

УДК 004.75
DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2024.1.11>

Юлія ПАРФЕНЕНКО

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій,
Сумський державний університет, yuliya_p@cs.sumdu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-4377-5132

Володимир НАГОРНИЙ

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій,
Сумський державний університет, v.nahornyi@cs.sumdu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-5223-7219

Роман ДАНИЛЕНКО

магістр комп'ютерних наук, Сумський державний університет, danylenko@outlook.com
ORCID: 0009-0007-0683-5833

**РОЗРОБЛЕННЯ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ПІДТРИМКИ НАДАННЯ ПОСЛУГ
ВІД ЕНЕРГЕТИЧНИХ МІКРОМЕРЕЖ**

Анотація. Метою роботи є розроблення мобільного додатку для інформування клієнтів енергетичних мереж про стан роботи мереж, а також про прогнозовані обсяги генерації електричної енергії від відновлюваних джерел. **Методологія.** Для вивчення актуальності використання мобільних додатків для отримання доступу до інформації про поточний та прогнозований стан енергетичних мереж застосовано аналітичний метод, що включає в себе пошук та аналіз відповідної наукової літератури, дослідження існуючих мобільних додатків, а також встановлення функціональних вимог до мобільного додатку. Методи структурно-функціонального моделювання використано для представлення системи у вигляді функцій, які пов'язані між собою та функцій, що перетворюють вхідні дані у вихідні. Метод проектування використано при розробленні UML-діаграми варіантів використання. Для практичної реалізації мобільного додатку обрано методуку з використанням принципу Clean Architecture.

Результати. Проведено огляд сучасних тенденцій розроблення мобільних додатків, у тому числі для моніторингу та управління енергетичними мережами. Виконано моделювання варіантів використання мобільного додатку, а також моделювання послідовності дій основних акторів по роботі з мобільним додатком засобами мови UML. Мобільний додаток розроблений під операційну систему Android для роботи з даними енергетичних мереж, які зберігаються в системі керування базами даних SQLite. Спроектовано та реалізовано екрани мобільного додатку – авторизації, вибору локації та головний екран, на якому відображається інформація про енергетичну мікромережу на обраній локації. Протестовано роботу мобільного додатку для підтримки надання послуг від електричних мікромереж клієнту з двома мікромережами, встановленими на різних локаціях. **Наукова новизна** роботи полягає у тому, що розроблений мобільний додаток має таку архітектуру, яка дозволяє інтегруватися в систему підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичними мікромережами і через API інтерфейс відображати дані з єдиної бази даних інформаційної системи.

Висновок. У роботі представлено розроблення мобільного додатку для моніторингу користувачем поточного стану енергетичної мікромережі, а також інформування про прогнозовані обсяги генерації електричної енергії.

Ключові слова: мобільний додаток, енергетичні мікромережі, інтерфейс, функціональний стан, прогнозування.

Yuliia PARFENENKO, Volodymyr NAHORNYI, Roman DANYLENKO. DEVELOPMENT OF A MOBILE APPLICATION TO SUPPORT THE PROVISION OF ENERGY MICROGRID SERVICES

Abstract. The purpose of the work is to develop a mobile application for informing customers of energy networks about the state of operation of the networks, as well as about the forecasted volumes of electricity generation from renewable sources.

Methodology. To study the relevance of using mobile applications to gain access to information about the current and projected state of energy networks, an analytical method was applied, which includes the search and analysis of relevant scientific literature, the study of existing mobile applications, as well as the establishment of functional requirements for the mobile application. The methods of structural-functional modeling are used to represent the system in the form of functions that are related to each other and functions that transform input data into output. The design method was used in the development of UML use case diagrams. For the practical implementation of the mobile application, a methodology using the principle of Clean Architecture was chosen.

The results. An overview of modern trends in the development of mobile applications, including for monitoring and managing energy networks, was conducted. Modeling of the mobile application use case was carried out, as well as modeling of the sequence of actions of the main actors in working with the mobile application using the UML language. The mobile application is developed for the Android operating system to work with energy network data stored in the SQLite database management system. The screens of the mobile application - authorization, location selection, and the main screen, which displays information about the energy microgrid at the selected location, were designed and implemented. The operation of the mobile application to support the provision of services from electric microgrids to a client with two microgrids installed in different locations has been tested. **The scientific novelty** lies in the fact that the developed mobile application has such an architecture that allows integration into the decision support system for managing energy microgrids and displaying data from a single database of the information system through the API interface.

