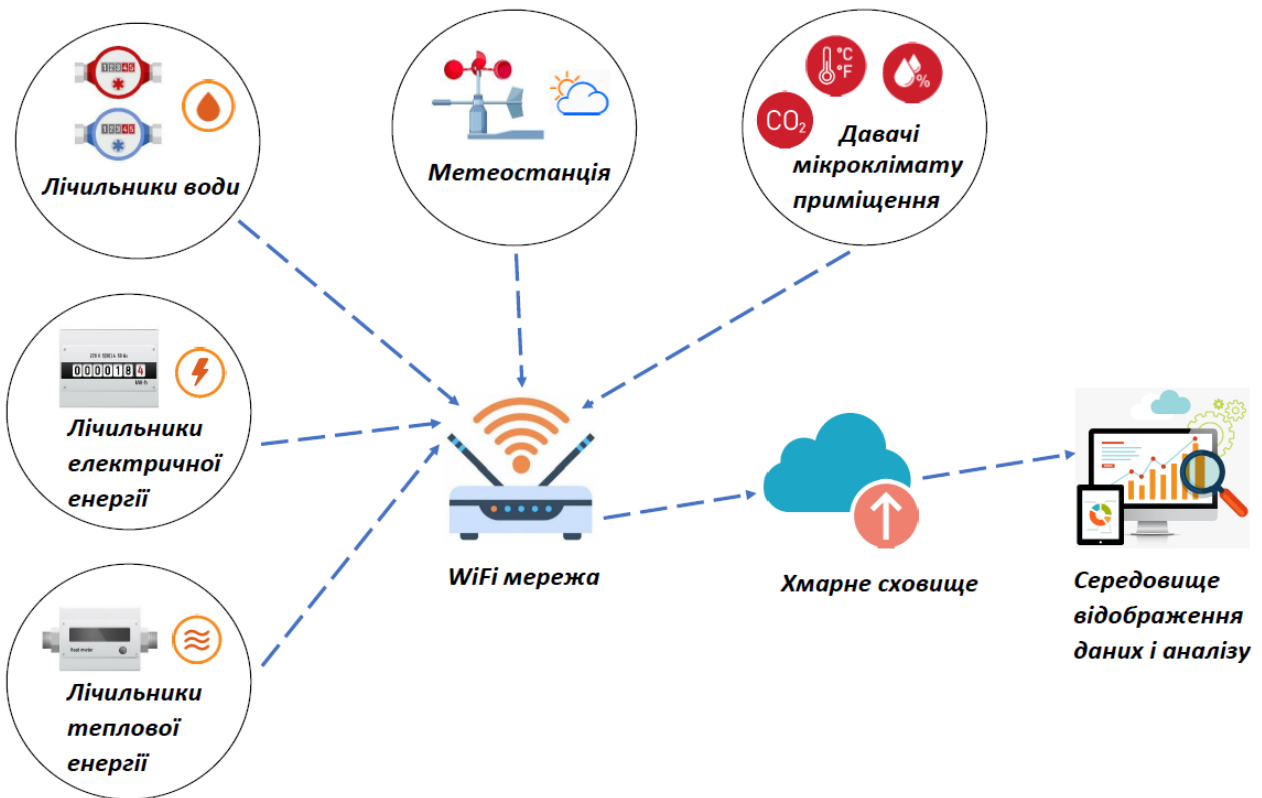
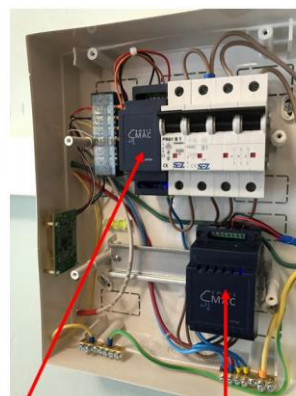


