

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 620.9:621.31

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Олена БОРИЧЕНКО
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
освітня програма Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: «Управління попитом побутових споживачів електричної енергії:
індивідуальне навчання за допомогою мобільного застосунку»

Виконав: студент II курсу, групи ГН-31мп

_____ Молодець Сергій Сергійович

(прізвище, ім'я по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Чернецька Ю.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Нормоконтроль провідний інженер Прокопенко І.Д.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент к.т.н., доц. Суходуб І.О.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

В.о. завідувача кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

«___» _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Молодець Сергій Сергійович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Управління попитом побутових споживачів електричної енергії: індивідуальне навчання за допомогою мобільного застосунку», науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Чернецька Юлія Валентинівна,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету №5008-с від 08.11.2024 р.
2. Строк подання студентом дисертації 13 грудня 2024 року.
3. Об'єкт дослідження процес управління попитом побутових споживачів електричної енергії.
4. Предмет дослідження методи оцінювання доцільності для індивідуального побутового споживача електричної енергії участі в програмах управління попитом в інтерактивному форматі за допомогою мобільного застосунку.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: (1) підготувати огляд літератури для опису об'єкта та предмета дослідження; (2) розробити типові профілі побутових споживачів електричної енергії на основі їх річного обсягу електроспоживання; (3) розробити навчальний застосунок для залучення побутових споживачів електричної енергії до управління попитом; (4) оцінити доцільність участі в програмах управління попитом побутових споживачів різних профілів; (5) розробити стартап-проект для комерціалізації розробленого застосунку.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація обсягом 15-20 слайдів – наочні матеріали за результатами дослідження

7. Орієнтовний перелік публікацій: (1) оформлення свідоцтва про авторське право на твір «Мобільний застосунок «ELECTRYKA»; (2) тези доповіді на IX Міжнародній науково-практичній та навчально-методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'24». 26-27.11.2024 р.
8. Консультанти розділів дисертації
Нормоконтроль *Прокопенко І.Д.*
9. Дата видачі завдання 30 жовтня 2024 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1.	Визначення мети та завдань магістерської дисертації, об'єкта і предмета дослідження	01.09.24-08.09.24	
2.	Огляд літератури про особливості залучення побутових споживачів електричної енергії до програм управління попитом (розділ 1)	09.09.24-29.09.24	
3.	Визначення методів оцінювання доцільності для індивідуального споживача участі в програмах управління попитом (розділ 2)	30.09.24-20.10.24	
4.	Розроблення навчального застосунку та апробація розрахунків на прикладі домогосподарств різних профілів (розділ 3)	21.10.24-17.11.24	
5.	Розробка стартап-проєкту (розділ 4)	18.11.24-01.12.24	
6.	Оформлення магістерської дисертації	02.12.24-08.12.24	
7.	Проходження процедури допуску до захисту	09.12.24-13.12.24	
8.	Підготовка до захисту магістерської дисертації та її захист	14.12.24-16.12.24	

Студент

(підпис)

С.С. Молодець
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Ю.В. Чернецька
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Управління попитом побутових споживачів електричної енергії: індивідуальне навчання за допомогою мобільного застосунку» обсягом 104 аркуші, кількість рисунків – 19, кількість таблиць – 22.

Актуальність. Управління попитом на електричну енергію набуває нової актуальності з огляду на дефіцит генерувальних потужностей, що виник після масових атак Російської Федерації об'єктів енергетики України. Залучення побутових споживачів, які складають близько 40% роздрібного ринку електричної енергії, є надзвичайно важливим для успішної реалізації заходів з управління попитом. Зростання цін на електричну енергію для населення саме по собі спонукає домогосподарства до скорочення витрат. Водночас, досвід інших країн, де побутові споживачі завжди сплачували ринкову вартість електричної енергії, свідчить не лише про високий потенціал участі домогосподарств у програмах управління попитом, а й про важливість навчання учасників таких програм.

Метою даного дослідження є розроблення навчального застосунку для побутових споживачів електричної енергії, який би враховував особливості електроспоживання домогосподарств та допомагав залучати їх до управління попитом за індивідуальними програмами.

Об'єкт дослідження: процес управління попитом побутових споживачів електричної енергії.

Предмет дослідження: методи оцінювання доцільності для індивідуального побутового споживача електричної енергії участі в програмах управління попитом.

Завдання дослідження:

1. підготувати огляд літератури для опису об'єкта та предмета дослідження;
2. розробити типові профілі побутових споживачів електричної енергії на основі їх річного обсягу електроспоживання;
3. розробити навчальний застосунок для залучення побутових споживачів електричної енергії до управління попитом;

4. оцінити доцільність участі в програмах управління попитом побутових споживачів різних профілів;

5. розробити стартап-проект для комерціалізації розробленого застосунку.

Наукова новизна одержаних результатів: вперше розроблено навчальний застосунок «ELECTRYKA», який у інтерактивному форматі дозволяє оцінювати вартість електричної енергії, спожитої домогосподарством за місяць, тим самим допомагаючи в залученні побутових споживачів до управління попитом за індивідуальними програмами.

Матеріали магістерської дисертації можуть бути корисними у викладанні дисципліни «Управління попитом на енергетичні ресурси» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Апробація результатів дослідження:

– результати дослідження були представлені на Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS’2024»;

– одержано документи про авторське право на твір комп’ютерна програма «Мобільний застосунок «ELECTRYKA» (Рішення про реєстрацію договору від 11.11.2024 року №7315);

– проєкт «ELECTRYKA: навчальний застосунок» став фіналістом XIII Міжнародного Фестивалю Інноваційних проєктів «Sikorsky Challenge 2024: інновації для миру і безпеки України».

Ключові слова: електрична енергія, управління попитом, побутовий споживач, застосунок.

ABSTRACT

The volume of the master's thesis «Demand Side Management for Residential Electricity Consumers: Personalized Learning Using a Mobile Application» is 104 sheets, the number of figures is 19, the number of tables is 22

Topicality: Demand-side management of electricity is gaining new relevance due to the shortage of generation capacity caused by the mass attacks by the Russian Federation on Ukraine's energy infrastructure. Engaging residential consumers, who account for approximately 40% of the retail electricity market, is crucial for the successful implementation of demand management measures. The rise in electricity prices for households itself encourages them to reduce consumption. At the same time, the experience of other countries, where residential consumers have always paid the market price for electricity, highlights not only the high potential for household participation in demand management programs but also the importance of educating participants in such programs.

The purpose of this study is to develop an educational application for residential electricity consumers that considers household energy consumption patterns and helps engage them in demand-side management through individualized programs.

Object of study: the process of demand-side management for residential electricity consumers.

Subject of study: methods for assessing the feasibility of participation in demand-side management programs for individual residential electricity consumers.

Research Objectives:

1. Prepare a literature review to describe the object and subject of the study;
2. Develop typical profiles of residential electricity consumers based on their annual energy consumption;
3. Develop an educational application to engage residential electricity consumers in demand-side management;
4. Assess the feasibility of participation in demand-side management programs for residential consumers with different profiles;

5. Develop a startup project for the commercialization of the developed application.

Scientific novelty of the obtained results: for the first time, the educational application “ELECTRYKA” has been developed, which, in an interactive format, allows households to assess the cost of electricity consumed per month, thereby facilitating the engagement of residential consumers in demand-side management through individualized programs.

The materials of this master's thesis may be useful in teaching the course "Demand-Side Management of Energy Resources" for students specializing in 141 "Electric Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics."

Approbation of research results.

1. The research results were presented at the International Scientific and Technical Conference “Problems of Energy Management System – PEMS’2024”;
2. Copyright documents were obtained for the work “Mobile Application ‘ELECTRYKA’” (Registration Decision dated November 11, 2024, No. 7315);
3. The project “ELECTRYKA: Educational Application” became a finalist of the XIII International Festival of Innovative Projects “Sikorsky Challenge 2024: Innovations for Peace and Security of Ukraine.”

Keywords: electricity, demand-side management, household consumer, application.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК ТА ТЕРМІНІВ	10
ВСТУП.....	12
РОЗДІЛ 1. ЗАЛУЧЕННЯ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДО УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ У КОНТЕКСТІ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИКИ	13
1.1 Світові тенденції залучення побутових споживачів електричної енергії до управління попитом у контексті декарбонізації.....	13
1.2 Особливості електроспоживання побутових споживачів	19
1.3 Досвід та актуальні задачі управління попитом побутових споживачів електричної енергії в Україні	25
1.4 Огляд існуючих інструментів для залучення побутових споживачів електричної енергії до управління попитом	30
Висновки до розділу 1	36
РОЗДІЛ 2. ОЦІНЮВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ УЧАСТІ В ПРОГРАМАХ УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ ДЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПОБУТОВОГО СПОЖИВАЧА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	38
2.1 Сегментування побутових споживачів електричної енергії	38
2.2 Типові побутові електроприлади та оцінювання часу їх використання	42
2.3 Індивідуальне оцінювання доцільності для побутового споживача участі в програмі управління попитом	49
Висновки до розділу 2	51
РОЗДІЛ 3. НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ЗАЛУЧЕННЯ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ ДО УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ.....	52
3.1 Організація збору даних у інтерактивному форматі для різних груп побутових споживачів	52
3.2 Потужність та час використання типових електроприладів	58
3.3 Побутові електроприлади, що можуть бути задіяні для вирівнювання добового графіка навантаження	61
3.4 Оцінювання доцільності участі в програмі управління попитом побутових споживачів різних груп	64
Висновки до розділу 3	74
РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЄКТ КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБЛЕНОГО ЗАСТОСУНКУ ELECTRYKA	76

4.1 Опис ідеї проекту.....	76
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	77
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	79
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту та маркетингової програми	81
Висновки до розділу 4	84
ВИСНОВКИ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89
ДОДАТОК А	95
ДОДАТОК Б	99
ДОДАТОК В	103
ДОДАТОК Г	104

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК ТА ТЕРМІНІВ

Скорочення

ДТ – тарифи на електричну енергію, диференційовані за періодами часу;

МЕА – Міжнародне енергетичне агентство;

ОЕС України – об'єднана енергетична система України;

НКРЕКП – Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг;

DSM – Demand Side Management – управління попитом;

DR – Demand Response – реагування на попит.

Терміни

Електрична енергія – енергія, що виробляється на об'єктах електроенергетики і є товаром, призначеним для купівлі-продажу [21].

Управління попитом – всеохоплюючий або інтегрований підхід, спрямований на здійснення впливу на обсяг та графік споживання електричної енергії з метою зменшення споживання первинної енергії та максимальних (пікових) навантажень, при цьому перевага надається залученню інвестицій, спрямованих на підвищення енергоефективності, інші заходи, зокрема укладення контрактів на переривчасте постачання, та засоби регулювання навантаження, порівняно з інвестиціями у разі збільшення генеруючих потужностей, якщо перший із зазначених заходів є більш ефективним та економічно доцільним варіантом, враховуючи позитивний вплив на навколишнє природне середовище в результаті скорочення споживання енергії та аспекти, пов'язані з безпекою постачання, і пов'язані з ними витрати на розподіл, а також процес впливу на обсяги або моделі (технологічні, організаційні, економічні) споживання електричної енергії кінцевими споживачами [21].

Побутовий споживач (індивідуальний побутовий споживач) – фізична особа, яка використовує електричну енергію для забезпечення власних побутових потреб, що не включають професійну та/або господарську діяльність [21].

Реагування на попит – зміни у споживанні електричної енергії (електричного навантаження) кінцевими споживачами порівняно з їхніми звичайними або поточними моделями споживання у відповідь на ринкові сигнали, у тому числі на змінні у часі ціни на електричну енергію або заохочувальні виплати, або на прийняття заявки кінцевого споживача на продаж зменшення або збільшення попиту за ціною на організованому ринку окремо чи через агрегацію, а також зміни, що виникають у результаті управління попитом на електричну енергію у відповідь на зміни умов постачання електричної енергії [21].

ВСТУП

У сучасному світі питання енергоефективності та управління попитом на електричну енергію набувають особливої актуальності на тлі глобальних викликів декарбонізації енергетики та зростаючого попиту на електричну енергію. Побутові споживачі відіграють важливу роль у загальному електроспоживанні, а їхні звички, технічне оснащення домогосподарств та особливості використання електричної енергії протягом доби, тижня, року створюють значний потенціал для управління попитом.

Для України ця проблема є надзвичайно гострою через дефіцит генерувальних потужностей, руйнування енергетичної інфраструктури та необхідність забезпечення стабільності об'єднаної енергосистеми. Залучення побутових споживачів до програм управління попитом на електричну енергію дозволяє вирівнювати добовий графік електричного навантаження та підвищувати ефективність функціонування енергосистеми.

Управління попитом побутових споживачів вимагає індивідуального підходу з урахуванням їхніх особливостей, таких як характеристики будівлі, зокрема використання електричної енергії для опалення та гарячого водопостачання, соціально-демографічних особливостей домогосподарства, побутових електроприладів, що наявні в користуванні, звичок та ставлення споживачів до енергозбереження. Одним із ключових інструментів є впровадження автоматизованих систем моніторингу, які дозволяють споживачам контролювати та регулювати електроспоживання в реальному часі. Водночас важливою є освітня складова, що підвищує обізнаність споживачів про можливості управління попитом.

Магістерська робота спрямована на дослідження методів залучення побутових споживачів до управління попитом через розроблення навчального застосунку, що враховує особливості українського енергетичного ринку. Це дозволить зменшити витрати побутових споживачів у оплаті за електричну енергію та формувати відповідальне ставлення до споживання електричної енергії у побуті.

РОЗДІЛ 1. ЗАЛУЧЕННЯ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДО УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ У КОНТЕКСТІ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1 Світові тенденції залучення побутових споживачів електричної енергії до управління попитом у контексті декарбонізації

Споживання енергетичних ресурсів у світі щороку зростає: за даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), за період з 1971 по 2019 роки обсяг енергоспоживання збільшився у понад два рази, зі 194 ЕДж до 418 ЕДж (рис. 1.1). При цьому частка електричної енергії у загальному енергоспоживанні збільшилася з 9,5 % до 19,7 %, і складає відповідно 82,3 ЕДж.

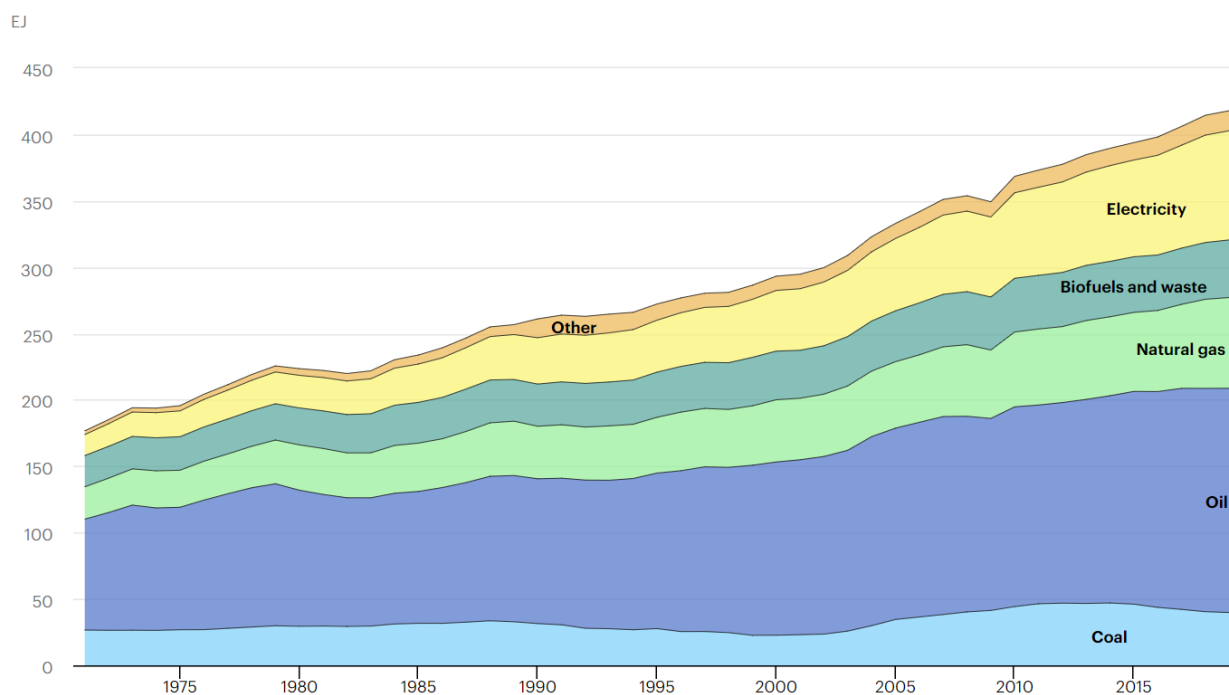


Рисунок 1.1 – Загальне споживання енергетичних ресурсів у світі, 1971-2019 [1]

Вагомим чинником збільшення частки електричної енергії у загальному енергоспоживанні є енергетична політика провідних країн світу, спрямована на досягнення цілей декарбонізації – суттєвого скорочення викидів парникових газів (і передусім, оксиду карбону CO_2) для протидії змінам клімату.

Декарбонізація в енергетиці забезпечується комплексними трансформаціями енергетичних систем, включаючи [2, 3]:

- підвищення енергоефективності, тобто зменшення потреби в енергетичних ресурсах;
- вироблення електричної енергії за допомогою технологій, що не спричиняють викиди парникових газів;
- електрифікація або іншими словами – відмова від використання викопного палива на користь електричної енергії.

У одному із останніх звітів МЕА [4] зазначається, що поширення п'яти ключових чистих енергетичних технологій – сонячних фотоелектричних установок, енергії вітру, атомної енергії, електромобілів та теплових насосів – з 2019 по 2023 роки, дозволило запобігти споживанню енергії викопного палива обсягом близько 25 ЕДж щорічно.

За період з 1971 по 2019 роки, обсяг кінцевого споживання електричної енергії в світі збільшився у понад п'ять разів (рис. 1.2).

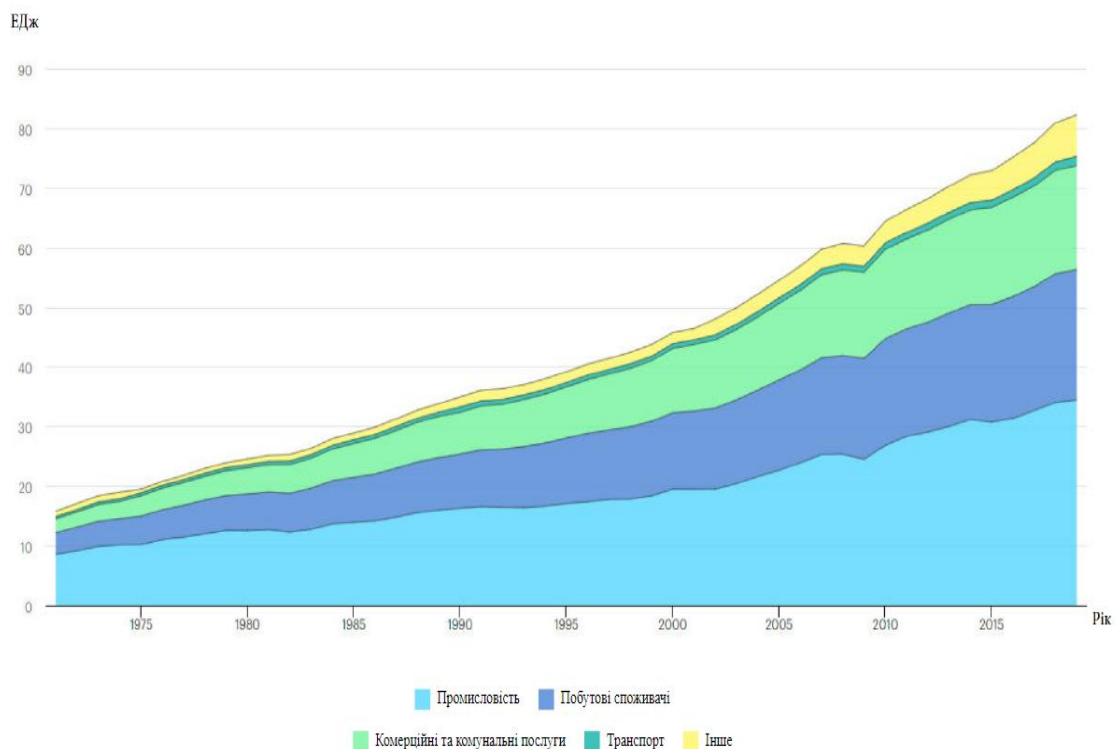


Рисунок 1.2 – Загальне кінцеве споживання електричної енергії в світі за секторами у 1971-2019 роках [5]

Як бачимо з рис. 1.2, зростання відбулося в усіх секторах, але якщо в 1971 році 54 % електроспоживання було в промисловості, то в 2019 році ця частка зменшилася до 42 %, більш вагомою стала частка побутових споживачів і сектора комерційних та побутових послуг (27 % та 21 %). Такі низьковуглецеві електротехнології як сонячні фотоелектричні установки, електромобілі та теплові насоси суттєво впливають на електроспоживання домогосподарств.