Conclusion. The work presents the development of a mobile application for user monitoring of the current state of the energy microgrid, as well as informing about the forecast volumes of electricity generation.

Key words: mobile application, energy microgrids, interface, functional state, forecasting.

Постановка проблеми. Зростання споживання електричної енергії, підвищення її вартості та потреба обмеження використання вуглеводневих видів палива спонукають до переходу на відновлювальні джерела енергії. Водночас відзначається швидкий розвиток технічних, ринкових та економічних змін у галузі електроенергетики. Впровадження нових підходів до виробництва електроенергії та її розподілу, які спрямовуються на зменшення використання викопних видів палива та задоволення зростаючого попиту на електроенергію, є необхідністю.

Суттєвий вплив на сферу електроенергетики має цифрова трансформація, яка полягає у впровадженні сучасних передових технологій. Цифрова трансформація енергетичного сектора являє собою інтеграцію найсучасніших технологій, спрямованих на автоматизацію та покращення ефективності процесів управління енергією. Поширення набувають мережі «smart grid», які забезпечують інтелектуальне управління енергосистемою режимі реального часу [1]. Змінюється також характер споживання та генерації електроенергії – відбувається перехід від класичного централізованого до більш автономного розподіленого, через впровадження мікромереж.

Збільшується частка компаній, які надають послуги із встановлення систем відновлюваної енергетики для малого бізнесу та приватних домогосподарств. Змінюється парадигми виробництва електроенергії з централізованого на децентралізоване, що потребує застосування новітніх програмних рішень для управління енергоспоживанням та функціональної оптимізації енергосистеми [2]. Необхідним є впровадження систем управління енергетичними мікромережами для забезпечення балансу між споживанням та виробництвом електричної енергії, а також систем підтримки прийняття рішень [3, 4].

Користувачі енергетичних мікромереж матимуть до них довіру за умови повного і своєчасного одержання інформації про їх стан, ефективність управління, а також прогнозування функціонального стану мікромереж на майбутні періоди часу, що можуть забезпечити зручні та зрозумілі інтерфейси подання даних [5]

Для моніторингу поточного стану роботи енергетичних мікромереж та відслідковування прогнозного стану необхідним є розроблення програмного додатку, який буде забезпечувати такий сервіс на мобільних пристроях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Розроблення мобільних додатків для моніторингу та енергетичного менеджменту «розумних» енергетичних мереж представлено в роботах [6-8]. Досліджуються переваги використання підключення по мережі Wifi для передачі даних функціонування енергетичних мереж та розроблення мобільного інтерфейсу систем енергетичного менеджменту. У статті [8] наведено опис архітектури системи енергетичного менеджменту на стороні споживача вигляді, яка складається у тому числі й з мобільного додатку.

Нижче наведено опис комерційних мобільних додатків, які можуть бути використані для підтримки надання послуг від енергетичних мікромереж. Програмний додаток Enphase Enlighten від компанії Enphase Energy [9], який має у тому числі й мобільний інтерфейс, пропонує широкий спектр функцій, які дозволяють споживачам електроенергії моніторити їхнє споживання електроенергії та вироблення електроенергії з фотоелектричних модулів компанії Enphase.

Програмний продукт μ Grid Manager від компанії GridWhiz Thailand – мобільний додаток, який дозволяє операторам керувати їхньою мікромережею [10]. Цей додаток дозволяє користувачам отримувати інформацію про поточний стан мікромережі, включаючи споживання електроенергії, виробництво електроенергії та баланс потужностей, надає користувачам інформацію про стан їхньої мікромережі за певний період часу, наприклад, за день, тиждень, місяць або рік, надсилає повідомлення користувачам про можливі проблеми з їхньою мікромережею, наприклад, про перевантаження мережі або про відключення електроенергії.

Мобільний додаток mySunPower від компанії SunPower дозволяє власникам систем сонячної енергії SunPower моніторити їхню систему та керувати нею [11]. Мобільний додаток SMA Energy від компанії SMA Solar Technology AG дозволяє споживачам електроенергії, які використовують інвертори SMA, моніторити їхнє споживання електроенергії, а також вироблення електроенергії з фотоелектричних модулів [12].