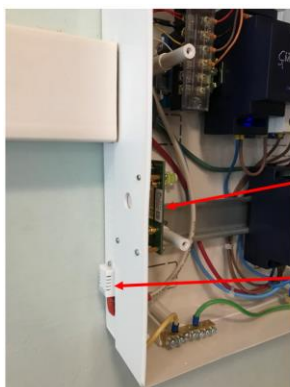
Рисунок 3 – Загальна структура пілотної системи енергетичного моніторингу для навчальної будівлі університету



Універсальний монітор D105



Енергомонітор D103



CO₂ давач (MH-Z14A)

Давач температури і вологості(DHT22)



Трансформатори струму (100A) для енергомонітора D103

Рисунок 4 – 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 монітор smart-MAIC D105 до якого приєднується датчик температури-вологості (DHT22) і вуглекислого газу (MH-Z41A). 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 100А). 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 5 наведений приклад інформаційної панелі сегменту системи енергетичного моніторингу для навчальної аудиторії університету.



Рисунок 5 – Приклад інформаційної панелі сегменту системи енергетичного моніторингу для навчальної аудиторії університету

На інформаційну панель (рисунок 5) виводяться поточні значення температури, 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, дані агреговані 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 1000А, що дозволяє контролювати навантаження в будівлі до 1МВт. Приклад інсталяції сегменту системи енергетичного моніторингу для визначення споживання електричної енергії частиною будівлі показано на рисунку 6. В даному випадку моніториться споживання електричної енергії для цілої кафедри, що займає частину будівлі. Відповідно використовується енергомонітор smart-MAIC D103 з накладними 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 5.



Рисунок 6 – Приклад інсталяції сегменту 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 витратомірів з імпульсними виходами. Важливим є те, що такий підхід дозволяє задіяти в систему енергетичного моніторингу прилади обліку, що вже наявні в будівлі. В цьому випадку використовується універсальний монітор smart-MAIC D105, який обладнаний двома імпульсними входами. 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.