Щоб гарантувати економічно ефективний перехід до енергосистем з нульовими викидами та забезпечувати постійне збалансування попиту і пропозиції на ринку електричної енергії, застосовується управління попитом.

Управління попитом (Demand Side Management, DSM) – це сукупність заходів, спрямованих на покращення роботи енергетичної системи зі сторони споживання, що охоплює різні дії, починаючи від підвищення енергетичної ефективності та впровадження диференційованих за періодами часу тарифів, і завершуючи складними системами управління розподіленими енергетичними ресурсами в режимі реального часу [6].

Завдяки впровадженню DSM цілеспрямовано змінюється добовий графік електричного навантаження споживачів. Розрізняють шість класичних технік формування добового графіка в рамках DSM (рис. 1.3).

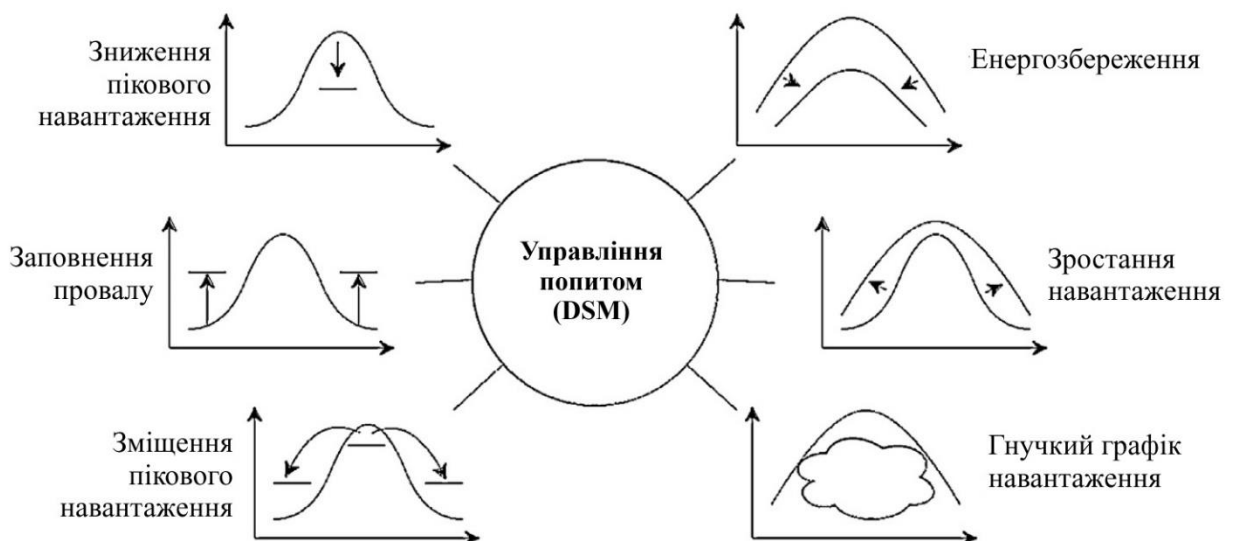


Рисунок 1.3 – Класичні техніки зміни добового графіка електричного навантаження в рамках DSM [7]

Категорії DSM представимо в табличній формі від заходів, що найменше впливають на життєдіяльність споживача, до тих, що мають найбільший вплив. Як бачимо з табл. 1.1, реагування на попит (Demand Response, DR), фізичне або ринкове, відноситься до категорій управління попитом, які передбачають зміни електричного навантаження кінцевими споживачами порівняно з їхніми звичайними або поточними моделями споживання у відповідь на сигнали ринку електричної енергії або енергосистеми.

Таблиця 1.1 – Категорії DSM (складено за результатами опрацювання [6])

Категорія DSM	Коротка характеристика
Енергетична ефективність	Зменшення споживання електричної енергії шляхом впровадження енергозберігаючих технологій та практик.
Час використання	Тарифна система, в якій ціна на електричну енергію змінюється залежно від часу доби.
Ринкове реагування на попит	Базується на економічних і фінансових механізмах, що спонукають споживачів змінювати своє енергоспоживання на основі ринкових сигналів, таких як зміни цін на електричну енергію.
Фізичне реагування на попит	Передбачає фізичні обмеження споживання або відключення. Це може бути реалізовано у випадках надзвичайних ситуацій, коли необхідно швидко знизити навантаження в енергосистемі, щоб уникнути аварій або збоїв в роботі електромережі.
Оперативний резерв	Резерв потужності, який підтримується в готовності та може бути активований майже миттєво (протягом секунд) у випадку різкого збільшення попиту або аварійних ситуацій в енергосистемі. Цей резерв використовується для підтримки стабільності системи до того, як будуть залучені інші джерела енергії.

Таким чином, DSM передбачає використання різних механізмів і стратегій, спрямованих на зміну профілю споживання електричної енергії в точках її кінцевого споживання, щоб збалансувати попит і пропозицію в енергосистемі і уникнути додаткових капіталовкладень у нові потужності генерації, інфраструктуру передачі чи розподілу.

У нещодавньому дослідженні [8], автори підкреслюють важливість управління попитом для досягнення цілей декарбонізації та аналізують ключові фактори, що впливають на участь у програмах DSM житлових і комерційних будівель. Серед таких факторів розглядаються *економічні стимули*, тобто виплати фіксованих сум учасникам програм DSM, ціноутворення залежно від часу споживання електричної енергії або в реальному часі тощо, а також ряд неекономічних факторів: *структурні бар'єри*, зокрема відсутність смарт-обліку або технічної можливості автоматично керувати роботою електроприладів; *сервіси третіх сторін* – агрегаторів, енергосервісних компаній, які мультиплікують результати участі в програмах DSM; *залученість споживачів*, включно з програмами навчання та детального інформування про електроспоживання; *сегментування споживачів*, передусім окрема робота з домогосподарствами, що мають низькі доходи; *регуляторні інструменти* – кодекси та стандарти для будівель і електроприладів, які підтримують управління попитом. Автори дослідження роблять висновок, що вищий вплив на участь у програмах DSM житлових і комерційних будівель мають сервіси третіх сторін, залученість споживачів та усунення структурних бар'єрів, але жоден із факторів суттєво не превалює над іншими. Крім того, значно кращі результати досягаються за умови застосування повністю або частково автоматизованих систем керування попитом, порівняно з системами, що покладаються виключно на активні дії самого споживача електричної енергії.

МЕА наводить приклади багатьох країн світу, де тестуються інноваційні рішення для розширення участі побутових споживачів у програмах реагування на попит [9]:

- Франція, Італія, Нідерланди та США, експериментують із заряджанням електромобілів за технологією «автомобіль-мережа», яка дозволяє автомобілям передавати електроенергію до мережі;
- у 2022 році Сполучене Королівство запустило програму щодо розумних енергетичних пристроїв для тестування сумісних систем DR, зокрема через смарт-лічильники та системи управління енергією;

- в Індії Tata Power у лютому 2023 року запустила програму реагування на попит, спрямовану на 55 тис житлових та 6 тис великих комерційних і промислових споживачів, з метою зниження пікового навантаження на 75 МВт (з планами розширити до 200 МВт до літа 2025 року);
- у січні 2023 року в Японії компанія Itochu оголосила про пілотний проект для тестування використання систем зберігання енергії в житлових будинках для реагування на попит;
- у США понад 9 тис споживачів вже приєдналися до безкоштовної платформи GridRewards, яка дозволяє знизити попит на 20 МВт; кожен учасник отримує в середньому 80 доларів США під час літніх пікових періодів у штаті Нью-Йорк. У Техасі компанія Vistra дозволяє будь-якому клієнту, що використовує смарт-електронагрівальні прилади, брати участь у програмах реагування на попит.

Пілотні програми із залучення побутових споживачів до управління попитом продемонстрували значний потенціал зменшення пікових навантажень в енергосистемі завдяки активній участі цієї групи. Разом із тим, ефективність таких програм напряду залежить від рівня обізнаності побутових споживачів. Аналіз результатів пілотного проекту National Grid ESO у Великій Британії взимку 2022 року [10] показав, що багато побутових споживачів через відсутність належних знань не змогли зменшити своє електроспоживання, залишаючи працювати енергоємні прилади. Вони не отримали суттєвої винагороди, що сформувало хибне уявлення про недоцільність участі в програмах реагування на попит. Тобто, залучення побутових споживачів до управління попитом потребує розроблення навчальних програм про те, як саме скорочувати споживання електричної енергії без втрати комфорту і як досягати суттєвого економічного ефекту.

1.2 Особливості електроспоживання побутових споживачів

У будь-якій країні, побутові споживачі електричної енергії досить чисельна група, всередині якої будуть суттєві відмінності. Розглянемо фактори, що визначають електроспоживання у побуті, із врахуванням як загального обсягу споживання за добу, місяць або рік, так і нерівномірність електричного навантаження протягом доби, дня тижня, року.

У дослідженні [11] проаналізовано вплив на електроспоживання побутових споживачів таких факторів, як характеристики будівлі, соціально-демографічні показники, використання побутових електроприладів, звички та ставлення споживачів до енергозбереження. Розглянемо ці фактори детальніше.

- *Характеристики будівель.* Домогосподарства з електричним опаленням та гарячим водопостачанням мають значно вищий обсяг електроспоживання, порівняно з тими, що використовують для цих цілей природний газ. І звичайно, на обсяг електроспоживання таких будівель має суттєвий вплив географічне розташування, яке визначає потребу в енергії для опалення та охолодження. Зазначається також, що житлові будинки більшої площі та приватні будинки, зазвичай, мають вище електроспоживання. Вплив інших факторів, наприклад, характеристики огорожувальних конструкцій будівлі, суттєвого впливу не мають.

- *Соціально-демографічні показники.* Збільшення кількості мешканців у домогосподарстві прямо корелює зі зростанням електроспоживання. Сім'ї з трьома або більше мешканцями, а також ті, що мають підлітків, споживають більше електричної енергії. Вікова категорія голови домогосподарства також має значення: молодші люди, зазвичай, споживають більше електричної енергії, тоді як старші (понад 65 років) споживають менше.

- *Побутові електроприлади та освітлення.* Кількість побутової техніки та частота її використання є важливими чинниками, які спричиняють зростання електроспоживання. Щодо конкретних електроприладів, які збільшують обсяг електроспоживання, то це: кількість холодильників та електроприладів для приготування їжі, сушильні машини, водонагрівачі.

Використання енергоефективних ламп для освітлення може дещо знижувати електроспоживання, але їхній внесок у загальний обсяг електроспоживання залишається незначним.

- *Звички та ставлення споживачів до енергозбереження.* Хоча екологічно чисті технології та енергоефективні звички активно пропагуються, дослідження показують, що ці фактори не мали суттєвого впливу на загальне споживання електричної енергії домогосподарства. Споживачі, які заявляли про бажання купувати енергоефективні прилади, використовували більше електричної енергії через зростання кількості побутової техніки.

Таким чином, опрацювавши дані про електроспоживання домогосподарств із централізованим газопостачанням у Англії, автори згаданого вище дослідження називають основним чинником для розуміння електроспоживання побутових споживачів саме наявні у власності і користуванні електроприлади.

У нещодавньому дослідженні електроспоживання домогосподарств у Румунії [12] значна увага приділена соціально-демографічним чинникам електроспоживання домогосподарств (рис. 1.4). Із 678 опитаних побутових споживачів; 74,15 % респондентів зазначили, що їхнє електроспоживання зросло за останні 5, 10 та 15 років. На побутових споживачів припадає 30 % загального споживання електричної енергії, середнє споживання за місяць типового домогосподарства становить близько 283 кВт·год. Найбільшими споживачами електричної енергії в домогосподарствах є електрообігрівачі, електроплити, кондиціонери, холодильники, пральні, сушильні та посудомийні машини. Близько 5 % опитаних споживачів зазначили, що вже використовують відновлювані джерела енергії в побуті, ще 44 % декларують свою зацікавленість у використанні таких джерел; найбільший інтерес побутові споживачі виявляють до сонячних фотоелектричних систем (62 %), теплових насосів (14 %), сонячних колекторів (13 %); ще 4 % розглядають використання вітрової електроустановки, 7 % – інші відновлювані джерела.



Рисунок 1.4 – Соціально-демографічні чинники електроспоживання домогосподарств (за результатами опрацювання [12])

Як зазначалося в п. 1.1 цього дослідження, одним із завдань управління попитом є згладжування пікових навантажень без значного зниження загального споживання електричної енергії. Проаналізуємо детальніше нерівномірність електроспоживання побутових споживачів протягом доби, дня тижня, року.

У дослідженні [13] проаналізовано дані обліку електроспоживання 649 домогосподарств одного із регіонів Угорщини. Автори роблять висновки щодо нерівномірності електроспоживання, які є досить типовими для групи «побутові споживачі» в будь-якій країні:

- *протягом доби* – найбільш інтенсивне споживання електричної енергії спостерігається у ранкові (з 7:00 до 10:00) та вечірні (з 18:00 до 22:00) години, коли споживачі активно використовують побутові електроприлади, такі як освітлення, пральні машини, електроплити тощо; протягом дня споживання значно нижче, що пов'язано з тим, що частина споживачів перебуває поза домом;
- *протягом тижня* – споживання у вихідні дні (субота, неділя) дещо змінюється, через більш рівномірне використання електроприладів протягом дня, тоді як у будні спостерігаються виражені пікові періоди зранку та ввечері;
- *протягом року* – електроспоживання побутових споживачів має сезонність, у зимові місяці (січень) споживання зростає, оскільки домогосподарства використовують електричну енергію для обігріву будівель; влітку (серпень) спостерігається збільшене споживання через активне використання кондиціонерів у деяких домогосподарствах.

Разом із тим, важливо зазначити, що у добових графіках окремих побутових споживачів можуть спостерігатися суттєві відмінності. Цей факт добре ілюструє дослідження [14], яке присвячене проблемі моделювання профілів електричного навантаження домогосподарств. На рис. 1.5 показано добові графіки дев'яти різних приватних будинків, за результатами вимірювань у один і той же день. Лише добовий графік побутового споживача EFH2 (b) має яскраво виражені ранковий і вечірній максимуми, які типові для групи побутові споживачі. Окремо наголошується на суттєвих змінах у споживанні домогосподарств, що відбулися після 2000-х років і які недостатньо досліджені та не відображені у стандартних добових профілях, що використовуються в нормативних документах.

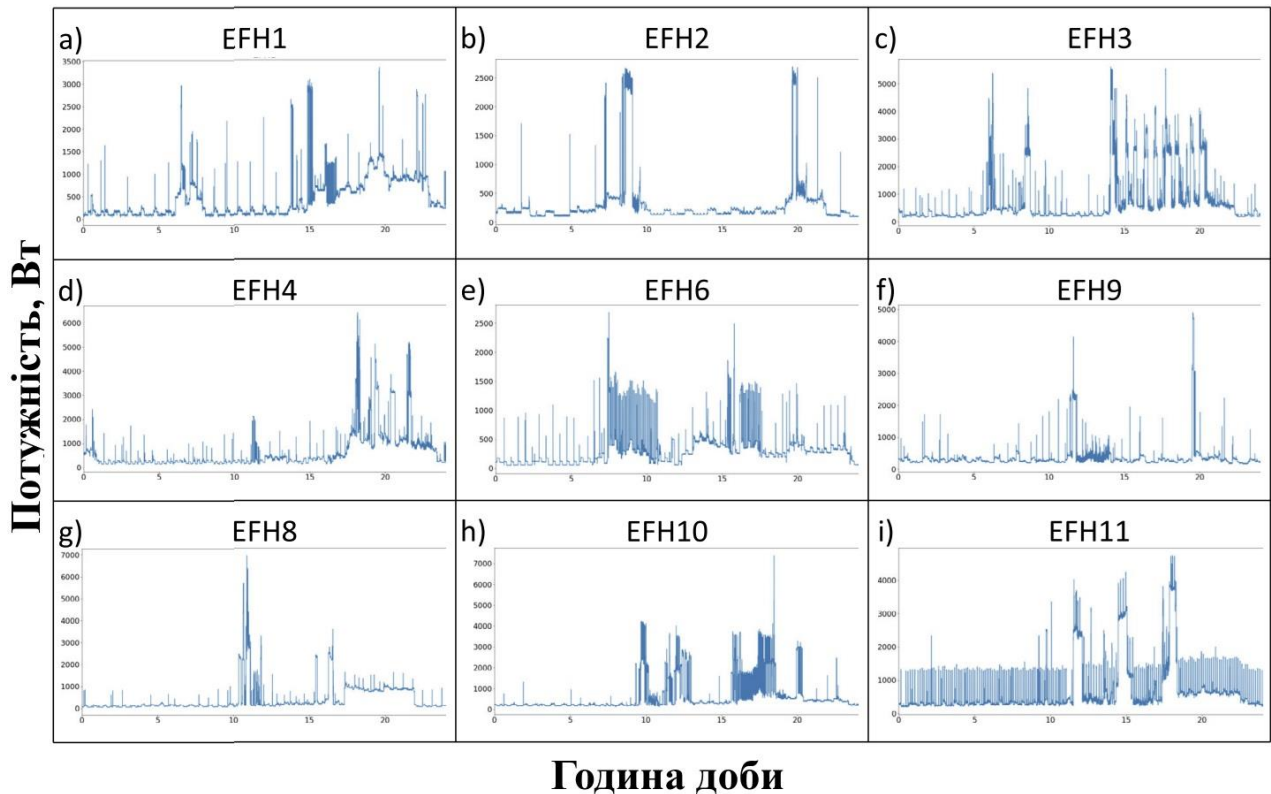


Рисунок 1.5 – Добові графіки електричного навантаження дев'яти різних домогосподарств за результатами вимірів одного і того ж дня [14]

У дослідженні [15] показано вплив пандемії COVID-19 на моделі споживання електричної енергії в побутовому секторі, зокрема через тривалі періоди перебування людей вдома. Внаслідок карантинних заходів, таких як локдауни та дистанційна робота, попит на електричну енергію в житлових будинках суттєво зріс, особливо у зв'язку з роботою систем опалення, вентиляції та кондиціонування, а також частішим використанням побутових приладів. Наприклад, у деяких країнах було зафіксовано зростання електроспоживання на 11–32 % у порівнянні з докарантинним періодом. Основний приріст припав на денні години, тобто відбулося зміщення звичних для побуту ранкових та вечірніх піків електроспоживання.

У щорічних статистичних звітах Європейського Союзу [16] використовується стандартна структура кінцевого споживання енергії (в тому числі електричної енергії) домогосподарствами: опалення житлових приміщень, кондиціонування житлових приміщень, підігрів води, приготування їжі, освітлення та живлення побутових пристроїв, інше. Державна служба статистики

України публікує аналогічні дані [17]. На офіційному сайті доступний лише звіт за 2020 рік; як бачимо з рис. 1.6, 70 % спожитої домогосподарствами електричної енергії використовується для освітлення та живлення побутових пристроїв.