Проведений огляд дозволив виділити функціональні вимоги до мобільних додатків підтримки надання енергетичних послуг. Розглянуті додатки здебільшого є платними та орієнтованими на використання для конкретних постачальників енергетичних послуг, тобто не є універсальними, що обмежує їх використання підприємствами малого бізнесу та приватними домогосподарствами. Окрім цього жодний з досліджених мобільних додатків не надає інформації щодо прогнозних показників стану мікромереж.

Постановка завдання. Метою роботи є розроблення мобільного додатку для надання користувачам енергетичних мікромереж з відновлювальними джерелами енергії доступу до інформації про

поточний та прогнозний стан їх функціонування. Мобільний додаток має відображати дані з бази даних системи підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичними мікромережами. Доступ до даних має здійснюватися через API-сервіс.

Виклад основного матеріалу. Мобільний додаток розроблено мовою Kotlin під операційну систему Android за принципом Clean Architecture, за яким програмний код поділяється на шари, кожен з яких має свою власну відповідальність. Роботу з API-інтерфейсами реалізовано за допомогою Retrofit2 та OkHttp3. Взаємодія з локальною базою даних SQLite реалізована через RoomDB, що використовує ефективні алгоритми для доступу до бази даних, а також прості та зрозумілі анотації для опису моделей і взаємодії з базою даних.

Перед розробкою проведено моделювання сценарії використання мобільного додатку, а також послідовності дій основних акторів побудовано відповідні діаграми в нотатції UML. Діаграму варіантів використання зображено на рис.1.

Акторами є зареєстрований користувач, в якого є доступ до перегляду даних енергетичної мікромережі, програмний API-інтерфейс сервісу мікромереж, який надає дані про функціональний стан мікромережі, а також програмний API-інтерфейс сервісу погоди, який надає дані прогнозу погоди та поточної погоди на місцевості, де встановлена мікромережа.

Варіанти використання:

- Авторизація – дозволяє користувачу авторизуватися в мобільному додатку;
- Отримання списку мікромереж – відображає користувачу мікромережі, до перегляду даних про які в нього є доступ;
- Отримання даних про структуру – надає користувачу дані про структуру мікромережі;
- Отримання даних про мікромережі – дозволяє користувачу переглядати поточний статус генерації електроенергії та її витрати, а також інформацію щодо накопиченої електроенергії в акумуляторах;
- Отримання даних про погоду – дозволяє користувачу переглядати поточну погоду та її прогноз.