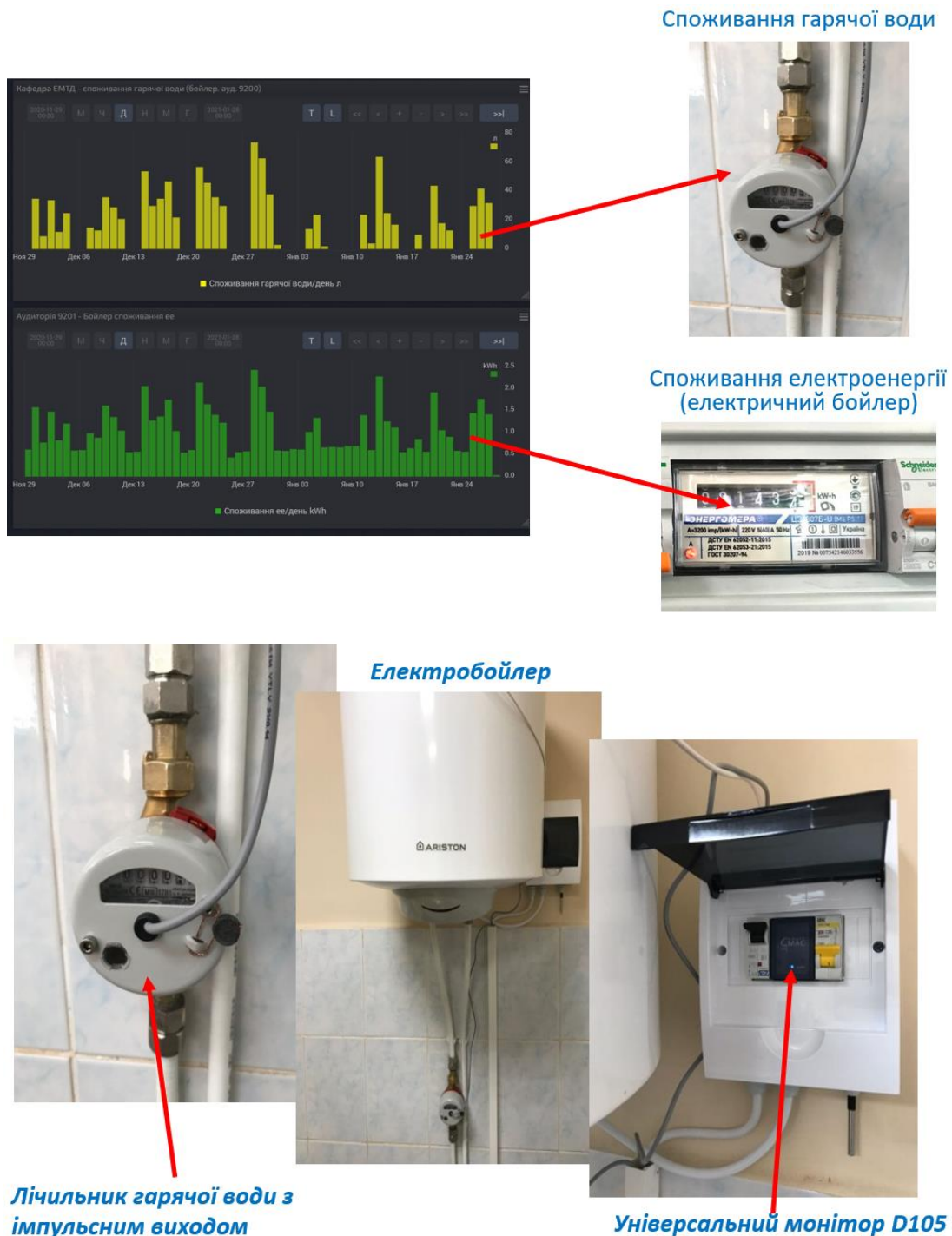


Рисунок 7 – Приклад реалізації моніторингу споживання гарячої води в будівлі і витрати електричної енергії на її приготування

Обов'язково в системі 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 датчик температури, вологості і атмосферного тиску BMP280, який приєднаний до універсального монітора smart-MAIC D105. Для забезпечення отримання коректних метеоданих датчик змонтований в радіаційному екрані, для захисту від сонячного випромінювання, і розміщується на північній стороні будівлі в затінку. Також система енергетичного моніторингу дозволяє інтегрувати в себе і інші пристрої, наприклад ті, що відносяться до систем безпеки. На рисунку 8 наведено як в систему енергетичного моніторингу будівлі долучено дозиметр радіометр для контролю за станом радіаційного фону.