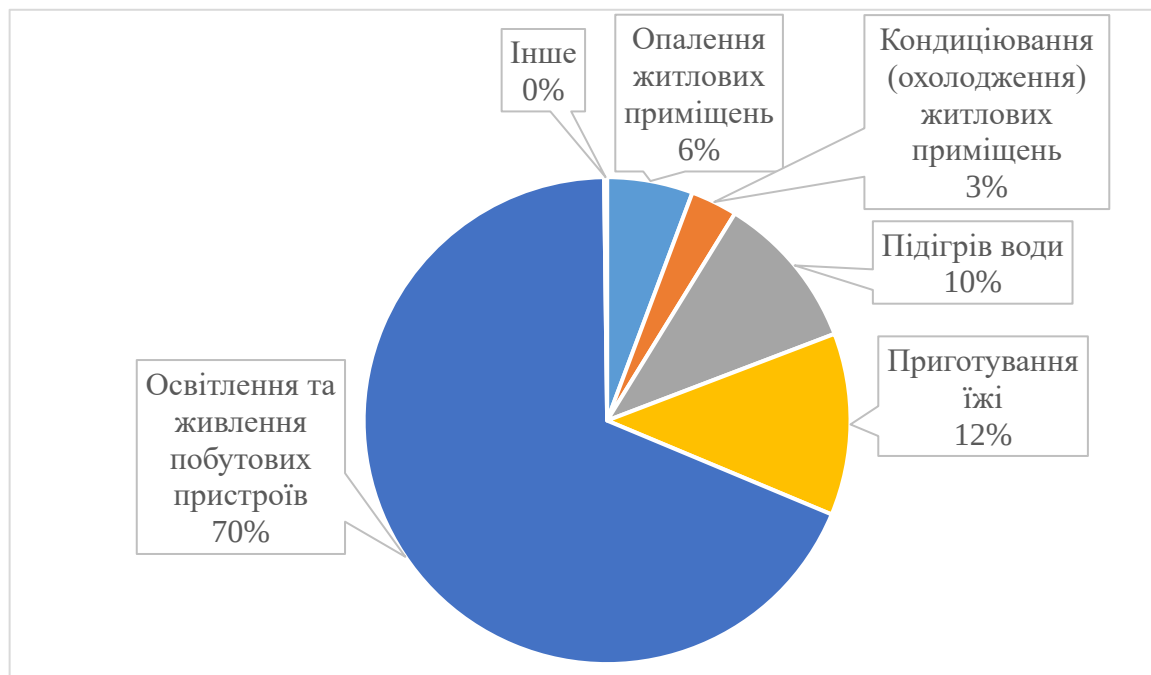


Рисунок 1.6 – Структура кінцевого споживання електричної енергії за цілями призначення в Україні у 2020 році (за даними [17])

Детальні дослідження питомих показників електроспоживання домогосподарств з'явилися після запровадження енергетичної сертифікації будівель. Наприклад, у [18] наведено розрахунки і обґрунтування кількісних оцінок річного обсягу електроспоживання освітлювальних приладів, холодильників, пральних та сушильних машин, телевізійної техніки, посудомийних машин, стельових вентиляторів, електроприладів для приготування їжі на квадратний метр житлового будинку в США. В Україні також упроваджено енергетичну сертифікацію будівель, у відповідній методиці [19] зокрема наведено рекомендації щодо розрахунків питомого енергоспоживання будівлі як кількості енергії, необхідної для опалення, охолодження, гарячого водопостачання, вентиляції або освітлення одиниці опалювальної (кондиціонованої) площі або об'єму будівлі.

1.3 Досвід та актуальні задачі управління попитом побутових споживачів електричної енергії в Україні

Управління попитом на електричну енергію в Україні почало впроваджуватися на початку 2000-х років, із введенням в дію системи тарифів, диференційованих за періодами часу (ДТ), з двома характерними періодами доби (день / ніч) та з трьома характерними періодами доби (пік / напівпік / нічна зона). У споживачів електричної енергії з'явилася можливість організувати зонний облік електроспоживання і перейти до ДТ. До фіксованих цін на електричну енергію, які визначала Національна комісія регулювання електроенергетики, застосовувалися тарифні коефіцієнти кожної з характерних зон доби.

У 2005 році група споживачів, які користувалися ДТ, налічувала більше 8 тис з річним споживанням електричної енергії близько 37 млрд кВт·год або 27 % від загального електроспоживання в Україні [20]. Енергоємні промислові підприємства почали переносити споживання електричної енергії на періоди низького попиту, наприклад, вводити нічні зміни в роботі, що зменшувало навантаження в пікові години Система ДТ показала свою ефективність у вирівнюванні добового графіка навантажень об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України. Станом на 2010 рік кількість споживачів, що використовували тризонні ДТ, досягла 60,5 тис, з яких 46,78 тис – побутові споживачі. Але як було зазначено в [20], до 2010 року потенціал системи ДТ у вирівнюванні добового графіка навантаження ОЕС України був практично вичерпаний.

Після прийняття Закону України «Про ринок електричної енергії» у 2017 році [21] було запроваджено нову модель ринку електричної енергії. Утворено різні сегменти ринку: ринок двосторонніх договорів, ринок «на добу наперед», внутрішньодобовий та балансуючий ринок. У ринкових умовах ціна електричної енергії щогодини різна. Але побутові споживачі електричної енергії фактично не стали активними учасниками нової моделі ринку. Згідно [22], постачання електричної енергії побутовим споживачам відноситься до спеціальних обов'язків постачальників універсальних послуг і здійснюється не за ринковими, а за фіксованими цінами.

У річному звіті Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, (НКРЕКП) за 2023 рік [23] наголошувалося на тому, що фіксовані ціни на електричну енергію для побутових споживачів в Україні значно нижчі за ринкові і також нижчі за середні ціни на електричну енергію у європейських країнах. Вартість наданої послуги із забезпечення доступності електричної енергії для побутових споживачів у 2023 році склала 145 млрд грн, що на 15 % вище, порівняно з попереднім роком. 99,9 % зазначених витрат покрили компанії-виробники електричної енергії ДП «НАЕК «Енергоатом» та ПрАТ «Укргідроенерго».

Щоб зменшити таке додаткове навантаження на державні компанії, було прийнято рішення про підвищення цін на електричну енергію для побутових споживачів. На період з 1 червня 2024 року по 30 квітня 2025 рік ціни зафіксовано на рівні 4,32 грн/кВт·год (табл. 1.2). Для побутових споживачів, що використовують електроопалювальні установки, ціни в період з 1 жовтня по 30 квітня нижчі, складають 2,64 грн/кВт·год.

Таблиця 1.2 – Фіксовані ціни на електричну енергію для побутових споживачів в Україні з 1 червня 2024 р. по 30 квітня 2025 р. [22]

Споживач	Фіксована ціна, грн/кВт·год		
	без ПДВ	ПДВ	з ПДВ
Для індивідуальних та колективних побутових споживачів	3,6	0,72	4,32
Для індивідуальних та колективних побутових споживачів, які проживають в житлових будинках, обладнаних електроопалювальними установками:			
у період з 1 червня по 30 вересня (включно)	3,6	0,72	4,32
у період з 1 жовтня по 30 квітня (включно):			
- до 2000 кВт·год спожитої електричної енергії на місяць (включно, за весь обсяг споживання)	2,2	0,44	2,64
- понад 2000 кВт·год спожитої електричної енергії на місяць (за весь обсяг споживання)	3,6	0,72	4,32

За наявності в побутових споживачів обліку споживання електричної енергії за періодами часу, розрахунки здійснюються за фіксованою ціною, але із застосуванням тарифних коефіцієнтів за вибором споживача (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Тарифні коефіцієнти для ДТ (складено за даними [22])

Тип	Часовий період	Коефіцієнт
Двотарифний	23:00 – 07:00	0,5
	07:00 – 23:00	1
Тризонний	08:00 – 11:00, 20:00 – 22:00	1,5
	07:00 – 08:00, 11:00 – 20:00, 22:00 – 23:00	1
	23:00 – 07:00	0,4

Підвищення фіксованих цін на електричну енергію для побутових споживачів з 1 червня 2024 р. є додатковим стимулом для цієї групи долучатися до програм управління попитом, зокрема через систему ДТ. Разом із тим, використання ДТ потребує облаштування спеціального обліку електроспоживання, тому важливо для кожного окремого домогосподарства порівнювати потенційну економію в оплаті за електричну енергію та витрати на встановлення зонного лічильника.

Загалом, задачі управління попитом на електричну енергію набули нової актуальності з огляду на дефіцит генерувальних потужностей, що виник після повномасштабного вторгнення Російської Федерації та масових атак об'єктів енергетики України. Доступна встановлена потужність в ОЕС України скоротилася на 66 %, із 27 ГВт у 2021 році до 18 ГВт у 2023 році [23]. У публікаціях науковців [24] управління попитом на електричну енергію (DSM) та реагування на попит (DR) розглядається як невід'ємна складова відновлення енергетичної інфраструктури України. У відповідь на нові виклики, у 2023-2024 роках були внесені зміни в Закон України «Про ринок електричної енергії», зокрема врегульовано діяльність з агрегації – «об'єднання електроустановок, призначених для виробництва та/або споживання, та/або зберігання електричної

енергії з метою купівлі-продажу електричної енергії, надання допоміжних послуг та/або послуг з балансування на ринку електричної енергії, а також введено визначення терміну «реагування на попит».

До управління попитом важливо залучити побутових споживачів, які станом на 2023 рік складають 38 % роздрібного ринку електричної енергії з річним обсягом споживання 31,6 млрд кВт·год [23]. Як видно з рис. 1.7, у 2022-2023 роках відбулося суттєве зниження обсягів споживання електричної енергії. Це обумовлено тимчасовою окупацією українських територій; скороченням промислового виробництва через руйнування виробничих потужностей; застосуванням аварійних, стабілізаційних, екстрених відключень; призупиненням будівництва; руйнуванням житлового фонду та об'єктів соціальної інфраструктури; мінуванням земель та безпрецедентними міграційними процесами унаслідок воєнних дій.

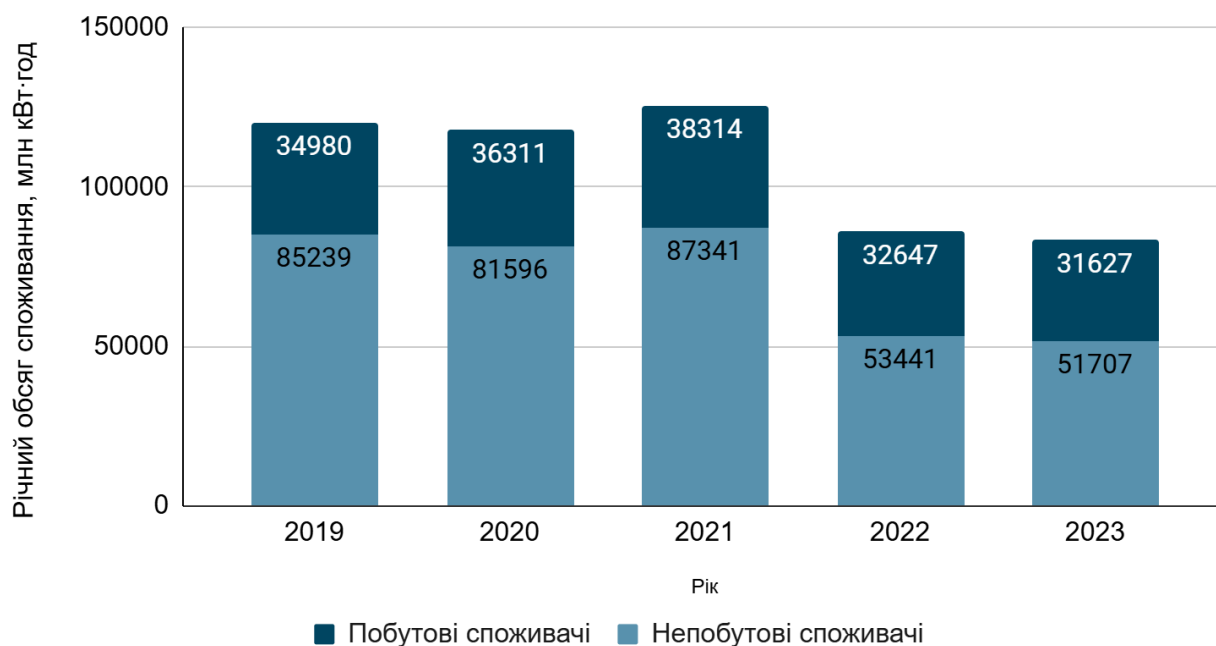


Рисунок 1.7 – Динаміка обсягів споживання на ринку електричної енергії у 2019-2023 роках (за даними звіту НКРЕКП [23])

Найбільша група споживачів до повномасштабного вторгнення – «Промисловість» – втратила свою першість у структурі споживання електричної енергії. Натомість, у 2023 році група «Населення» стала найбільшим споживачем електричної енергії, тому управління попитом побутових споживачів стає

ключовим фактором для зниження пікових навантажень та підвищення ефективності роботи ОЕС України. Це також створює умови для впровадження сучасних програм реагування на попит, які допоможуть стабілізувати навантаження в ОЕС України та підвищити її стійкість, що є особливо актуальним за умови зростання навантаження у післявоєнний період.

У дослідженні українських науковців [25] обґрунтовано важливість залучення побутових споживачів електричної енергії до управління попитом. Автори реалізували натурний експеримент та оцінили можливість та ефективність участі побутових споживачів у балансуєчому ринку, за умови застосування агрегації та наявності в користуванні побутових споживачів накопичувальних бойлерів для гарячого водопостачання.

Безумовно, широке впровадження програм реагування на попит потребує організації смарт-обліку у побутових споживачів електричної енергії, і такі плани публікувалися операторами систем розподілу до 2022 року, наприклад, для мешканців міста Києва [26]. Хоч і у обмеженому обсязі, проте дана робота триває в рамках Концепції впровадження «розумних мереж» в Україні до 2035 року [27]. Зокрема, у 2023 році 317 тис побутових споживачів встановили інтелектуальні лічильники для автоматичного формування достовірного балансу споживання електричної енергії [23].

З огляду на дію постанови НКРЕКП № 349 від 26.03.2022 року [28], що обмежує доступ до інформації щодо об'єктів критичної інфраструктури в умовах воєнного стану, на даний момент в Україні неможливо зібрати та публічно представити детальніші дані про електроспоживання. Це звужує можливості для аналізу профілів споживачів, подібних до тих, що були отримані в згаданому вище дослідженні ринку Угорщини [13]. Попри ці виклики, дослідження, спрямовані на залучення побутових споживачів до управління попитом інших європейських країн можуть допомогти змодельовати поведінку побутових споживачів в Україні.

Через регулярні відключення електричної енергії, багато домогосподарств в Україні звертаються до автономних джерел живлення. Одним із найпопулярніших рішень стають сонячні електростанції (СЕС) із системами

акумуляції, які дозволяють забезпечити власні потреби в електричній енергії та знизити залежність від централізованої системи електропостачання.

Мережеві СЕС без акумуляції були популярними в Україні і раніше завдяки можливості для побутових споживачів користуватися «зеленим» тарифом. За даними регулярного моніторингу Держенергоефективності, станом на кінець 2021 року мережеві СЕС використовували близько 45 тис домогосподарств, загальна встановлена потужність установок перевищувала 1,2 ГВт [29]. Через дефіцит потужності в ОЕС України, домогосподарства почали віддавати перевагу саме СЕС із системами акумуляції.

З тих же причин, у користуванні побутових споживачів електричної енергії зростає кількість портативних зарядних станцій, таких як EcoFlow, Bluetti та інші. Ці пристрої дозволяють забезпечити живлення побутових електроприладів під час відключень, і відповідно після відновлення централізованого електропостачання споживають електричну енергію з мережі.

Щодо інших категорій DSM (табл. 1.1), то в Україні також активно впроваджуються енергоефективні практики, що є невід'ємною складовою процесів євроінтеграції. Зокрема, технічні регламенти щодо енергетичного маркування побутової техніки (холодильники, пральні машини) [30] та освітлювальних приладів [31] було запроваджено ще у 2008-2013 роках. У 2022 році було прийнято Закон України про енергоефективність [32], що визначає правові, економічні та організаційні засади відносин, що виникають у сфері забезпечення енергоефективності, в тому числі під час споживання електричної енергії.

1.4 Огляд існуючих інструментів для залучення побутових споживачів електричної енергії до управління попитом

Як було показано в п. 1.1 кращі результати в залученні побутових споживачів електричної енергії до управління попитом досягаються за умови застосування повністю або частково автоматизованих систем керування попитом, проте їх застосування також потребує навчання щодо особливостей електричної енергії як товару.

Розвиток технологій дозволив створити широкий спектр рішень, що допомагають не лише відстежувати споживання електричної енергії в реальному часі, але й автоматизувати процеси управління попитом, надавати рекомендації для зменшення витрат та підвищення енергоефективності. У дослідженні науковців США 2010 року [18] зазначається, що пристрої для енергомоніторингу та «розумні лічильники» для побутового використання вже доступні на ринку за невисокою ціною. Зазвичай, такі системи оснащені компактними дисплеями, що кріпляться на стіну або встановлюються на стіл, і відображають електроспоживання домогосподарства в режимі реального часу, з оновленням даних щосекунди. Більшість таких пристроїв збирають дані про споживання для створення прогнозів щомісячних витрат або для відображення часових тарифів. Такі базові системи доступні за ціною від \$200, тоді як більш дорогі моделі можуть забезпечувати детальний аналіз електроспоживання за окремими електроприладами. Вони надають звіти про використання електричної енергії різними пристроями, що дозволяє споживачам глибше зрозуміти структуру свого електроспоживання та отримати рекомендації для зменшення витрат.

У таблиці 1.4 наведено результати порівняльного аналізу окремих інструментів для моніторингу та аналізу електроспоживання побутових споживачів, що вже активно використовуються у світі, з акцентом на їхні функціональні можливості, переваги та обмеження.

Таблиця 1.4 – Інструменти для моніторингу та аналізу електроспоживання побутових споживачів у світі

Назва та функціонал	Переваги	Недоліки
Google Nest [33] Інтегрована система розумного будинку, що включає моніторинг електроспоживання, контроль обігріву та охолодження, автоматичне налаштування режимів, залежно від поведінки користувача, часу доби та погодних умов	■ автоматизація процесів, ■ рекомендації для зниження витрат, ■ інтеграція з іншими пристроями для створення єдиного інтерфейсу управління	■ висока вартість обладнання, ■ необхідність встановлення додаткових пристроїв для роботи системи

Назва та функціонал	Переваги	Недоліки
Emporia Energy [34] Моніторинг електроспоживання в реальному часі, створення звітів, рекомендації для оптимізації, інтеграція зі смарт-розетками та іншими IoT-пристроями для дистанційного керування споживанням.	▪ детальний аналіз електроспоживання, ▪ налаштування автоматичних сповіщень, ▪ підтримка інтеграції з іншими розумними пристроями для ефективного управління енергоспоживанням.	▪ висока ціна обладнання та сенсорів, ▪ потреба у складній установці системи, що може бути викликом для звичайних користувачів.
Energy Efficiency Calculator [35] Застосунок для інтерактивного оцінювання електроспоживання побутових приладів, розрахунок вартості електроспоживання залежно від часу роботи приладів, моделювання впливу зміни поведінки користувача на загальне споживання.	▪ легкість використання, ▪ доступність без потреби у додатковому обладнанні, ▪ корисний інструмент для навчання споживачів основам управління попитом.	▪ відсутність можливості моніторингу в реальному часі, ▪ відсутність адаптації до місцевих умов і тарифної системи України.

Як бачимо з табл. 1.4, інструменти Google Nest та Emporia Energy це сучасні технічні рішення для автоматизованого керування попитом. Натомість Energy Efficiency Calculator працює з освітньою складовою управління попитом та сприяє підвищенню обізнаності побутових споживачів щодо раціонального використання електричної енергії.

Вартість автоматизованих систем керування попитом для побутових споживачів електричної енергії значно варіюється залежно від їх функціоналу. Наприклад, вартість базового обладнання Google Nest для споживачів в Україні стартує від \$250–300, тоді як розширені системи можуть коштувати понад \$500, враховуючи додаткові функції. Для багатьох українських домогосподарств така ціна може бути суттєвою перешкодою для впровадження подібних технологій.

Крім того, вартість адаптації цих рішень до місцевих умов, зокрема до тарифів, ще більше ускладнює їхню популяризацію.

Далі проаналізуємо, які рішення для моніторингу та аналізу електроспоживання побутових споживачів враховують специфіку роздрібного ринку електричної енергії в Україні (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Інструменти для моніторингу та аналізу електроспоживання побутових споживачів в Україні

Назва та функціонал	Переваги	Недоліки
YASNO [36] Інструмент для перегляду рахунків, передачі показів лічильників, оплати рахунків онлайн, додавання кількох об'єктів до одного акаунту для зручного керування послугами.	■ простота використання, ■ доступність для широкого кола користувачів, ■ можливість керувати кількома об'єктами одночасно.	■ відсутність функціоналу для контролю споживання електричної енергії в реальному часі, ■ обмеження статистики лише інформацією за сплаченими рахунками, ■ відсутність інтеграції з електроприладами.
e-svitlo [37] Перегляд актуальної інформації, контроль розрахунків, оплата електроспоживання, завантаження та друк рахунків, замовлення послуг приєднання.	■ простий у використанні, доступний для широкого кола користувачів, ■ можливість замовляти послуги та керувати розрахунками онлайн, ■ мобільна версія для Android.	■ відсутність функціоналу для контролю електроспоживання в реальному часі, ■ відсутність інтеграції з електроприладами, ■ обмежені можливості для деталізації аналізу споживання.