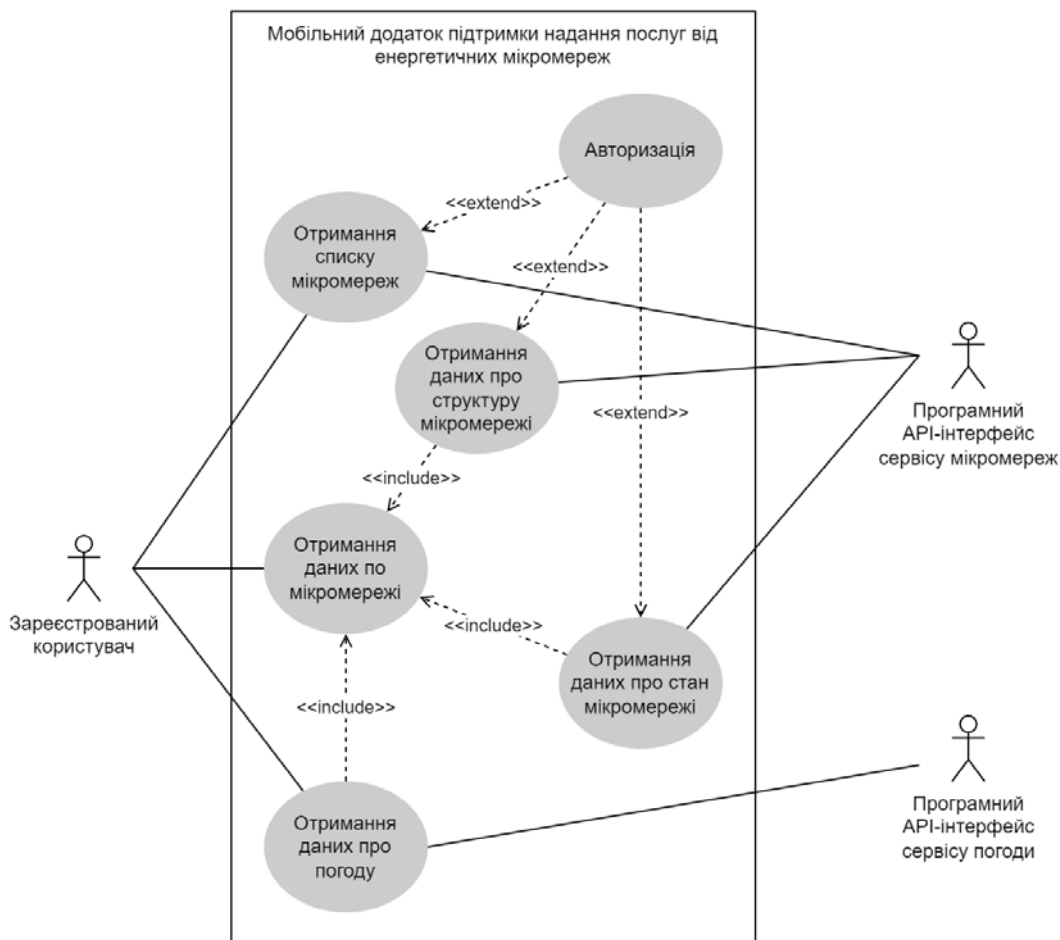


Рис. 1. Діаграма варіантів використання мобільного додатку

Діаграму послідовності дій користувача при роботі з мобільним додатком показано на рис.2.

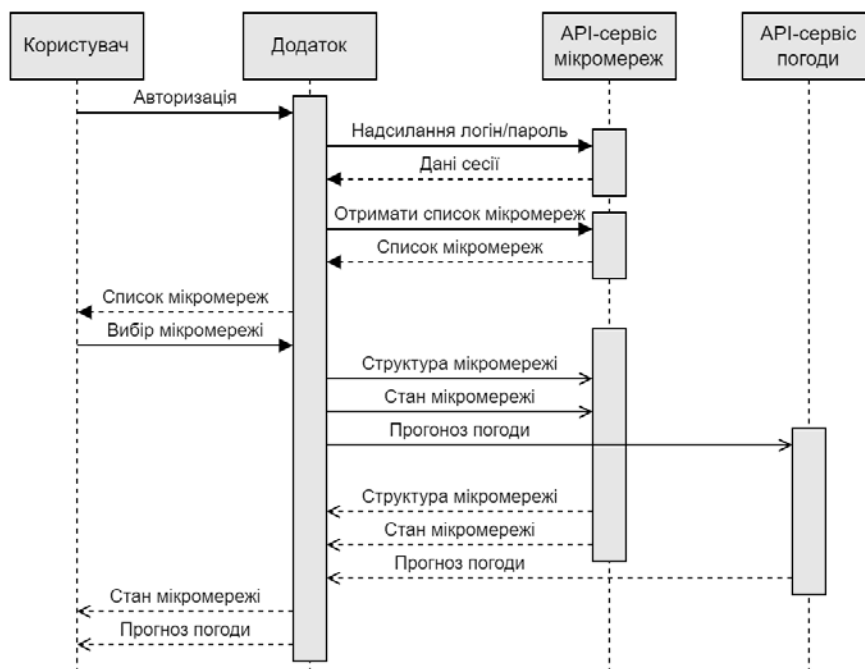


Рис. 2. Діаграма послідовності

Для перегляду інформації в інтерфейсі мобільного додатку користувачу спершу потрібно авторизуватися, після чого обрати зі списку мікромережу, дані про яку він бажає переглянути.

При розробленні мобільного додатку було застосовано архітектуру «Clean Architecture» для розмежування відповідальності між різними частинами додатку. Це досягається шляхом розбиття коду на кілька шарів, кожен з яких має свою власну відповідальність і не залежить від інших шарів. Такий підхід дозволяє зробити додаток більш гнучким, масштабованим та зручним для тестування.