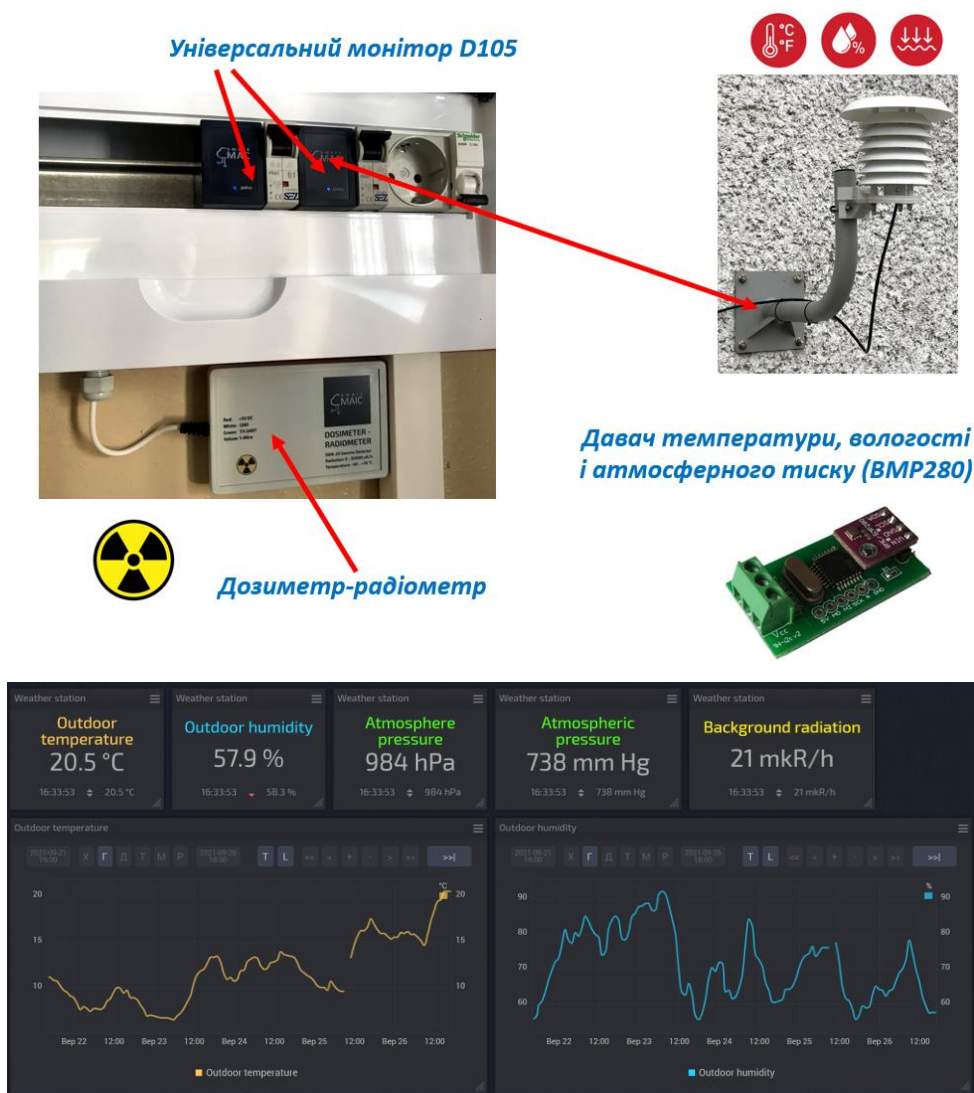


Рисунок 8 – Реалізація частини метеорологічного модуля системи енергетичного моніторингу будівлі, що призначений для реєстрації температури та вологості зовнішнього повітря і значення атмосферного тиску

IV. ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В подальшому доцільно впровадити аналогічні системи моніторингу енергетичного споживання як в інших приміщеннях даного корпусу, так і в інших будівлях університету. Це дасть можливість чітко прослідкувати та по можливості регулювати навантаження в системі енергоспоживання.

V. ВИСНОВКИ

Отримані дані по фактичному енергоспоживанню, після розгортання пілотної системи моніторингу, протягом календарного року дозволять зокрема оцінити питомі теплові характеристики будівлі, визначити фактичну енергопотребу 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.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] 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*, vol.43, pp. 843-862, 2015.
- [2] 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*, vol. 4, pp. 97-105, 2019.
- [3] 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.
- [4] L. Zhao, J. L. Zhang and R. B. Liang, “Development of an energy monitoring system for large public buildings”, *Energy and Buildings*, vol. 66, pp. 41-48, 2013.
- [5] B. Baranyai and I. Kistelegdi, “Energy management monitoring and control of public buildings”, *Pollack Periodica*, vol. 9(2), pp. 77-88, 2014.
- [6] D. Ibaseta, A. García, M. Álvarez, B. Garzón, F. Díez, P. Coca and J. Molleda, “Monitoring and control of energy consumption in buildings using WoT: A novel approach for smart retrofit”, *Sustainable Cities and Society*, vol. 65, pp. 22-37, 2021.
- [7] B. Mataloto, D. Calé, K. Carimo, J. C. Ferreira and R. Resende, “3D IoT System for Environmental and Energy Consumption Monitoring System”, *Sustainability*, vol. 13(3), pp. 14-95, 2021.
- [8] V. K. Nguyen, W. E. Zhang and A. Mahmood, “Semi-supervised Intrusive Appliance Load Monitoring in Smart Energy Monitoring System”, *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, vol. 17(3), pp. 1-20, 2021.
- [9] “Smart-MAIC. Smart meters for any kind of consumptions”. Smart-maic.com. <https://smart-maic.com/en/> (accessed Oct. 21, 2021).