В Україні розвиток інструментів для залучення побутових споживачів електричної енергії до управління попитом тривалий час відставав від світових тенденцій через декілька ключових факторів. По-перше, електрична енергія для побутових споживачів була відносно дешевою, що зменшувало стимули для домогосподарств долучатися до програм управління попитом. Наявні інструменти обмежуються функцією кабінету користувача, у якому можна

переглядати рахунки та подавати покази лічильників. По-друге, впровадження подібних систем в Україні гальмувалося відсутністю розвиненої інфраструктури для «розумних лічильників» та інших інтегрованих рішень. Інвестиції у розвиток таких технологій залишалися обмеженими через низький рівень обізнаності споживачів про можливі переваги управління електроспоживанням. По-третє, недостатня державна підтримка програм управління попитом побутових споживачів електричної енергії ще більше ускладнювали ситуацію. Як результат, більшість доступних інструментів в Україні залишаються простими сервісами для обліку електроспоживання без інтеграції інноваційних рішень, які давно поширені у світі.

Інтерес до управління попитом побутових споживачів електричної енергії почав зростати лише останніми роками у зв'язку зі збільшенням цін на електричну енергію та виникнення суттєвого дефіциту потужності в ОЕС України. Такі ініціативи як впровадження зонного обліку та згадана вище державна концепція розвитку «розумних мереж» [27] відіграють важливу роль у цьому процесі. Зокрема, впровадження інтелектуальних систем обліку дозволяє побутовим споживачам краще розуміти та контролювати свої витрати за спожиту електричну енергію.

Рішення для впровадження технологій «розумного дому», таких як Google Nest або інші інтегровані системи, вже існують на ринку і можуть бути адаптовані для використання українськими домогосподарствами. Вони дають змогу автоматизувати процеси моніторингу та управління енергоспоживанням, що дозволяє ефективно знижувати витрати. Проте такі системи переважно орієнтовані на технічні задачі і не враховують важливого аспекту – навчальних цілей, які має Energy Efficiency Calculator.

У даній роботі буде розглянуто можливість розроблення навчального застосунку для індивідуальної роботи з побутовими споживачами електричної енергії в Україні та їх залучення до програм управління попитом.

Під час розроблення навчального застосунку доцільно врахувати як універсальні особливості управління попитом побутових споживачів, так і специфічні, характерні для роздрібного ринку електричної енергії України:

- *Масове охоплення та доступність.* Оскільки в середньому обсяг електроспоживання за місяць одного побутового споживача незначний, важливо забезпечити охоплення чисельної групи побутових споживачів. Застосунок має бути розроблений з урахуванням простоти та інтуїтивності інтерфейсу, щоб ним могли користуватися люди різного віку та технічного рівня підготовки. Застосунок не повинен вимагати від користувачів додаткового обладнання чи значних інвестицій, що зробить його привабливим для широкого загалу.

- *Врахування системи ДТ, що доступна для побутових споживачів електричної енергії в Україні.* У застосунку має бути представлена інформація про чинні тарифи для побутових споживачів в Україні (з можливістю коригування), зокрема ДТ, які враховують зонний облік електроспоживання за характерними періодами доби.

- *Зміна часу використання електроприладів.* Застосунок повинен містити функцію рекомендацій щодо використання частини електроприладів (наприклад, водонагрівачів, пральних та сушильних машин тощо) у нічні періоди низьких цін на електричну енергію.

- *Інтерактивний навчальний компонент.* Інтерактивна частина застосунку, спрямована на навчання у форматі ігор для дітей та підлітків, сприятиме вихованню свідомих споживачів електричної енергії. Застосунок може містити ігрові елементи, де користувачі зможуть моделювати сценарії зниження вартості електроспоживання.

- *Довгострокові цілі.* Ядром цільової аудиторії застосунку доцільно обрати учнів середньої та старшої школи, батьків і вчителів. Саме підлітки можуть стати тими, хто змінює поведінкові моделі своєї сім'ї, а пізніше, у самостійному дорослому житті – активними споживачами (за визначенням Закону України «Про ринок електричної енергії» [21]).

- *Простота у підключенні та використанні.* Важливо забезпечити легкий процес реєстрації, налаштування і використання застосунку. Чим простішим буде інтерфейс, тим більше користувачів його використовуватиме.

Висновки до розділу 1

1. Показано, що управління попитом на електричну енергію побутових споживачів відіграє важливу роль в умовах декарбонізації енергетики, яка супроводжується не лише зростанням електроспоживання для роботи систем опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання будівель, а і поширенням серед побутових споживачів електротранспорту та власних джерел електрогенерації. Кращі результати в залученні побутових споживачів електричної енергії до управління попитом досягаються за умови застосування повністю або частково автоматизованих систем керування попитом, порівняно з системами, що покладаються виключно на активні дії самого споживача. Разом із тим, необхідне навчання побутових споживачів щодо ефективних методів скорочення електроспоживання та зниження власних витрат у оплаті за електричну енергію.

2. Проаналізовано фактори, що визначають електроспоживання у побуті. Загальний обсяг електроспоживання залежить від: характеристик будівлі, зокрема використання електричної енергії для опалення та гарячого водопостачання; соціально-демографічних характеристик домогосподарства; побутових електроприладів, наявних у користуванні; звичок та ставлення споживачів до енергозбереження. Показано, що хоча і існують типові графіки електричного навантаження групи «побутові споживачі» для доби, дня тижня та року, в межах цієї групи спостерігаються суттєві відмінності, які важливо враховувати під час залучення побутових споживачів до управління попитом.

3. Проаналізовано досвід впровадження управління попитом на електричну енергію в Україні, зокрема ефективність застосування зонних тарифів та їх вплив на вирівнювання графіка навантажень ОЕС. Досліджено сучасні виклики, пов'язані з дефіцитом генерації через військові дії, та показано зростання актуальності програм управління попитом побутових споживачів електричної енергії. Здійснено оцінку змін у законодавстві, зокрема щодо запровадження механізмів агрегації та реагування на попит, а також впливу фіксованих цін на електричну енергію для побутових споживачів. Виявлено

тенденції зростання популярності автономних джерел живлення, таких як СЕС із системами акумулювання, та визначено ключові фактори для подальшого залучення побутових споживачів до програм управління попитом.

4. Огляд існуючих інструментів для залучення побутових споживачів електричної енергії до управління попитом у світі та в Україні дозволив зробити висновок про необхідність розроблення навчального застосунку для індивідуальної роботи з кожним окремим домогосподарством. Визначено особливості управління попитом побутових споживачів, які необхідно врахувати під час розроблення застосунку: універсальні та специфічні, характерні для роздрібного ринку електричної енергії України.

РОЗДІЛ 2. ОЦІНЮВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ УЧАСТІ В ПРОГРАМАХ УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ ДЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПОБУТОВОГО СПОЖИВАЧА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1 Сегментування побутових споживачів електричної енергії

Побутові споживачі є досить чисельною групою, всередині якої будуть суттєві відмінності. Як зазначалося в п.1.2, обсяг електроспоживання залежить від багатьох чинників: характеристик будівлі, зокрема використання електричної енергії для опалення та гарячого водопостачання; соціально-демографічних характеристик домогосподарства; побутових електроприладів, що наявні в користуванні; звичок та ставлення споживачів до енергозбереження.

Сегментування побутових споживачів електричної енергії – поділ домогосподарств на групи – є важливим інструментом для детального аналізу та розуміння особливостей їхнього електроспоживання. Основні цілі сегментування наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні цілі сегментування побутових споживачів

Ціль	Опис
Оптимізація ресурсів	Завдяки сегментації можна краще планувати енергетичні ресурси, прогножуючи потреби кожної групи. Наприклад, домогосподарства з електричним опаленням мають підвищене споживання взимку, що дозволяє енергопостачальникам заздалегідь підготуватися до таких сезонних навантажень.
Розробка адаптивних стратегій управління попитом	Сегментація сприяє розробці стратегій, спрямованих на уникнення пікових навантажень для кожної категорії. Наприклад, для споживачів, що використовують кондиціонери влітку, можна рекомендувати зменшувати навантаження в обідні години.
Забезпечення індивідуального навчання споживачів	Розділення споживачів на сегменти дозволяє мобільному застосунку надавати більш релевантні рекомендації щодо оптимізації енергоспоживання. Наприклад, користувачам з високим рівнем споживання можна надавати інтенсивніші рекомендації щодо енергоефективності.

Одним із основних критеріїв сегментування є *використання електричної енергії для опалення будівлі*. Ціни на електричну енергію для індивідуальних та колективних побутових споживачів в Україні, які проживають в житлових будинках, обладнаних електроопалювальними установками, також відрізняються (див. табл. 1.2). Важливим критерієм є також *використання електричної енергії в системах гарячого водопостачання*.

У рамках такого сегментування можна виокремити такі типові групи домогосподарств:

- **Домогосподарство з газовим (або твердопаливним) опаленням та центральним гарячим водопостачанням:** Такі домогосподарства характеризуються рівномірним споживанням електричної енергії протягом року. Основні пікові навантаження можуть виникати у літній період через використання кондиціонерів. Рекомендації для цього сегменту можуть включати інформацію про те, як оптимізувати споживання кондиціонерів, щоб знизити витрати.

- **Домогосподарство з газовим (або твердопаливним) опаленням, але з електричним бойлером для гарячого водопостачання:** Цей сегмент характеризується рівномірним електроспоживанням протягом року, але в добовому графіку електроспоживання є можливість перенесення навантаження на нічний час доби. Рекомендації для таких домогосподарств можуть включати поради щодо налаштування режимів роботи бойлерів протягом доби та використання системи ДТ.

- **Домогосподарство з електричним опаленням та гарячим водопостачанням:** Домогосподарства в цьому сегменті мають значне зростання споживання взимку через опалення та нагрів води. Для таких споживачів доцільно впроваджувати рекомендації щодо економного використання електроопалення, наприклад, шляхом індивідуального планування часу роботи обігрівачів або використання програмованих термостатів та переходу на багатозонні тарифи.

Наявність у домогосподарства електронплит для приготування їжі збільшуватиме загальне електроспоживання та його добову нерівномірність,

проте можливості для перенесення цього навантаження в періоди мінімального навантаження енергосистеми є досить обмеженими.

Іншим критерієм сегментування є *наявність або відсутність зонного обліку електроспоживання* і відповідно використання побутовим споживачами системи ДТ. Для споживачів, що не використовують тарифи, диференційовані за періодами часу, важливо оцінити доцільність зміни тарифної системи, тобто для конкретного домогосподарства порівнювати потенційну економію в оплаті за електричну енергію та витрати на встановлення зонного лічильника.

Під час сегментування побутових споживачів важливо враховувати наявність і доступ до даних. Розглянемо діючі нормативні документи Державної служби статистики України, пов'язані з використанням електричної енергії в побуті. Крім уже згаданої стандартної структури кінцевого споживання електричної енергії домогосподарства за цілями призначення [17], нещодавно було затверджено Методологічні положення державного статистичного спостереження «Ціни на природний газ та електроенергію, які постачаються споживачам» (Наказ Державної служби статистики від 09.02.2023 року № 47 [38]). Дані методологічні положення використовують такі стандартні групи побутових споживачів електричної енергії за річним обсягом споживання:

до 1 000 кВт·год;

від 1 000 кВт·год (включно) до 2 500 кВт·год;

від 2 500 кВт·год (включно) до 5 000 кВт·год;

від 5 000 кВт·год (включно) до 15 000 кВт·год;

понад 15 000 кВт·год (включно).

Очевидно, домогосподарства з низьким річним електроспоживанням, що не використовують електричну енергію для опалення чи гарячого водопостачання, мають інші потреби та можливості для економії, порівняно з тими, що мають вищий обсяг електроспоживання. Це також дає змогу виявити потенціал для управління попитом домогосподарств з вищим електроспоживанням, де є велике навантаження на енергосистему.

Мобільний застосунок може відігравати ключову роль у впровадженні індивідуального навчання для споживачів різних сегментів. За допомогою застосунку можна:

- **Відстежувати та аналізувати електроспоживання:** Мобільний застосунок дозволяє зберігати дані про електроспоживання користувача, що дозволяє порівнювати їх з типовими показниками сегменту. Це дає можливість адаптувати рекомендації відповідно до індивідуального споживання кожного користувача.
- **Надавати рекомендації в реальному часі:** Застосунок може попереджати користувачів про пікові періоди або рекомендувати час для використання приладів з урахуванням тарифних зон. Наприклад, користувачі можуть отримувати повідомлення з порадами щодо перенесення використання енергоємних приладів на період низького тарифу.
- **Підвищувати обізнаність користувачів про ефективне використання електричної енергії:** Мобільний застосунок може надавати рекомендації щодо скорочення витрат у оплаті за спожиту електричну енергію, розроблені для кожного сегменту, з урахуванням індивідуальних потреб та умов споживання.

Встановлено, що домогосподарства у квартирах без електроопалення і гарячого водопостачання мають більш рівномірний рівень споживання протягом року, тоді як приватні будинки та квартири з електроопаленням демонструють суттєві сезонні коливання через підвищене навантаження у зимовий період. На сезонні коливання попиту також має суттєвий вплив використання систем кондиціонування.

Нерівномірність електроспоживання протягом доби пов'язана з використанням електроприладів для приготування гарячої води, які потенційно можуть використовуватися в період нічного провалу навантаження енергосистеми.

Сегментування ринку дозволяє більш точно визначити потреби кожної групи побутових споживачів електричної енергії та розробити індивідуальні стратегії управління попитом.

2.2 Типові побутові електроприлади та оцінювання часу їх використання

Сучасні методи моделювання добового графіка електричного навантаження поділяються на дві основні групи: «знизу – вгору» (Bottom-up) і «згори – вниз» (Top-down) [14].



Рисунок 2.1 – Методи моделювання добового графіка електричного навантаження (побудовано за результатами опрацювання [14])

З огляду на мету даної роботи – формування індивідуальних програм навчання побутових споживачів електричної енергії, прийнято рішення використовувати метод «знизу – вгору». Для збору даних від конкретного побутового споживача можуть використовуватися різні джерела, кожне з яких має власні особливості (табл. 2.2).

- **Смарт-лічильники електричної енергії** потенційно найкраще джерело даних про реальне електроспоживання. Дані лічильників дозволяють відстежувати споживання у розрізі тарифних зон, однак складність реалізації пов'язана з різноманітністю виробників і потребує адаптації для кожного з них.
- **Інтерактивні опитувальники** забезпечують збір додаткової інформації про побутові прилади, їхню потужність, режим і частоту використання. Наприклад, користувач може вказати кількість освітлювальних приладів у будинку, наявність електроопалення або бойлера. Ці дані допомагають деталізувати профіль споживача.
- **Ручне введення даних** дозволяє користувачам доповнювати та коригувати інформацію. Наприклад, після купівлі нового енергоємного приладу користувач може самостійно додати його характеристики до профілю.
- **Державна статистика** використовується для порівняння даних користувача із середніми значеннями у регіоні. Наприклад, дані Державної служби статистики щодо середнього споживання у квартирах з газовим опаленням дозволяють порівняти власне споживання конкретного домогосподарства із середніми показниками.

Таблиця 2.2 – Можливі джерела даних для навчального застосування

Джерело	Тип даних	Частота оновлення	Складність реалізації	Приклади
Смарт-лічильники	Споживання за тарифними зонами	Щогодини	Висока	Визначення пікових навантажень
Інтерактивні опитувальники	Дані про побутові прилади	За потребою	Низька	Аналіз типу та кількості приладів
Ручне введення	Користувацькі корективи	Нерегулярно	Низька	Оновлення даних користувачем
Державна статистика	Середні показники	Раз на рік	Низька	Порівняння з середніми значеннями

Для ефективного управління попитом на електроенергію важливо класифікувати побутові електроприлади, що використовуються у домогосподарствах, з огляду на їхню встановлену потужність та режим використання. Така класифікація дозволяє зрозуміти, які прилади створюють найбільше навантаження на електромережу, а також визначити потенційні можливості для управління енергоспоживанням. У цьому розділі представлено детальну класифікацію побутових електроприладів за критеріями потужності та характеру використання.

Було розроблено систему за якою електроприлади можна класифікувати на групи за потужністю, що впливає на рівень енергоспоживання. Встановлена потужність приладу визначає його максимальне навантаження на електромережу під час роботи. Нижче наведено основні групи побутових приладів за потужністю:

Прилади низького споживання (до 200 Вт): включають освітлення (лампи), зарядні пристрої для мобільних телефонів, радіо, невеликі кухонні прилади тощо. Вони мають незначне навантаження на мережу і зазвичай використовуються безперервно або періодично протягом доби.

Прилади середнього споживання (200-1000 Вт): це телевізори, комп'ютери, мікрохвильові печі, вентилятори, праски та деякі інші прилади. Вони мають помірне навантаження на мережу та часто використовуються у певні години доби, залежно від потреб користувача.

Прилади високого споживання (понад 1000 Вт): сюди належать пральні машини, електричні плити, духовки, електричні обігрівачі, бойлери, кондиціонери та інші прилади, які створюють значне навантаження на мережу. Вони зазвичай працюють короткими циклами, але споживають велику кількість електричної енергії за одиницю часу.

Окрім потужності, побутові електроприлади запропоновано класифікувати за режимом використання, що також впливає на характер споживання електричної енергії:

- **Прилади з постійним часом використання:** такі прилади працюють безперервно протягом доби або більшості часу, незалежно від потреб

споживача. Наприклад, холодильники та морозильні камери мають встановлені інтервали роботи, щоб підтримувати стабільну температуру. Їх складно контролювати з точки зору управління попитом, але вони забезпечують базовий рівень споживання електроенергії.

- **Прилади з періодичним використанням:** до цієї категорії належать прилади, які працюють лише під час виконання певних завдань або за потреби споживача. Сюди входять пральні машини, пирососи, мікрохвильові печі, тостери, кавоварки та інші. Час їхнього використання можна певною мірою контролювати та оптимізувати, наприклад, з допомогою програми зниження навантаження в пікові години.

- **Прилади з сезонним використанням:** це електроприлади, які використовуються переважно у певні сезони або за певних погодних умов. Приклади включають електрообігрівачі, кондиціонери, вентилятори. Їх використання має тенденцію до зростання взимку або влітку, відповідно, залежно від температурних умов. Такі прилади можуть мати суттєвий вплив на сезонне споживання електроенергії.

Таблиця 2.3 – Принцип класифікації за встановленою потужністю та режимом використання

Споживання	Потужність	Режим використання
Низьке	До 200 Вт	Постійний/періодичний
Середнє	200-1000 Вт	Періодичний
Високе	Понад 1000 Вт	Періодичний/сезонний

Класифікація споживання за потужністю та режимом використання необхідна для детального аналізу енергоспоживання домогосподарств. Вона дозволяє виявляти енергетичні потреби споживачів залежно від характеру роботи приладів та планувати відповідні заходи для оптимізації використання електроенергії.

Під час типізування електроприладів в дослідженні [39] було додано маркер "**Можливість переключення**", який вказує на те, чи може певний прилад бути перенесений у графік споживання на інший час. Такий маркер доцільно додати в мобільний застосунок для автоматичного надання персоналізованих рекомендацій побутовому споживачеві, що має такі прилади.

Зокрема, прилади, що мають можливість переключення, такі як водонагрівач, посудомийна та пральна машини, можуть бути запропоновані для роботи у нічний або менш завантажений період доби. Таким чином, користувачі зможуть знижувати навантаження на мережу в пікові години та зменшувати власні витрати на оплату за спожиту електричну енергію.

Правильне розуміння типів побутових електроприладів, їхньої потужності та режимів використання є важливим елементом ефективного управління енергоспоживанням домогосподарств. Поділ приладів на категорії за встановленою потужністю, регулярністю використання та можливістю перемикавання режимів роботи дозволяє точніше оцінити потенціал конкретного побутового споживача для управління попитом.

Крім встановленої потужності та режиму використання *необхідно оцінити час використання електроприладів.*

Для оцінювання часу використання приладів можливо застосувати нормальний закон розподілу (формула 2.1), щоб моделювати середнє значення часу використання приладів та відхилення від нього, яке відображатиме варіації у щоденних і тижневих звичках користувача.

Нормальний розподіл описується щільністю ймовірності:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2.1)$$

де x – випадкова величина, що позначає час використання приладу, μ – математичне сподівання, середнє значення часу використання, σ – стандартне відхилення, яке відображає ступінь варіації часу використання.

Для оцінки параметрів розподілу (μ та σ) необхідно зібрати статистичні дані про фактичний час використання приладів протягом дня або тижня.

Середній час використання (μ) для кожного приладу визначається як середній час, протягом якого прилад перебуває у ввімкненому стані за один день, за один тиждень або за один місяць. Це значення можна обчислити за формулою:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i, \quad (2.2)$$

де T_i – фактичний час використання приладу в день (тиждень, місяць), N – кількість днів спостереження.