Мобільний додаток розподілений на такі шари:

- презентація (Presentation) – відповідає за відображення даних та отримання команд від користувача.
- бізнес-логіка (Domain) – відповідає за трансформацію даних і має бути незалежний від користувацького інтерфейсу.
- шар даних (Data) – відповідає за доступ до даних як з локальної бази даних, так і з API-інтерфейсів.

Дані для відображення у мобільному інтерфейсі беруться через API інтерфейс з бази даних SQLite системи підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичними мікромережами. Для роботи з базою даних обрано бібліотеку RoomDB, яка автоматично створює таблиці на основі описів сутностей, виконує всі операції з базою даних у фоновому потоці та має детальну документацію.

Для взаємодії з REST API при розробці було використано бібліотеку Retrofit2, яка автоматично генерує код для виконання запитів до API на основі інтерфейсів з анотаціями, має механізми обробки помилок та може виконувати запити в фонових потоках. Бібліотека OkHttp3 використовується бібліотекою Retrofit2 і потрібна для доступу до керування заголовками запитів (наприклад, для додавання даних про авторизацію) та для можливості мати доступ до детальної інформації по запитам і відповідям до web-API під час розробки додатку.

У мобільному додатку класи даних розділені на три групи: моделі даних для отримання даних з web-API (DTO-моделі), моделі даних для зберігання даних в локальній базі даних (Entity-моделі) та моделі даних для виводу інформації користувачу (Domain-моделі). Для інтеграції шаблону проектування впровадження залежностей (Dependency Injection, DI) використано бібліотеку мови програмування Kotlin – Koin. Для роботи з запитом та відповідями web-API використано формат даних JSON і для зручної конвертації даних між JSON та внутрішніми класами додатку використано бібліотеку Gson.

Інтерфейс мобільного додатку складається з трьох екранів, а саме:

- екран авторизації, на якому користувач вводить свій логін та пароль і надсилає запит на авторизацію для того, щоб перейти на наступний екран;

- екран вибору локацій, на якому користувач має можливість перемикатися між своїми мікромережами, для отримання детальної інформації по ним;
 - головний екран, на якому буде виводиться детальна інформація по вибраній енергетичній мікромережі – її поточний та прогнозований стан роботи, а також інформація про прогноз погоди.
- Перший екран авторизації, на якому користувач має можливість ввести свій логін та пароль для авторизації та переходу на наступний екран, показано на рис. 3. У випадку невірно введеного логіна чи пароля на екрані має відображатися помилка.

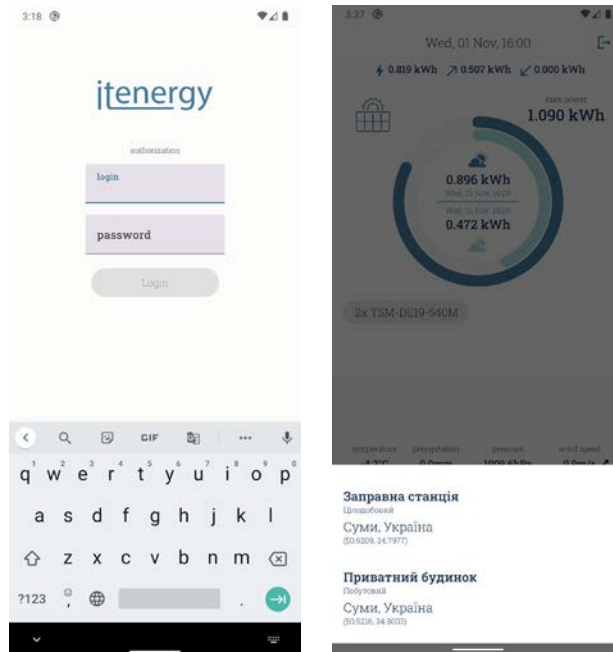


Рис. 3. Екран авторизації Рис.4. Екран вибору локацій

Користувач може мати доступ до більше ніж однієї мікромережі, тому необхідно мати екран для вибору локації з мікромережею для детальної інформації по ній. Цей екран реалізовано у вигляді спливаючого діалогового вікна та являє собою список з переліком локацій, кожен елемент списку якого містить в собі назву локації, назву типу локації та її адресу (рис. 4). На головному екрані (рис. 5, 6) відображається інформація про поточний та прогнозований стан роботи обраної енергетичної мікромережі. Основним елементом головного екрану є структурні компоненти енергетичної мікромережі.