Стандартне відхилення часу використання (σ) оцінює, наскільки сильно час використання приладу відхиляється від середнього значення. Це допомагає врахувати випадкові варіації у використанні приладів. Формула для стандартного відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_i - \mu)^2}. \quad (2.3)$$

Щоб визначити на основі нормального закону розподілу імовірність набуття неперервною випадковою величиною X значення із деякого інтервалу $[x_1; x_2]$ необхідно обчислити відповідну площу під графіком функції щільності або використати значення кумулятивної функції розподілу:

$$p(x_1 \leq X \leq x_2) = F(x_2) - F(x_1), \quad (2.4)$$

де $F(x_1)$, $F(x_2)$ – значення кумулятивної функції розподілу для значень змінної $X = x_1$ та $X = x_2$.

Обчислити значення кумулятивної функції розподілу випадкової величини, розподіленої за нормальний законом із заданими параметрами можна із використанням стандартних функцій MS Excel: =NORM.DIST(x_i ; μ ; σ ; l). Аргументи цієї функції: x_i – значення випадкової величини; μ та σ – параметри нормального розподілу – математичне сподівання та стандартне відхилення відповідно; l – тип функції розподілу: $l = 1$ повертає значення кумулятивної функції розподілу $F(x)$, а $l = 0$ – значення функції щільності розподілу $f(x)$.

Приклад розрахунку часової моделі використання пральної машини.

Припустимо, що середній час використання пральної машини становить $\mu = 110$ хвилин на день, а стандартне відхилення $\sigma = 20$ хвилин. Використовуючи ці параметри, можна змодельовати розподіл часу використання пральної машини

(рис. 2.2). Пікова ймовірність буде припадати на середній час μ , тобто близько 110 хвилин, що відповідає звичайній тривалості використання. Стандартне відхилення 20 хвилин показує варіативність часу використання, яка відображається на графіку у вигляді ширини кривої.

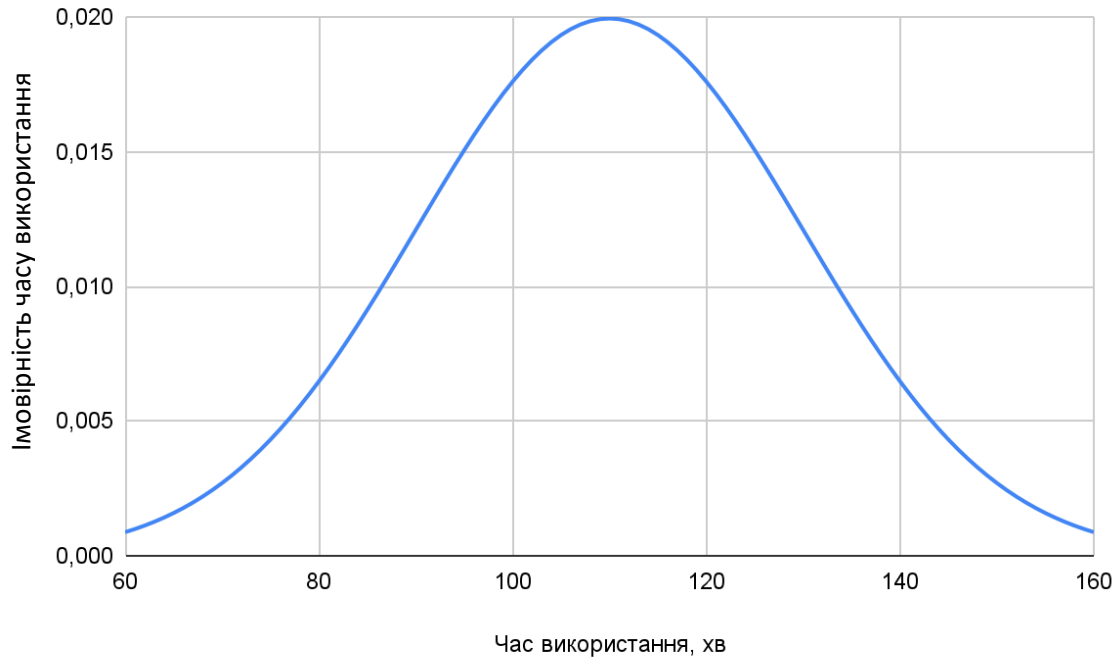


Рисунок 2.2 – Модель оцінювання часу роботи пральної машини протягом дня за нормальним законом розподілу

Для отримання більш детального розуміння, можна розглянути, з якою ймовірністю час використання пральної машини буде знаходитись в певному інтервалі. Наприклад, розрахуємо ймовірність того, що пральна машина буде використовуватися в межах 90 – 130 хвилин, за формулою (2.4):

$$P(90 \leq x \leq 130) = \int_{90}^{130} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx = F(130) - F(90) = 0,68$$

Як бачимо за результатами розрахунків, ймовірність того, що пральна машина буде використовуватися в межах 90 – 130 хвилин на день складає 0,68.

Оцінювання часу використання побутових електроприладів є важливим кроком у розробці розрахункової моделі вартості електроспоживання за місяць. У мобільному застосунку мають бути встановлені початкові дані про потужність та час використання за замовчуванням для кожного типового електроприладу.

2.3 Індивідуальне оцінювання доцільності для побутового споживача участі в програмі управління попитом

Одним із способів оцінити для конкретного побутового споживача електричної енергії доцільність участі в програмах управління попитом є Participant Test (PT) [40], який надає кількісну оцінку вигоди і витрат.

PT може розраховуватися для типового учасника програми DSM; він не враховує впливу на роботу енергосистеми чи витрати постачальника електричної енергії. Метою цього підходу є вимірювання економічних та фінансових характеристик програми з метою залучення споживачів. Вигоди для споживача включають суму будь-яких стимулів для споживача, зменшення рахунків за електричну енергію та будь-які податкові відрахування чи кредити. Витрати споживача включають всі інші прямі витрати, пов'язані з конкретною програмою. Participant Test може бути виражений наступним чином:

$$PT = \frac{B_p}{C_p}, \quad (2.5)$$

$$B_p = \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{[I_i + (\Delta E_i * CR_i)]}{(1+d)^i} \right\}, \quad (2.6)$$

$$C_p = \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{DC_i}{(1+d)^i} \right\}, \quad (2.7)$$

де B_p – вигода учасника, C_p – витрати учасника, I_i – стимул, отриманий учасником у році i , ΔE_i – зміна обсягу електроспоживання учасником у році i , CR_i – тариф на електричну енергію для споживача у році i , DC_i – прямі витрати учасника у році i , d – дисконтна ставка, N – кількість років.

Якщо за результатами розрахунків, значення PT більше, ніж 1, то участь у програмі управління попитом є доцільною з точки зору побутового споживача електричної енергії: усі витрачені кошти, пов'язані із участю в програмі управління попитом, будуть відшкодовані за час реалізації програми.

Для оцінювання обсягу електроспоживання за рік необхідно врахувати тривалість роботи побутових електроприладів та їхню встановлену потужність:

$$E_{\text{рік}} = \sum_{i=1}^n P_i t_i, \quad (2.8)$$

де E – оцінка обсягу електроспоживання домогосподарства за рік, кВт·год, P_i – потужність i -го електроприладу, кВт, t_i – тривалість роботи i -го електроприладу протягом року, год.

Для побутових споживачів електричної енергії в Україні єдиною можливістю долучитися до програми управління попитом є використання тарифів, диференційованих за часом доби, які детально розглянуті в розділі 1.3. Ці тарифи дозволяють домогосподарствам зменшувати витрати, зміщуючи час використання електроприладів на нічні періоди доби.

Оскільки побутові споживачі сплачують за спожиту електричну енергію, як правило, один раз на місяць; і саме вартість електроспоживання є тим показником, який мотивуватиме змінювати усталені поведінкові моделі, розглянемо розрахункову формулу вартості електроспоживання за місяць. Вартість залежить від наявних у користуванні електроприладів, тривалості їх роботи та тарифної системи.

$$EB = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \times t_{ij} \times C_j \times k_j \times d, \quad (2.9)$$

де EB – оцінка вартості електричної енергії для домогосподарства за місяць, грн; P_{ij} – потужність i -го електроприладу в часовому інтервалі доби j , кВт; t_{ij} – тривалість роботи i -го пристрою в часовому інтервалі доби j , год; C_j – ціна електричної енергії в часовому інтервалі доби j , грн/кВт·год; n – загальна кількість побутових електроприладів; m – загальна кількість часових інтервалів доби; k_j – коефіцієнт диференційованого тарифу в часовому інтервалі доби j ; d – кількість днів у місяці.

Мобільний застосунок, що розробляється в рамках дослідження саме для побутових споживачів електричної енергії в Україні має враховувати дану опцію для надання персоналізованих рекомендацій щодо скорочення витрат у оплаті за електричну енергію. На основі даних про наявні у користуванні електроприлади та поточний тарифний план побутового споживача, застосунок зможе аналізувати профіль електроспоживання домогосподарства та пропонувати найбільш економічно вигідні періоди для використання певних електроприладів із врахуванням сезонних змін електроспоживання.

Висновки до розділу 2

1. Сегментування побутових споживачів електричної енергії допомагає ефективно залучати їх до програм управління попитом, орієнтуючись на особливості та потреби різних груп побутових споживачів. Сегментування має враховувати прийняту Державною службою статистики України стандартну структуру кінцевого споживання електричної енергії домогосподарствами за цілями призначення (опалення житлових приміщень, кондиціювання житлових приміщень, підігрів води, приготування їжі, освітлення та живлення побутових пристроїв, інше), а також оцінку річного обсягу електроспоживання.

2. Для моделювання добового графіка електричного навантаження побутового споживача прийнято підхід «знизу – вгору», тобто орієнтуючись на типові прилади у користуванні побутового споживача, їх встановлену потужність та час використання, змодельований за нормальним законом розподілу. Запропоновано класифікацію побутових електроприладів за їхньою встановленою потужністю (низьке, середнє, високе споживання) та режимами роботи (постійний, періодичний, сезонний). Такий підхід дає можливість виявити прилади, використання яких можна перенести на періоди низького навантаження в енергосистемі. У мобільному застосунку, який розробляється в рамках цього дослідження, запропоновано введення для таких електроприладів спеціального маркера «Можливість переключення».

3. Застосування інструменту Participant Test дозволяє оцінювати доцільність участі у програмах управління попитом з точки зору конкретного побутового споживача, орієнтуючись на ті електроприлади, що використовує домогосподарство. Інтеграція цієї методики у мобільний застосунок створює умови для персоналізованого аналізу профілю споживання кожного користувача та надання рекомендацій для зменшення витрат за спожиту електричну енергію. Акцентовано увагу на необхідності інтеграції в мобільний застосунок опції використання диференційованих за часом тарифів як основної програми управління попитом, що на даний момент доступна для побутових споживачів електричної енергії в Україні.

РОЗДІЛ 3. НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ЗАЛУЧЕННЯ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ ДО УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ

3.1 Організація збору даних у інтерактивному форматі для різних груп побутових споживачів

У межах даного дослідження було розроблено першу версію навчального застосунку ELECTRYKA для індивідуальної роботи з побутовими споживачами електричної енергії в Україні та їх залучення до програм управління попитом. Короткий відеоогляд функціоналу застосунку представлено у відкритому доступі [41], посібник користувача – у додатку А.

Для ефективної організації збору даних на основі сегментування запропоновано п'ять груп побутових споживачів, залежно від річного обсягу електроспоживання (табл. 3.1): I – дуже низький обсяг електроспоживання (ДН), II – низький (Н), III – середній (С), IV – високий (В), V – дуже високий (ДВ). В основу цієї класифікації покладено кількісні оцінки, представлені у розділі 2.1 (Наказ Державної служби статистики від 09.02.2023 року № 47 [38]) та стандартну структуру кінцевого споживання електричної енергії домогосподарства за цілями призначення.

Таблиця 3.1 – Групи побутових споживачів за обсягом електроспоживання

Група побутових споживачів	Річний обсяг електроспоживання ($E_{\text{рік}}$), кВт·год	Використання електричної енергії за призначенням: (+) / (–)					
		Опалення	Кондиціювання	Підігрів води	Приготування їжі	Освітлення та побутові	Інше
I – ДН	$E_{\text{рік}} < 1000$	(–)	(–)	(–)	(–)	(+)	(–)
II – Н	$1000 \leq E_{\text{рік}} < 2500$	(–)	(+) / (–)	(–)	(+) / (–)	(+)	(–)
III – С	$2500 \leq E_{\text{рік}} < 5000$	(–)	(+)	(+) / (–)	(+)	(+)	(+) / (–)
IV – В	$5000 \leq E_{\text{рік}} < 15000$	(+) / (–)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+) / (–)
V – ДВ	$E_{\text{рік}} \geq 15000$	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)

Як бачимо з табл. 3.1, передбачається, що усі побутові споживачі використовують електричну енергію для освітлення та користування деякими побутовими електроприладами. Група I – ДН, не використовує електричну енергію для інших цілей. Побутові споживачі групи II – Н не використовують електричну енергію для опалення та підігріву води, проте в них може бути встановлений кондиціонер чи електроплита. Побутові споживачі з середнім обсягом електроспоживання (група III – С) не використовують електричну енергію для опалення, проте скоріше за все, мають кондиціонування та електроплити; можливе використання електричної енергії для підігріву води. У побутових споживачів групи IV – В можуть використовуватися опалювальні електроприлади. Група V – ДВ імовірно має електроопалення.

Таким чином, для кожної групи побутових споживачів у навчальному застосунку в перспективі може бути запропонований власний перелік електроприладів на вибір; встановлена потужність та час використання кожного електроприладу має бути вказаний за замовчуванням із можливістю коригування самим користувачем застосунку.

Оскільки мобільний застосунок ELECTRYKA має навчальні цілі і орієнтований на використання школярами, то збір даних про наявні у користувача електроприлади організовано у інтерактивному форматі (див. рис. А.2 та рис. А.3). Побутові електроприлади згруповано в кімнати будинку (квартири). За замовчуванням, помешкання має кухню, вітальню, спальню, ванну кімнату та опцію «інше» для додавання інших кімнат. У кожну кімнату користувач додає наявні електроприлади, так само із запропонованого переліку (холодильник, пральна машина, кондиціонер, обігрівач тощо) та має можливість використовувати опцію «інше» для додавання електроприладів, за умови їх відсутності в переліку.

У перспективі, крім таких інтерактивних опитувальників можуть використовуватися і інші джерела даних (табл. 2.2), а також додаткові інтерактивні елементи, що можуть стати основою залучення користувачів до активної участі в управлінні власним електроспоживанням. Вони покликані

зробити процес збору та аналізу даних не лише корисним, але й цікавим для кінцевого користувача. Основними елементами інтерактивності є гейміфікація, візуалізація, моделювання сценаріїв, персоналізовані повідомлення та інтерактивні опитувальники.

Гейміфікація використовується для стимулювання користувачів до введення даних та виконання рекомендацій. Основними механізмами є:

- *Нагороди за активність:* користувачі отримують бали за введення даних, заповнення опитувальників або коригування профілю. Наприклад, внесення інформації про новий побутовий прилад додає 10 балів.
- *Рівні енергоефективності:* За досягнення певного рівня економії (наприклад, 10% за місяць) користувач отримує новий «рівень» з нагородами, як-от доступ до розширених рекомендацій.
- *Щотижневі та щомісячні виклики:* Наприклад, «Зменш споживання у піковий період на 5%» або «Використовуй пральну машину лише вночі». Успішне виконання приносить бонусні бали.

Візуалізація даних дозволяє користувачам краще зрозуміти свої звички споживання та оцінити ефективність впроваджених рекомендацій.

- *Графіки динаміки споживання:* Побудова добових, тижневих і місячних графіків електроспоживання. Наприклад, графік покаже, що споживання значно зростає у вечірні години через використання бойлера.
- *Порівняння із середніми значеннями:* Застосунок показує, наскільки споживання користувача відрізняється від середнього по регіону чи для його типу домогосподарства.
- *Візуалізація економії:* Інтерактивний графік демонструє, як змінюється сума рахунку за електричну енергію за умови зміни певних звичок (наприклад, перенесення роботи пральної машини на ніч).

Моделювання сценаріїв допомагає користувачам зрозуміти наслідки зміни своїх звичних моделей поведінки.

- *Перенесення роботи приладів:* Користувач може наочно оцінити як зміниться вартість електричної енергії, спожитої за місяць, якщо частину приладів використовувати в нічні години.
- *Додання енергоефективних приладів:* Користувач бачить, як заміна старого холодильника на новий із класом енергоефективності A+++ знижує споживання.

Опитувальники сприяють збору додаткових даних про домогосподарство та побутові прилади. Вони налаштовані у простій формі із підказками. Кожне заповнене опитування приносить бали, що мотивує користувачів бути активними.

- *Питання щодо типу опалення:* «Чи використовуєте ви електрообігрівачі в зимовий період?»
- *Дані про прилади:* «Скільки холодильників у вас у домі? Яка їхня середня потужність?»
- *Оцінка звичок:* «Чи використовуєте ви електроприлади вночі для зменшення витрат?»

Персоналізовані повідомлення надають рекомендації в реальному часі, ґрунтуючись на поточних даних.

- *Попередження про пікове споживання:* «Ваше споживання сьогодні на 20% вище середнього. Рекомендуємо зменшити використання енергоємних приладів»;
- *Рекомендації щодо часу використання:* «Використовуйте пральну машину після 23:00 для зниження витрат»;
- *Інформування про досягнення:* «Вітаємо! Ви знизили споживання на 10% цього місяця!».

Для прикладу розглянемо як за допомогою мобільного застосунку ELECTRYKA змодельовати сценарій перенесення споживання енергоємних приладів у нічні години. Апробація на реальному об'єкті – домогосподарство з групи IV – B з високим обсягом електроспоживання, електроопалення немає,

проте електрична енергія використовується для кондиціювання, підігріву води та приготування їжі. Були зібрані дані про наявні електроприлади, їх потужність та час використання. На рис. 3.1 представлено результати розрахунків за формулою (2.9), які показали, що при звичайному тарифі (4,32 грн/кВт·год) загальна вартість електроспоживання складає 2845,72 грн за місяць.

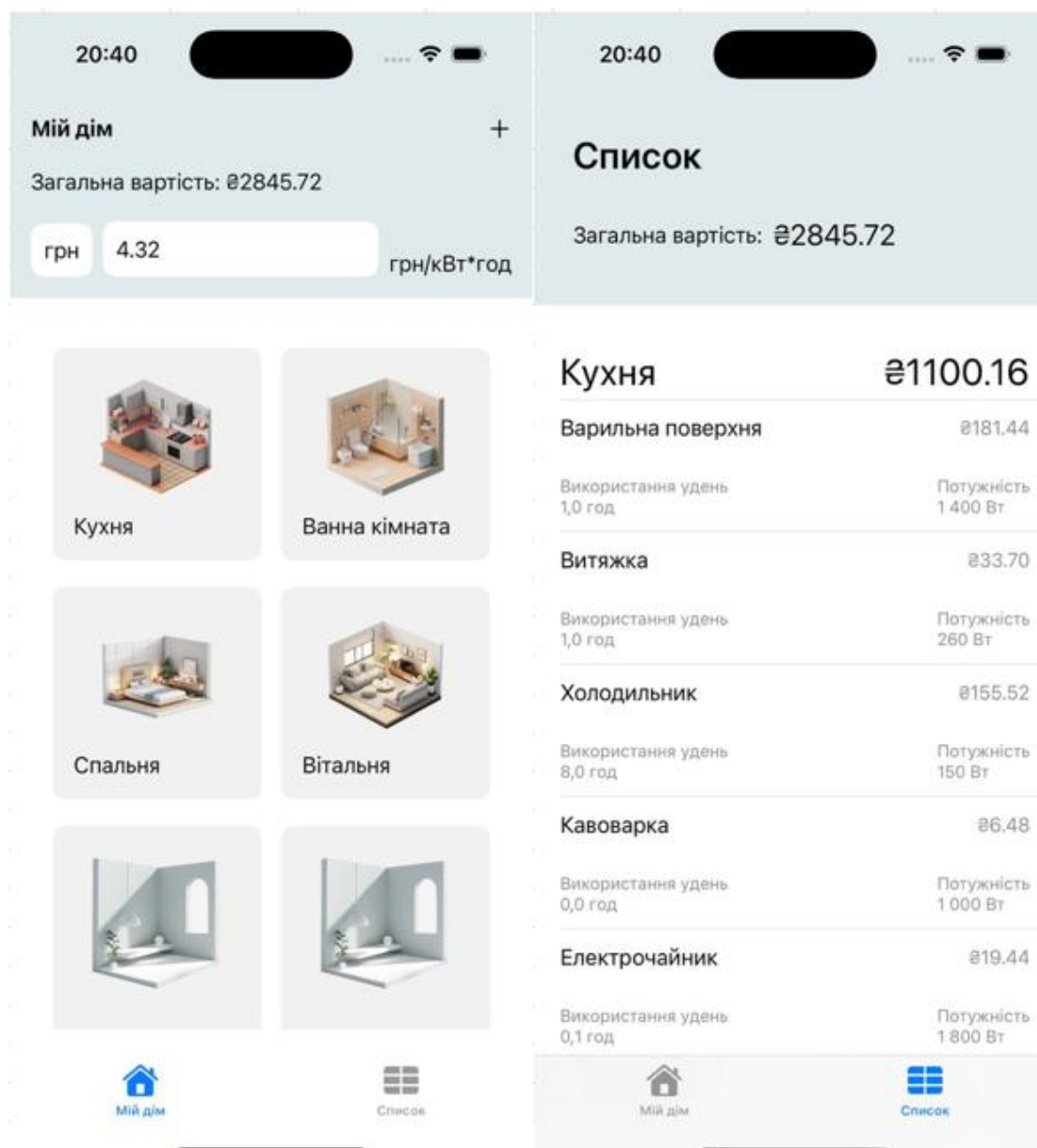


Рисунок 3.1 – Моделювання вартості електроспоживання домогосподарства групи IV – В за місяць: однозонний облік

Аналіз електроприладів даного побутового споживача дозволив виявити найбільш енергоємні, що значною мірою впливають на загальний обсяг споживання електричної енергії – водонагрівач, посудомийна машина, пральна

машина та сушильна машина. Перенесення споживання зазначених електроприладів у нічні години не спричиняє значного дискомфорту для користувача, але може істотно знизити вартість електроспоживання за місяць. Змодельовавши перехід на двозонний тариф у застосунку ELECTRYKA, вдалося оцінити економічний ефект від такого перенесення. Як показано на рис. 3.2, вартість електроспоживання зменшується до 1724,68 грн за місяць, що дозволяє досягти економії в розмірі 1124,04 грн, або приблизно 39,5%.

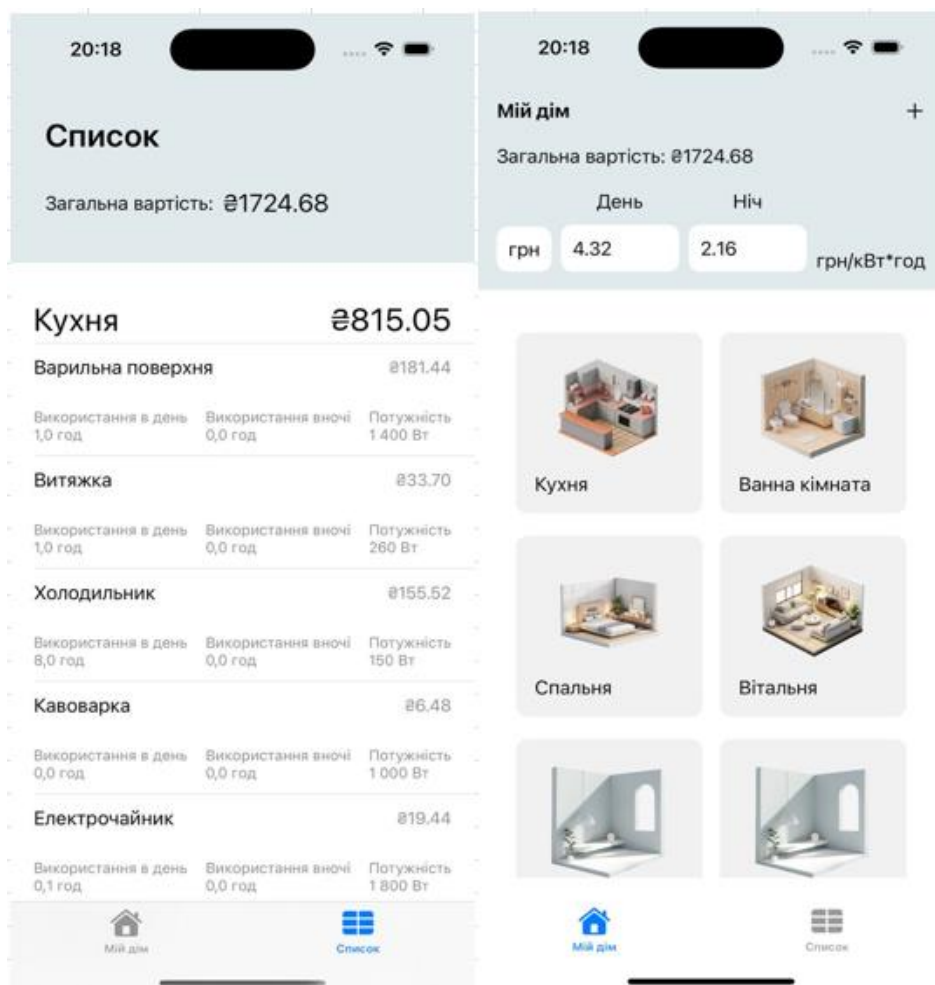


Рисунок 3.2 – Моделювання вартості електроспоживання домогосподарства групи IV – В за місяць: двозонний облік

Результати апробації демонструють ефективність інтерактивного підходу застосунку ELECTRYKA для виявлення ключових енергоємних приладів у побуті і надання користувачам персоналізованих рекомендацій щодо скорочення вартості електроспоживання за місяць.

3.2 Потужність та час використання типових електроприладів

Оцінка вартості електричної енергії, споживаної домогосподарством за місяць, у рамках моделювання, реалізованого в застосунку ELECTRYKA, базується на врахуванні тривалості роботи побутових електроприладів, їхньої потужності, особливостей тарифної системи та частоти використання приладів протягом місяця. Для розрахунків використовується модифікована формула (2.9), у якій коефіцієнт частоти використання f_i враховує кількість днів роботи електроприладу протягом місяця.

$$EB = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \times t_{ij} \times C_j \times k_j \times f_i, \quad (3.1)$$

де EB – оцінка вартості електричної енергії для домогосподарства за місяць, грн; P_{ij} – потужність i -го електроприладу в часовому інтервалі доби j , кВт; t_{ij} – тривалість роботи i -го пристрою в часовому інтервалі доби j , год; C_j – ціна електричної енергії в часовому інтервалі доби j , грн/кВт·год; n – загальна кількість побутових електроприладів; m – загальна кількість часових інтервалів доби; k_j – коефіцієнт диференційованого тарифу в часовому інтервалі доби j ; f_i – коефіцієнт частоти використання i -го пристрою на місяць, який розраховується як:

$$f_i = \frac{d_i}{d}, \quad (3.2)$$

де d_i – кількість днів використання i -го пристрою на місяць, d – загальна кількість днів у місяці.

Встановлену потужність побутових електроприладів та час їх використання прийнято за замовчуванням згідно статистичних даних [42]. Користувач застосунку може коригувати задані параметри у відповідності до фактичних даних. У табл. 3.2 наведено перелік електроприладів, що можуть використовуватися побутовими споживачами усіх п'яти груп.

Використання електронагрівача для підігріву води (бойлера) залежить від наявності або відсутності централізованого гарячого водопостачання. У домогосподарствах без централізованого гарячого водопостачання бойлер стає одним із ключових енергоємних пристроїв, його використання має суттєвий вплив на загальний обсяг електроспоживання

Таблиця 3.2 – Встановлена потужність та час використання побутових електроприладів за замовчуванням (усі групи)

Електроприлад	Встановлена потужність (Вт)	Час використання (хв)
Освітлення	250	200
Посудомийна машина	2400	110
Пральна машина	2300	110
Холодильник	255	755
Телевізор	140	33
Чайник	2300	20
Мікрохвильова піч	1400	50
Кондиціонер	1500	200
Блендер	385	4
Стаціонарний ПК	365	150
Плойка	1500	10
Фен	1000	20
Міксер	100	20

Побутові споживачі з високим та дуже високим обсягом електроспоживання (групи IV – В та V – ДВ) з великою ймовірністю використовують електричну енергію для опалення. Встановлена потужність та час використання таких приладів наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Встановлена потужність та час використання побутових електроприладів за замовчуванням (електроопалення)

Електроприлад	Встановлена потужність (Вт)	Час використання (хв)
Електричний котел	10000	720
Електрообігрівач	2000	720
Електропростирадло	175	360

Оскільки в застосунку ELECTRYKA оцінюється вартість електроспоживання для побутового споживача за місяць, то важливо розрізняти електроприлади, що використовуються щоденно та ті, що використовуються час від часу. У табл. 3.4 наведено частота використання типових електроприладів протягом місяця.

Таблиця 3.4 – Частота використання електроприладів протягом місяця

Електроприлад	Встановлена потужність (Вт)	Кількість днів використання на місяць d_i	Типове використання (хв)
Освітлення	250	30	200
Посудомийна машина	2400	12	110
Пральна машина	2300	12	110
Холодильник	255	30	755
Телевізор	140	25	33
Чайник	2300	30	20
Мікрохвильова піч	1400	30	50
Кондиціонер	1500	15	200
Блендер	385	5	4
Стаціонарний ПК	365	20	150
Плойка	1500	20	10
Фен	1000	20	20
Міксер	100	5	20

Запропонована модель оцінки вартості електроспоживання для домогосподарства (формула 3.1) враховує не лише потужність та час роботи побутових електроприладів, а й частоту їх використання протягом місяця:

- електроприлади, що працюють постійно (освітлення, холодильник), враховуються із $f_i = 1$;
- електроприлади з обмеженою кількістю днів роботи на місяць (пральна машина, кондиціонер) враховуються за заданими $f_i < 1$;
- користувач має змогу коригувати значення d_i , змінюючи кількість днів використання пристрою, що забезпечує персоналізований підхід.

Інтеграція коефіцієнта частоти використання дозволяє врахувати реальні умови експлуатації приладів, що сприяє підвищенню точності розрахунків. Цей підхід має значний потенціал для практичного застосування в дослідженнях побутового енергоспоживання, оскільки забезпечує адаптацію моделі до специфіки поведінки споживачів. Урахування як щоденного, так і періодичного використання приладів дозволяє виявити ключові фактори, що впливають на обсяг електроспоживання, і створює передумови для розробки ефективних заходів для скорочення витрат.

3.3 Побутові електроприлади, що можуть бути задіяні для вирівнювання добового графіка навантаження

У процесі дослідження виявлено категорії електроприладів, що можуть бути задіяні для вирівнювання добового графіка навантаження. Цей підхід базується на аналізі профілів електроспоживання для різних типів побутових приладів, а також на моделюванні можливості перенесення часу їх використання задля зменшення пікового навантаження на енергосистему.

Для забезпечення ефективності управління попитом, кожен побутовий прилад було класифіковано за низкою параметрів:

- категорія споживання;
- встановлена потужність;
- середній час використання на день;
- можливість перенесення часу роботи на інший період доби.

Зазначена класифікація дозволяє виявити електроприлади, які можуть бути задіяні у регулюванні навантаження через зміну їхнього графіка

використання. Наприклад, пристрої, що виконують енергоємні функції (пральна та посудомийна машини, водонагрівачі, електроопалення), є основними кандидатами для таких маніпуляцій, оскільки їхня робота може бути перенесена з пікових на нічні години без суттєвого впливу на комфорт користувачів.

Для виявлення електроприладів як потенційних регуляторів навантаження було використано результати дослідження [42], яке аналізує профілі електроспоживання різних домогосподарств. До уваги бралися не лише середні показники потужності та часу роботи приладів, але й їхня роль у формуванні пікових навантажень.

Крім того, дані електророзподільної компанії Cornhusker Public Power District [42] надали інформацію про середнє споживання електроенергії домогосподарствами з чотирьох осіб, що дало змогу уточнити типові режими використання приладів та їхній потенціал для регулювання навантаження. Основними критеріями для включення приладів у категорію регуляторів навантаження є: (1) потужність або значна тривалість роботи; (2) можливість перенесення часу використання без суттєвого впливу на комфорт користувача; (3) сумісність з тарифними планами, які передбачають зниження вартості електричної енергії у нічний час.

Таблиця 3.5 – Значення за замовчуванням для побутових електроприладів

Назва	Потужність, Вт	Добовий час використання, хв	Категорія споживання	Можливість переключення
Водонагрівач	2000	290	Високе	✓
Посудомийна машина	2400	110	Високе	✓
Пральна машина	2300	110	Високе	✓
Холодильник	255	750	Середнє	-
Телевізор	140	33	Низьке	-
Чайник	2300	20	Високе	-

Назва	Потужність, Вт	Добовий час використання, хв	Категорія споживання	Можливість переключення
Мікрохвильова піч	1400	50	Високе	-
Кондиціонер	1500	200	Високе	-
Блендер	385	4	Середнє	-
Сушарка для білизни	5000	34	Високе	✓
Кавомашина	1500	8	Високе	-
Стаціонарний ПК	365	150	Середнє	-
Плойка	1500	10	Високе	-
Осушувач повітря	450	720	Середнє	✓
Морозильна камера	440	670	Середнє	✓
Фен	1000	20	Високе	-
Обігрівач	1500	80	Високе	-
Зволожувач повітря	170	460	Низьке	✓
Освітлення	250	200	Низьке	-
Міксер	100	20	Низьке	-
Духова шафа	2660	20	Високе	-
Водяний насос	460	80	Середнє	-
Електрогриль	1500	8	Високе	-
Вентилятор	80	300	Низьке	-
Електрична ковдра	175	360	Низьке	-

Наведені дані є середньостатистичними значеннями за замовчуванням. Користувач має можливість змінити параметри для кожного приладу відповідно до його технічних характеристик, що забезпечує точніший розрахунок споживання електроенергії та персоналізовані рекомендації в додатку.

На основі зазначених принципів було створено початкові дані, що враховують можливість перенесення часу роботи приладів. Це дозволяє користувачам:

- зменшити витрати на оплату електроспоживання шляхом використання приладів у періоди знижених тарифів;
- зменшити навантаження на енергосистему під час пікових періодів;
- адаптувати режим роботи електроприладів відповідно до індивідуальних потреб споживача.

Перенесення часу роботи приладів, таких як водонагрівачі, пральні та посудомийні машини, дозволяє досягти значної економії для домогосподарств, за умови використання ДТ. Наприклад, водонагрівачі можуть бути налаштовані для роботи в нічний час, забезпечуючи нагрів води за мінімальним тарифом.

Виділення побутових електроприладів, що можуть бути використані як регулятори навантаження, є важливим кроком для управління попитом. Запропонований підхід забезпечує можливість зменшення пікових навантажень на енергосистему та оптимізації витрат споживачів, що сприяє стабільності роботи енергосистеми в умовах зростаючого попиту на електроенергію. Це створює передумови для подальшої інтеграції інтелектуальних систем керування енергоспоживанням у побутовий сектор.

3.4 Оцінювання доцільності участі в програмі управління попитом побутових споживачів різних груп

Розглянемо потенційну участь у програмі управління попитом трьох побутових споживачів електричної енергії, що належать до різних груп.

Програма управління попитом: облаштування зонного обліку електроспоживання, запропоноване компанією постачальником електричної

енергії YASNO [42]. Розумний Watt – електронний, багатотарифний лічильник параметризований на два тарифи: нічний і денний підходить для квартир і будинків, у яких не встановлено автоматичну систему комерційного обліку електричної енергії. Вартість набору складає 6899 грн і включає послуги заміни старого лічильника на новий, доставку та технічні роботи фахівців.

Побутовий споживач № 1 належить до групи з високим обсягом електроспоживання (IV – V). Дані про електроспоживання протягом року наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Електроспоживання побутового споживача № 1, кВт·год

Місяць	День	Ніч	Всього
Січень	528	211	739
Лютий	466	175	641
Березень	421	156	577
Квітень	325	144	469
Травень	283	100	383
Червень	123	45	168
Липень	168	61	229
Серпень	286	73	359
Вересень	324	65	389
Жовтень	305	112	417
Листопад	279	90	369
Грудень	285	105	390

Аналіз сезонного споживання демонструє, що у зимовий період (грудень–лютий) споживання збільшується на 30–40% порівняно з літніми місяцями. Це пояснюється активним використанням електроопалювальних пристроїв та збільшенням тривалості роботи освітлення.

У літній період (травень–серпень) споживання зменшується через відсутність необхідності в опаленні, а основними джерелами витрат залишаються побутові прилади (холодильник, пральна машина тощо).

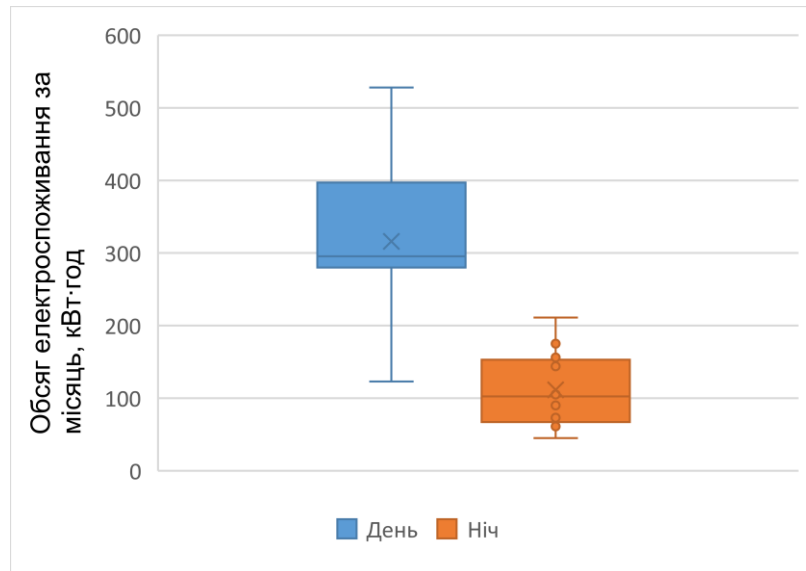


Рисунок 3.3 – Розмах у обсязі місячного електроспоживання протягом року побутового споживача №1

Рис. 3.4 показує зміну денного та нічного споживання електричної енергії протягом року. Денне споживання стабільно перевищує нічне, особливо в зимовий період. Це створює можливість для перерозподілу частини навантаження на нічні години.

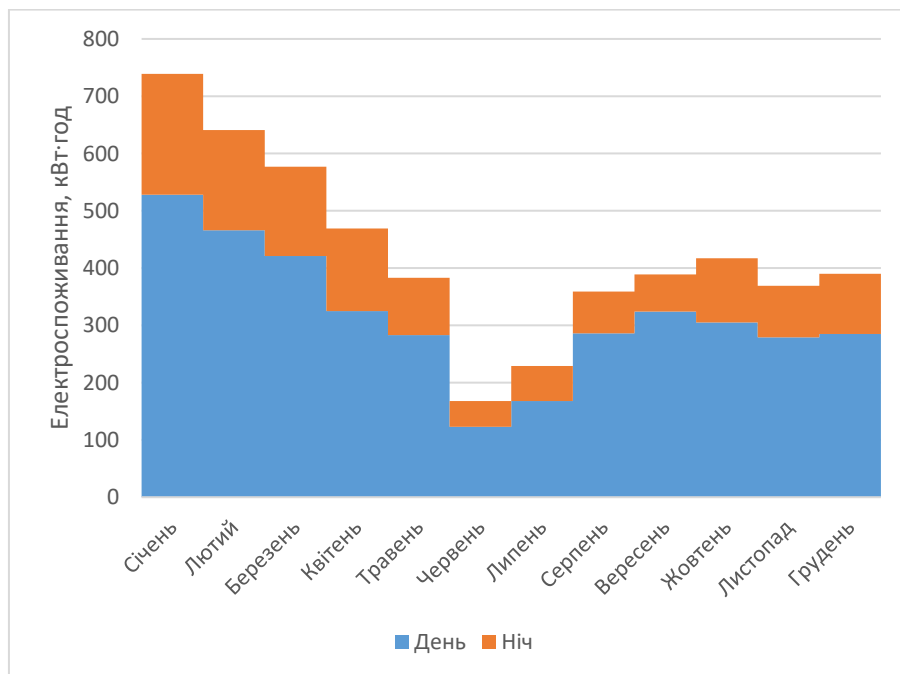


Рисунок 3.4 – Розподіл денного і нічного електроспоживання протягом року побутового споживача № 1

На основі аналізу було визначено ключові рекомендації для скорочення витрат на електроспоживання:

1) Перенесення роботи енергоємних приладів (пральна машина, посудомийна машина) на нічний тариф, що дозволить заощадити до 20% витрат.

2) Автоматизація роботи бойлера (у разі його використання) для нагріву води у нічний час.

3) Використання енергоефективного освітлення (LED-лампи) для зниження витрат у зимовий період.

4) Підключення таймерів до енергоємних приладів для оптимального часу використання.

Очікуваний ефект від впровадження цих заходів становить зниження витрат на електроенергію до 15–25% залежно від сезонності та характеру використання приладів.