Рис. 5. Головний екран Рис. 6. Головний екран

Дані з сонячних панелей Дані з вітроустановки

Для компонентів з сонячними панелями та вітроустановками відображаються такі дані, як максимальна генеруюча потужність, поточна та прогнозна потужність у вигляді фактичних значень та у вигляді графічного зображення частки генеруючою потужності, список пристроїв які використовуються для генерації електроенергії з їх назвою та їх кількістю.

Для компонента з акумуляторами на екран виводиться максимальний запас накопичення енергії, поточний запас накопиченої енергії у вигляді фактичних значень та у вигляді графічного зображення частки накопиченої енергії, список пристроїв які використовуються для накопичення енергії з їх назвою та їх кількістю.

Висновки. Розроблено мобільний додаток підтримки надання послуг від енергетичних мікромереж. З урахування сучасних трендів у сфері розробки мобільних додатків для операційної системи Android розглянуті підходи та вимоги до проектування мобільних додатків, обрана сучасна гнучка архітектура побудови додатку та визначені необхідні допоміжні бібліотеки. Під час програмної реалізації проекту були використані мова програмування Kotlin, бібліотеки Retrofit2 і OkHttp3 для взаємодії з web-API та бібліотеку Gson для перетворення JSON даних. Мобільний додаток протестовано і підготовлено до використання користувачами послуг від енергетичних мікромереж як засіб інформування про стан мікромережі. Подальші дослідження полягають у розширенні функцій мобільного додатку, доповнення відображення даних прогнозу генерації електроенергії на різні часові інтервали.

Список використаних джерел:

1. Zawada M., Pabian A., Kuceba R., Bylok F. Impact of Smart Grid Intelligent Networks on Energy Efficiency Improvement. Proceedings of the 2019 10th International Conference on E-business, Management and Economics. 2019.
2. Ameer A., Berrada A., Emrani A. Intelligent energy management system for smart home with grid-connected hybrid photovoltaic/ gravity energy storage system. Journal of Energy Storage. 2023.
3. Shendryk V., Boiko O., Parfenenko Yu., Shendryk S., Tymchuk S. Decision Making for Energy Management in Smart Grid. Research Anthology on Clean Energy Management and Solutions. 2021. P. 1742–1776. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-9152-9.ch077>
4. Shendryk S., Shendryk V., Parfenenko Yu., Drozdenko O., Tymchuk S. Decision Support System for Efficient Energy Management of MicroGrid with Renewable Energy Sources. Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2021. 2021. P. 225–230. <https://doi.org/10.1109/IDAACS53288.2021.9660966>.
5. Boiko Olha, Shendryk Vira, Parfenenko Yuliia, Pavlenko Petro, Titariiev Artem. Information support of stakeholders in the management of energy systems: development and implementation of interfaces. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023, vol. 6, P. 15–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292186>.
6. Sebasthirani D., Maruthupandi D. Devolpment of Novel Mobile Application for Smart Meter Monitoring in Smart Grid. Gedraz & Organisatie Review. 2020, vol 33, no 155,
7. Hossain I., Islam M.S., Sultana R., Rahman M.R. IoT Based Home Automation System Using Renewable Energy. American Journal of Agricultural Science, Engineering, and Technology. 2022.
8. L'hadi I., Sikal M.B., Lahtani S., Khallaayoun A., Lghoul R. Development of a mobile application for home energy management in smart grids. 2015 World Congress on Sustainable Technologies (WCST), 2015, 123-129.
9. Enlighten – the monitoring experience for the system owner. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.enphaseenergy.myenlighten> (дата звернення 06.04.2024)
10. The μGrid Manager or The Microgrid Manager Play Google. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=th.co.gridwhiz.MicrogridManager> (дата звернення 06.04.2024)
11. mySunPower. SunPower. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mysunpower> (дата звернення 06.04.2024)
12. SMA Energy. SMA Solar Technology AG. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=de.sma.energy> (дата звернення 06.04.2024)