Побутовий споживач № 2 належить до групи з низьким обсягом електроспоживання (П – Н). Дані про електроспоживання протягом року наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Електроспоживання побутового споживача № 2, кВт·год

Місяць	День	Ніч	Всього
Січень	112	22	134
Лютий	104	17	121
Березень	99	19	118
Квітень	93	16	109
Травень	152	44	196
Червень	123	36	159
Липень	114	27	141
Серпень	131	26	157
Вересень	140	26	166
Жовтень	132	27	159
Листопад	98	19	117
Грудень	114	21	135

На основі даних наведених у таблиці 3.7 встановлено наступне:

- Загальне річне споживання: 1712 год, із яких 86% припадає на денний тариф і лише 14% – на нічний.
- Максимальне споживання: спостерігається в осінньо-зимовий період (вересень–жовтень) через збільшення використання освітлення та електроприладів для обігріву.
- Мінімальне споживання: зафіксовано у весняно-літній період (березень–травень), коли зменшується необхідність у додатковому освітленні та опаленні.

Дані показують, що частка нічного споживання залишається відносно низькою, навіть у літній період, що вказує на потенціал для використання нічного тарифу.

Аналіз сезонного споживання показує такі закономірності:

- У весняно-літній період (квітень–серпень) споживання зростає завдяки активному використанню побутових приладів, таких як кондиціонери, вентилятори, але зменшується через відсутність потреби в опаленні.
- У осінньо-зимовий період (вересень–грудень) споживання збільшується на 25–30%, що пояснюється додатковим використанням освітлення та електроприладів.

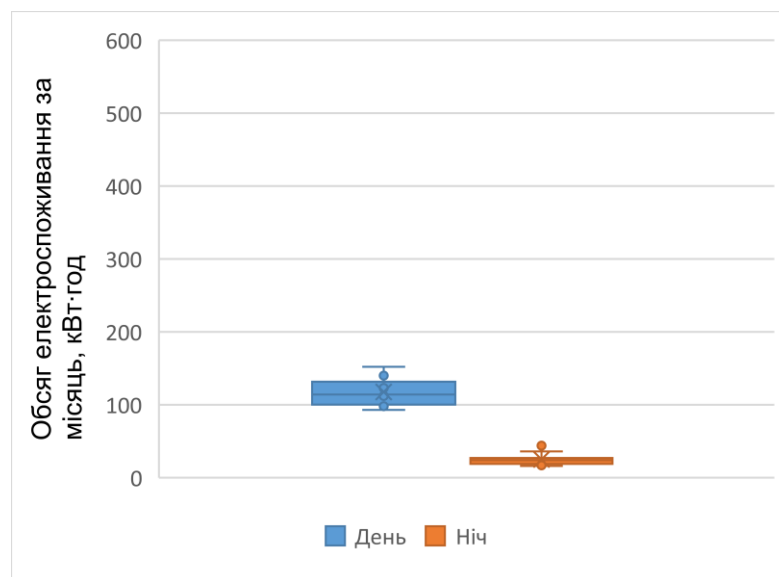


Рисунок 3.5 – Розмах у обсязі місячного електроспоживання протягом року побутового споживача № 2

На рис. 3.6 показано співвідношення денного та нічного споживання електричної енергії протягом року. Відзначається стабільність денного споживання протягом усього року, тоді як нічне споживання залишається низьким, що створює можливість для перерозподілу навантаження.

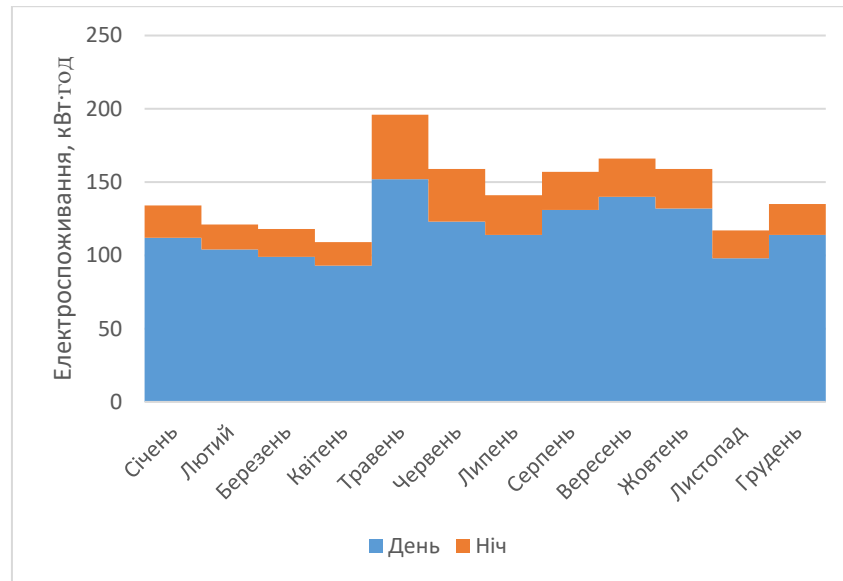


Рисунок 3.6 – Розподіл денного і нічного споживання електричної енергії протягом року побутового споживача № 2

На основі проведеного аналізу запропоновано такі заходи для оптимізації споживання електроенергії:

- 1) Перенесення роботи енергоємних приладів (пральна машина, кухонні прилади) на нічний час.
- 2) Використання енергоефективного освітлення (LED-лампи), що забезпечить зниження витрат на освітлення.
- 3) Автоматизація роботи побутових приладів (використання таймерів для включення приладів у нічний час).

Очікувана економія від реалізації цих заходів може становити до 15–20% від загальних витрат на електроенергію.

Побутовий споживач № 3 належить до групи з середнім обсягом електроспоживання (III – С). Дані про електроспоживання протягом року наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Електроспоживання побутового споживача № 3, кВт·год

Місяць	День	Ніч	Всього
Січень	145	83	228
Лютий	104	60	164
Березень	131	74	205
Квітень	164	76	240
Травень	127	90	217
Червень	123	95	218
Липень	128	102	230
Серпень	128	103	231
Вересень	126	99	225
Жовтень	154	94	248
Листопад	149	91	240
Грудень	154	94	248

На основі даних наведених у таблиці 3.8 встановлено наступне:

- Загальне річне споживання: 2694 кВт·год, із яких 61,8% припадає на денний тариф і 38,2% – на нічний.
- Максимальне споживання: спостерігається в зимові місяці (грудень, січень, лютий), що пов’язано з активною роботою освітлення, бойлера та інших побутових приладів.
- Мінімальне споживання: фіксується у весняно-літній період (травень–липень), коли значно знижується потреба в освітленні та обігріві.

Нічне споживання має відносно високий рівень через стабільне використання бойлера та інших побутових приладів.

Сезонний аналіз (рис. 3.8) демонструє такі закономірності:

- Зимовий період (грудень–лютий): споживання збільшується до 248 кВт·год на місяць через збільшення тривалості роботи освітлення та використання обігрівальних приладів.
- Весняно-літній період (травень–липень): споживання зменшується до 217 кВт·год на місяць, зберігаючи високий рівень нічного споживання через роботу бойлера.

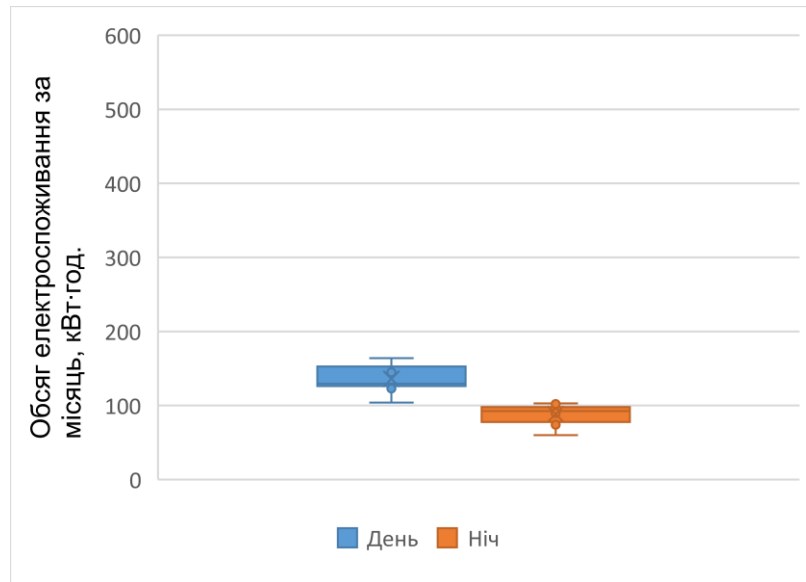


Рисунок 3.7 – Розмах у обсязі місячного електроспоживання протягом року побутового споживача №3

Нічне споживання є стабільним протягом року, тоді як денне має коливання, зокрема у зимовий період.

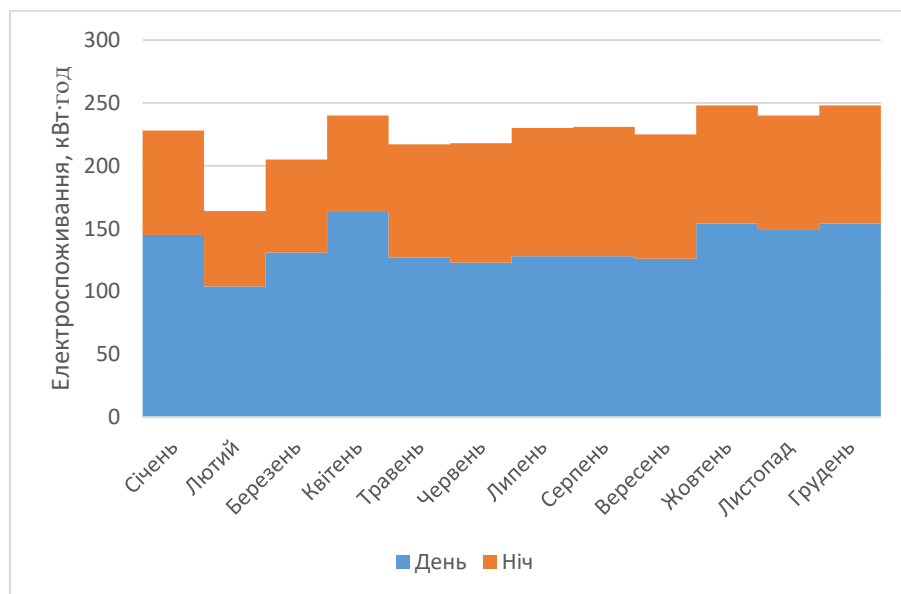


Рисунок 3.8 – Розподіл денного і нічного електроспоживання протягом року побутового споживача № 3

На основі проведеного аналізу запропоновано такі заходи:

- 1) Оптимізація роботи бойлера: Перенесення роботи бойлера на нічний час дозволить зменшити витрати на нагрів води.

2) Енергоефективне освітлення: Використання LED-ламп знизить витрати в зимовий період.

3) Автоматизація роботи побутових приладів: Налаштування роботи пральної машини та інших приладів у нічний час дозволить заощадити до 20% витрат.

4) Контроль сезонного споживання: Зменшення тривалості роботи обігрівальних приладів у перехідний період.

Аналіз електроспоживання трьох типів домогосподарств із двозонним обліком (квартири з ГВП, квартири без ГВП і приватного будинку з газовим опаленням) показав суттєві відмінності у споживанні електроенергії залежно від сезонних чинників, типу тарифу та режимів роботи побутових електроприладів.

1. Сезонність є основним фактором коливань електроспоживання. У зимовий період обсяги споживання значно збільшуються через активне використання освітлення, нагрівальних приладів і бойлера. У літній період споживання суттєво зменшується, особливо в домогосподарствах із ГВП.
2. Частка нічного споживання суттєво варіюється між об'єктами: від 16% у квартирі без ГВП до понад 38% у приватному будинку з газовим опаленням. Це вказує на потенціал для оптимізації через перенесення роботи енергоємних приладів на нічний тариф.
3. Використання автоматизованих систем управління побутовими приладами може забезпечити зниження пікового навантаження на енергосистему та скорочення витрат домогосподарств на електроенергію до 20–25%.
4. Енергоефективні технології (зокрема, LED-освітлення) відіграють важливу роль у зменшенні енергоспоживання в зимовий період.

Таким чином, запропоновані підходи до оптимізації електроспоживання спрямовані на раціональне використання енергоресурсів, підвищення енергоефективності домогосподарств та зменшення фінансового навантаження на споживачів.

Тепер розрахуємо оцінку вигод і витрат об'єктів, за формулою 2.5, для переходу на диференційований тариф, який потребує витрат в розмірі 6899 грн

[42] на обладнання і монтаж. Тобто витрати учасника C_p будуть для всіх об'єктів однакові 6899 грн.

Розрахуємо потенційну вигоду першого споживача за таблицею 3.6, якщо тариф складає 4,32грн/кВт·год. Без двозонного тарифу витрати на рік за спожиту електричну енергію будуть становити 22162 грн, з двозонним обліком 19274 грн. Тобто потенційна вигода $\Delta E = 22162 - 19274 = 2888$ грн, гарантійний термін експлуатації лічильника становить 6 років, дисконтну ставку приймемо на рівні 10 %.

Дані:

$$\Delta E = 2888 \text{ грн/рік}$$

$$N = 6 \text{ років}$$

$$d = 10 \%$$

$$C_p = 6899 \text{ грн}$$

Розрахунок вигоди за 6 років:

$$B_1 = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{\Delta E}{(1 + 0,1)^i} \right) = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{2888}{(1 + 0,1)^i} \right) = 12577 \text{ грн.}$$

Розрахунок показника доцільності для конкретного побутового споживача участі в програмі управління попитом (Participant Test):

$$PT_1 = \frac{12577}{6899} = 1,82.$$

Результат свідчить, що інвестиція в двозонний лічильник для цього домогосподарства є вигідною. Значення більше одиниці вказує на доцільність впровадження.

За таблицями 3.7 і 3.8 виконано аналогічні розрахунки для інших двох споживачів.

$$B_2 = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{642}{(1+0,1)^i} \right) = 2796 \text{ грн,}$$

$$PT_2 = \frac{2796}{6899} = 0,4.$$

Для другого споживача значення Participant Test становить 0,4, що є меншим за одиницю. Це свідчить про те, що перехід на двозонний тариф у даному випадку не забезпечує повної компенсації витрат, пов'язаних із встановленням лічильника, у передбачуваний період.

$$B_3 = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{2292}{(1+0,1)^i} \right) = 9982 \text{ грн},$$

$$PT_3 = \frac{9982}{6899} = 1,44.$$

Для третього об'єкта значення Participant Test становить 1,44, що є більшим за одиницю. Це свідчить про високу економічну ефективність переходу на двозонний тариф. Вигоди, отримані завдяки скороченн. Вартості електроспоживання, значно перевищують витрати, пов'язані зі встановленням лічильника.

Висновки до розділу 3

1. Представлено загальний огляд першої версії навчального застосунку ELECTRYKA, що в інтерактивному форматі дозволяє оцінювати вартість електричної енергії, яку споживають побутові прилади домогосподарства за місяць. Запропоновано класифікацію побутових споживачів електричної енергії на п'ять груп за річним обсягом електроспоживання. Інтерактивний формат збору даних про побутові електроприлади залучає користувачів до активної участі, підвищуючи зацікавленість через механізми гейміфікації, візуалізації, моделювання сценаріїв та персоналізованих повідомлень. На підтвердження ефективності цього інтерактивного підходу було проведено апробацію моделювання сценарію перенесення частини добового електроспоживання на нічний період для реального побутового споживача з групи IV – V. За допомогою застосунку оцінено зміну вартості електроспоживання за місяць.

2. Розроблено структурований перелік типових електроприладів для різних груп побутових споживачів. Встановлено потужність та час використання побутових електроприладів протягом доби, частоту використання протягом місяця за замовчуванням. Користувач застосунку може коригувати задані параметри у відповідності до фактичних даних і оцінювати як такі зміни впливають на вартість електроспоживання за місяць. Ці експерименти в інтерактивному форматі допомагають користувачеві застосунку ELECTRYKA виявляти енергоємні електроприлади у власному помешканні, краще розуміти як користування ними впливає на вартість електроспоживання за місяць.

3. Виявлено групу електроприладів, що можуть бути задіяні для вирівнювання добового графіка навантаження побутового споживача. Застосунок ELECTRYKA надаватиме рекомендації користувачеві щодо використання електроприладів із високою потужністю та можливістю перенесення часу роботи в нічний період (водонагрівачі, пральні чи посудомийні машини), за умови їх наявності в профілі побутового споживача. Отримані дані допоможуть адаптувати рекомендації до реальних умов кожного домогосподарства. Це, у свою чергу, сприятиме зниженню витрат для побутового споживача та зменшенню пікового навантаження енергосистеми.

4. Представлено результати аналізу електроспоживання побутових споживачів трьох різних груп – з високим, середнім та низьким обсягом електроспоживання. Наведено результати розрахунків показника доцільності для конкретного побутового споживача участі в програмі управління попитом (Participant Test). Використання двозонного тарифу підтвердило свою ефективність для об'єктів із високою часткою нічного споживання, особливо завдяки перенесенню роботи енергоємних приладів на нічні періоди. Запропоновані рекомендації, включаючи автоматизацію роботи пристроїв та впровадження енергоефективних технологій, сприяють зменшенню витрат і створюють передумови для стабільності енергосистеми в умовах дефіциту потужності.

РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЄКТ КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБЛЕНОГО ЗАСТОСУНКУ ELECTRYKA

4.1 Опис ідеї проекту

Сучасні виклики в галузі енергетики та необхідність зменшення вуглецевого сліду спонукають до створення інноваційних рішень для раціонального споживання електричної енергії. Мобільний застосунок ELECTRYKA є відповіддю на ці виклики, поєднуючи освітні елементи з інструментами для управління електроспоживанням. Його ключова мета – забезпечити користувачів практичними знаннями про особливості електричної енергії як товару, важливість використання енергоефективних побутових електроприладів та допомогти їм зменшити власні витрати на споживання електричної енергії.

ELECTRYKA дозволяє:

1. Оцінювати вартість електроспоживання для конкретного споживача, добовий графік якого моделюється методом «знизу-вгору»: Користувачі можуть обирати електроприлади з бази даних, налаштовувати їх параметри (потужність, час роботи) та отримувати миттєвий розрахунок витрат.

2. Проводити експерименти з ДТ: Унікальна функція, яка дозволяє порівняти витрати на електроспоживання в рамках стандартного та зонного тарифу на електричну енергію.

3. Навчатися енергоефективності: Застосунок інтегрує інтерактивні освітні завдання, які орієнтовані на школярів, молодь та домогосподарства. Користувачі вивчають принципи ефективного використання електроенергії та способи оптимізації витрат.

Освітній аспект робить ELECTRYKA унікальним інструментом на ринку. Це не лише мобільний застосунок для розрахунків, але й засіб навчання, який сприяє формуванню свідомого ставлення до енергоспоживання у школярів.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Інтерактивний мобільний застосунок для обчислення вартості електроенергії	Домогосподарства	Зниження витрат за рахунок оптимізації споживання
Освітній компонент для навчання енергоефективності	Школи, освітні програми	Підвищення обізнаності щодо енергоефективності
Експерименти із зонними тарифами	Молодь, власники приватних будинків	Оцінка економії за рахунок зміни добового графіка використання електроприладів

Особливості ідеї. Головною інновацією є інтеграція освітніх модулів із практичними інструментами. Це дозволяє школярам не лише здобувати теоретичні знання, але й застосовувати їх у реальних умовах, аналізуючи власне споживання електричної енергії. Такий підхід має значний потенціал для розвитку культури енергоефективності в суспільстві.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Розробка ELECTRYKA базується на використанні сучасних інструментів і технологій, що гарантують стабільну роботу застосунку та його легке масштабування в майбутньому. На стадії TRL-4 прототип демонструє базовий функціонал і готовий до впровадження нових функцій.

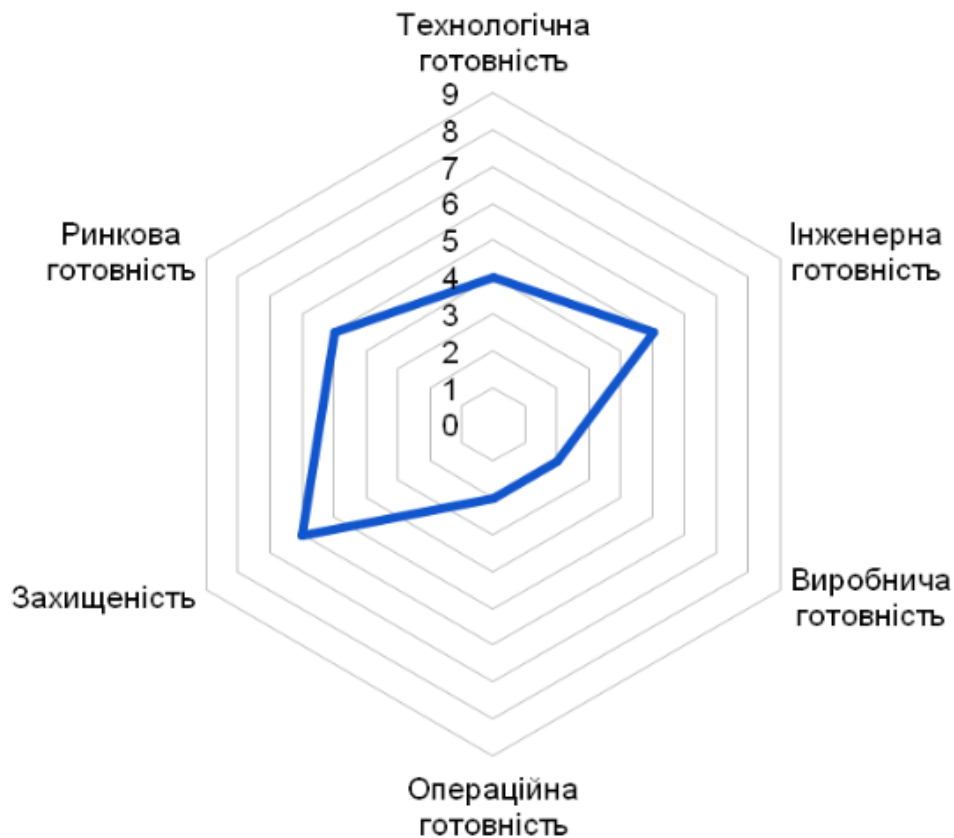


Рисунок 4.1 – Стан готовності стартап-проекту

Використані технології:

1. **Swift і SwiftUI:** Нативна розробка для iOS забезпечує високу продуктивність і інтерактивний інтерфейс.
2. **SwiftData:** Використовується для зберігання даних про електроприлади, тарифи та історію електроспоживання.
3. **Алгоритми скорочення витрат:** В основі розрахунків лежать алгоритми, що враховують зонні тарифи на електричну енергію, доступні для побутових споживачів електричної енергії в Україні.

Потенційні удосконалення:

Перша версія застосунку обговорювалася з проф. Робіном Нанкессером (Prof. Dr. Robin Nunkesser) у рамках міжнародної співпраці НН ІЄЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського з Університетом прикладних наук Гамма-Ліппштадта. У додатку Б

представлено відгук про розроблений застосунок. За результатами цього обговорення виявлено можливості для впровадження нових функцій:

1. **Сканування QR-кодів:** як і в німецькому додатку Energielabel, камера смартфона зможе зчитувати інформацію про енергоефективність приладів.
2. **Гейміфікація:** додавання інтерактивних завдань та челенджів для підвищення залучення користувачів, подібно до Earnest.
3. **Інтеграція з IoT:** Можливість підключення розумних лічильників для автоматичного збору даних.

Значення технологічного аудиту. Вибір сучасних технологій забезпечує високу якість роботи застосунку та його адаптацію до зростаючих потреб ринку. Завдяки відкритості до інновацій, ELECTRYKA має значний потенціал для розвитку та впровадження нових функцій.

Таблиця 4.2 – Технологічна здійсненність проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації
1	Інтерактивний калькулятор вартості електроенергії	Swift, SwiftUI, SwiftData
2	Експерименти з ДТ	Алгоритми аналізу споживання
3	Гейміфікація для залучення користувачів	Інтерактивні завдання

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Порівняння з конкурентами на українському ринку

Енергетичний сектор перебуває в активній фазі трансформації, спрямованої на зниження енергетичних витрат і впровадження відновлюваних джерел енергії. У цьому контексті зростає попит на інструменти, які допомагають домогосподарствам ефективно управляти електроспоживанням.

Огляд конкурентів. На українському ринку існують такі продукти, як YASNO та e-Svitlo, які пропонують базовий функціонал для передачі показань лічильників і перегляду рахунків. Проте вони не надають можливості контролю енергоспоживання в реальному часі та не мають освітнього компонента.

Таблиця 4.3 – Порівняльний аналіз конкурентів

Назва застосунку	Функціонал	Переваги	Недоліки
YASNO	Перегляд рахунків, передача показань, оплата онлайн, керування кількома об'єктами	Простота використання, можливість керувати кількома об'єктами	Відсутність контролю в реальному часі, статистика лише за сплаченими рахунками
e-Svitlo	Перегляд рахунків, передача показань, оплата онлайн, керування кількома об'єктами, помісячні дані за споживання	Розширена статистика	Відсутність інтерактивних розрахунків, відсутність інтеграції з розумними пристроями
ELECTRYKA	Інтерактивний калькулятор, експерименти з тарифами, освітня складова	Контроль енергоспоживання в реальному часі, інтерактивність, освітній компонент	Поки обмежена лише платформою iOS

Для оцінки потенціалу мобільного застосунку ELECTRYKA було проведено SWOT-аналіз (рис. 4.2), який дозволив виявити його сильні та слабкі сторони, а також визначити зовнішні можливості й загрози.

Сильні сторони • Освітній компонент • Інтерактивність • Локалізація функціоналу • Експерименти з багатозонними тарифами		Слабкі сторони • Доступність лише для користувачів iOS • Відсутність інтеграції зі смарт лічильниками • Висока вартість масштабування
Можливості • Партнерство з німецькими партнерами • Розширення функціоналу	S O	W T Загрози • Висока конкуренція з існуючими застосунками • Зміни у регулюванні тарифів

Рисунок 4.2 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Серед сильних сторін проекту виділяються інтерактивний функціонал, освітній компонент і можливість масштабування. Основними слабкими сторонами є обмеженість платформи iOS на початковому етапі та необхідність додаткового фінансування для розвитку серверної частини й адаптації на Android. SWOT-аналіз також показав перспективи виходу на міжнародний ринок завдяки інтеграції європейських стандартів і співпраці з німецькими партнерами, водночас враховуючи загрози з боку високої конкуренції та можливих змін у регулюванні тарифів.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту та маркетингової програми

Для розширення функціоналу мобільного застосунку та його адаптації для нових платформ необхідна фінансова підтримка у розмірі \$8600, детальна калькуляція представлена в табл. 4.4. Кошти будуть спрямовані на: найм бекенд-розробника для створення серверної частини застосунку та залучення розробника для розробки версії застосунку на платформі Android.

Таблиця 4.4 – Детальна погодинна калькуляція

Завдання	Кількість годин	Вартість за годину (USD)	Загальна вартість (USD)
1.Аналіз Вимог та Планування			
Консультації з клієнтом	10	0	0
Розробка технічного завдання	20	10	200
2.Дизайн			
UX/UI дизайн	80	20	1600
Прототипування	40	20	800
3.Розробка			
Архітектура та база даних	40	10	400
Вхідні форми та екрани	60	10	600
Графіки та візуалізації	40	10	400
API для моніторингу споживання	80	10	800
Розрахунковий модуль	60	10	600
Інтеграція та тестування	60	10	600

Завдання	Кількість годин	Вартість за годину (USD)	Загальна вартість (USD)
4.Тестування та Налагодження			
Юніт тестування	40	10	400
Інтеграційне тестування	40	10	400
Beta-тестування та виправлення багів	40	10	400
5.Публікація в App Store & Play Market			
Підготовка метаданих та скріншотів	10	20	200
Вартість публікації	1	99	99
6.Маркетинг та Просування			
Створення рекламної кампанії	20	10	200
Соціальні мережі та контент маркетинг	1	450	450
PPC реклама	1	450	450
Загалом			8599

Для залучення фінансування створено окрему сторінку проекту на офіційному сайті Офісу інновацій КПП ім. Ігоря Сікорського, яка слугує платформою для презентації ідеї та пошуку інвесторів [43].

У таблиці 4.5 наведено ринкову стратегію роботи з цільовою аудиторією – школярами та молоддю.

Таблиця 4.5 – Ринкова стратегія

Цільова аудиторія	Особливості	Стратегія охоплення
Школярі	Освітній компонент	Освітні програми
Молодь	Інтерактивність, доступність	Соціальні мережі

Освітній компонент має на меті виховання відповідальних споживачів електричної енергії, обізнаних щодо особливостей електричної енергії як товару і готових у майбутньому не лише купувати, а і продавати електричну енергію.

Для широкого охоплення аудиторії потенційних користувачів пропонується розробити навчальний модуль для платформи масових відкритих онлайн курсів Prometeus, а також реалізувати серію навчальних занять у школах, у рамках профорієнтаційних заходів університету.

Розроблення маркетингової програми подано в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Маркетингова програма

Канали комунікацій	Цільова аудиторія	Основні повідомлення
Соцмережі	Молодь, школярі	«Контролюй свої витрати з ELECTRYKA!»
Освітні заходи	Школярі	«Енергозбереження починається з тебе!»

Концепція продукту. ELECTRYKA позиціонується як:

1. Інтерактивний інструмент для аналізу витрат.
2. Навчальний застосунок із гейміфікацією.
3. Партнер для енергокомпаній у популяризації енергоефективності та відповідального споживання електричної енергії.

Маркетингова програма розроблена для активного залучення користувачів і популяризації ідеї відповідального споживання електричної енергії. Основні напрямки включають:

1. **Цифрові канали:** Соцмережі (Facebook, Instagram, TikTok) як основний інструмент для залучення молоді та школярів.
2. **Освітні ініціативи:** Співпраця з навчальними закладами, впровадження інтерактивних занять із використанням застосунку.
3. **Партнерство з енергопостачальниками:** Розробка спільних програм для популяризації енергоефективності та відповідального споживання електричної енергії серед домогосподарств.
4. **Співпраця з міжнародними організаціями:** Впровадження практик і стандартів, які популярні на європейському ринку.

Використання кількох каналів комунікації дозволить досягти максимальної залученості користувачів і забезпечити сталість аудиторії.

Висновки до розділу 4

1. У розділі представлено стартап-проект комерціалізації розробленого застосунку ELECTRYKA. Мобільний застосунок позиціонується як інноваційний інструмент, який інтегрує функціонал для розрахунку вартості електроспоживання для побутового споживача з освітніми компонентами. Його ключовою особливістю є здатність поєднувати навчання та практичне використання, що дозволяє користувачам не лише знижувати свої витрати в оплаті за спожиту електричну енергію, але й формувати відповідальну поведінку побутових споживачів. Це робить проект особливо цінним для школярів, які можуть засвоювати базові знання про особливості електричної енергії як товару у зручному та зрозумілому форматі.

2. Технологічна база проекту демонструє високу готовність до впровадження та масштабування: Використання Swift та SwiftUI гарантує стабільну роботу на платформі iOS, а також швидкість і гнучкість у розробці нового функціоналу; SwiftData забезпечує ефективне управління даними, що дозволяє зберігати історичні дані про споживання та результати експериментів із тарифами. Особливістю застосунку ELECTRYKA є відкритість до впровадження новітніх технологій. Інтеграція функцій штучного інтелекту для персоналізації рекомендацій, гейміфікація для залучення користувачів та сканування QR-кодів енергетичної ефективності дозволить значно підвищити функціональність застосунку.

3. Обґрунтовано необхідність залучення додаткового фінансування для доопрацювання першої версії застосунку. Ринок інструментів для управління попитом демонструє стабільне зростання як в Україні, так і в Європі. Аналіз конкурентів показав, що існуючі рішення (наприклад, YASNO та e-Svitlo) мають обмежений функціонал, який не враховує освітніх потреб користувачів і можливості інтерактивного аналізу електроспоживання у побуті.

4. Ринкова стратегія враховує необхідність постійного вдосконалення функціоналу для утримання конкурентних позицій. Масштабування на міжнародний ринок базується на впровадженні інструментів, які відповідають

сучасним вимогам європейських споживачів. Маркетингова програма розроблена для активного залучення користувачів і популяризації ідеї відповідального споживання електричної енергії. Основні напрямки комунікації включають цифрові канали, освітні ініціативи, партнерство з енергопостачальними компаніями та співпраця з міжнародними організаціями.

ВИСНОВКИ

Світові тенденції декарбонізації спрямовані на значне скорочення викидів парникових газів шляхом електрифікації кінцевого споживання та підвищення енергоефективності. Це підкреслює важливість управління попитом на електричну енергію серед побутових споживачів, оскільки саме в цьому сегменті роздрібного ринку електричної енергії спостерігається значне зростання обсягів електроспоживання. Програми управління попитом побутових споживачів електричної енергії допомагають домогосподарствам знижувати витрати на оплату спожитої електричної енергії та сприяти вирівнюванню добового графіка електричного навантаження об'єднаної енергосистеми. Досвід впровадження програм управління попитом у інших країнах показав необхідність навчання побутових споживачів щодо особливостей електричної енергії як товару.

В Україні управління попитом побутових споживачів електричної енергії набуло нової актуальності після масштабних руйнувань енергетичної інфраструктури та виникнення значного дефіциту потужності в ОЕС України. Хоча побутові споживачі поки не стали повноправними учасниками ринку електричної енергії, фіксовані ціни на електричну енергію для цієї групи були суттєво підвищені, що стимулюватиме домогосподарства до скорочення витрат. Основним механізмом управління попитом побутових споживачів електричної енергії в Україні залишаються тарифи, диференційовані за періодами часу доби.

Огляд існуючих інструментів для залучення побутових споживачів електричної енергії до управління попитом у світі та в Україні дозволив зробити висновок про необхідність розроблення навчального застосунку для індивідуальної роботи з кожним окремим домогосподарством. Визначено особливості управління попитом побутових споживачів, які необхідно врахувати під час розроблення застосунку: універсальні та специфічні, характерні для роздрібного ринку електричної енергії України.

Сегментування побутових споживачів електричної енергії та моделювання добового графіка електричного навантаження «знизу – вгору»

дозволяє розробляти індивідуальні рекомендації щодо управління попитом для кожного окремого побутового споживача. Застосування інструменту Participant Test дозволяє оцінювати доцільність участі у програмах управління попитом з точки зору конкретного побутового споживача, орієнтуючись на ті електроприлади, що використовує домогосподарство.

У межах дослідження розроблено першу версію навчального застосунку ELECTRYKA для використання у індивідуальних програмах навчання побутових споживачів електричної енергії в Україні та їх залучення до програм управління попитом. Результати дослідження підкреслюють важливість сегментування домогосподарств за річним обсягом електроспоживання для формування цільових стратегій управління попитом. Інтерактивний формат збору даних про побутові електроприлади залучає користувачів до активної участі, підвищуючи зацікавленість через механізми гейміфікації, візуалізації, моделювання сценаріїв та персоналізованих повідомлень. Застосунок дозволяє моделювати профіль електроспоживання окремого побутового споживача, оцінювати доцільність переходу на ДТ, генерувати персоналізовані рекомендації та візуалізувати економію. Апробація застосунку на реальних об'єктах продемонструвала значний потенціал для зниження витрат у оплаті за спожиту електричну енергію за місяць та доцільність використання інструменту Participant Test для кількісної оцінки конкретним домогосподарством затрат і вигоди від участі в програмах управління попитом.

Розроблено стартап-проект комерціалізації застосунку ELECTRYKA. Мобільний застосунок позиціонується як інноваційний інструмент, який інтегрує функціонал для розрахунку вартості електроспоживання для побутового споживача з освітніми компонентами. Ядром цільової аудиторії застосунку обрано учнів середньої та старшої школи, батьків і вчителів, оскільки саме підлітки можуть стати тими, хто змінює поведінкові моделі своєї сім'ї, а пізніше, у самостійному дорослому житті – активними споживачами.

Дослідження створює базу для подальшого розвитку систем управління попитом побутових споживачів електричної енергії, зокрема через впровадження розширеного функціоналу мобільного застосунку (інтеграція з

розумними лічильниками, адаптація до використання побутовими споживачами відновлюваних джерел енергії, автоматичне управління приладами) та аналізу впливу поведінкових факторів на ефективність управління енергоспоживанням.

За результатами даного дослідження:

1. Опубліковано тези доповіді на міжнародній конференції:

Чернецька Ю.В., Молодець С.С. Навчальний застосунок ELECTRYKA для залучення побутових споживачів електричної енергії до управління попитом. Збірник наук. праць IX міжнар. наук. - техн. та навч.-метод. конф. «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS’2024». [Київ, 26-27 листопада 2024 р.]. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. с. 187-189.

2. Одержано документи про авторське право на твір комп’ютерна програма «Мобільний застосунок «ELECTRYKA», Рішення про реєстрацію договору від 11.11.2024 року №7315, (Додаток В);

3. Проєкт «ELECTRYKA: навчальний застосунок» став фіналістом XIII Міжнародного Фестивалю Інноваційних проєктів «Sikorsky Challenge 2024: інновації для миру і безпеки України» (Додаток Г).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. World total final consumption by source, 1971-2019. *International Energy Agency*. 2021. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-total-final-consumption-by-source-1971-2019> (дата звернення: 27.09.2024).
2. Williams J.H., DeBenedictis A., Ghanadan R., Mahone A., Moore J., Morrow III W.R., Price S. and Torn M.S. The technology path to deep greenhouse gas emissions cuts by 2050: the pivotal role of electricity. *Science*. 2011. Vol. 335, pp.53–59. DOI: [10.1126/science.1208386](https://doi.org/10.1126/science.1208386) (дата звернення: 27.09.2024).
3. Global energy transformation: a roadmap to 2050 (2019 edition). *International Renewable Energy Agency*. 2019. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2019.pdf (дата звернення: 27.09.2024).
4. Clean Energy Market Monitor – March 2024. *International Energy Agency*. 2024. URL: <https://www.iea.org/reports/clean-energy-market-monitor-march-2024> (дата звернення: 27.09.2024).
5. Electricity total final consumption by sector, 1971-2019. *International Energy Agency*. 2021. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electricity-total-final-consumption-by-sector-1971-2019>. (дата звернення: 27.09.2024).
6. Palensky P., Dietrich D. Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems And Smart Loads. *IEEE Transactions on industrial informatics*. 2011. Vol. 7. No. 3. URL: <https://palensky.org/pdf/Palensky2011.pdf> (дата звернення: 27.09.2024).
7. Gellings C. W. The concept of demand-side management for electric utilities. *Proceedings of the IEEE*. 1985. Vol. 73 No 10. P. 1468–1470. DOI: [10.1109/PROC.1985.13318](https://doi.org/10.1109/PROC.1985.13318) (дата звернення: 27.09.2024).
8. Langevin J., Cetin K., Willems S., Kang J., Mahmud R., Christensen T.H., Li R., Knotzer A., Olawale O.W., Saelens D., O'Connell S. Customer enrollment and participation in building demand management programs: A review of key factors. *Energy and Buildings*. 2024. Volume 320, 114618. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114618> (дата звернення: 01.10.2024).

9. Demand Response. *International Energy Agency: website*. URL: <https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/demand-response> (дата звернення: 01.10.2024).
10. Domestic Scarcity Reserve: trial results. *Octopus-National Grid Energy System Operator*. July, 2022 URL: https://octoenergy-production-media.s3.amazonaws.com/documents/OE-NGESO_Domestic_Scarcity_Reserve_Trial_Results_vSEND_v2.pdf (дата звернення: 01.10.2024).
11. Huebner G., Shipworth D., Hamilton I., Chalabi Z., Oreszczyn T. Understanding electricity consumption: A comparative contribution of building factors, socio-demographics, appliances, behaviours and attitudes. *Applied Energy*. 2016. Vol. 177. P. 692-702. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.075> (дата звернення: 27.09.2024).
12. Spunei E., Frumușanu N.-M., Martin M. Study on household-level electricity consumption of domestic consumers in Romania: the need to check the electrical installation. *Sustainability*. 2024. 16(10), 4203. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16104203> (дата звернення: 03.10.2024).
13. Czétány L., Vámos V., Horváth M., Szalay Z., Mota-Babiloni A., Deme-Bélafi Z., Csoknyai T. Development of electricity consumption profiles of residential buildings based on smart meter data clustering. *Energy and Buildings*. 2021. Volume 252. 111376. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111376> (дата звернення: 09.10.2024 p.).
14. Proedrou E. A comprehensive review of residential electricity load profile models. *IEEE Access*. 2021. vol. 9. P. 12114-12133. DOI: [10.1109/ACCESS.2021.3050074](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3050074) (дата звернення: 17.10.2024 p.).
15. Krarti M., Aldubyan M. Review analysis of COVID-19 impact on electricity demand for residential buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Volume 143. 110888. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110888> (дата звернення: 27.09.2024).
16. Energy consumption in households. *Statistics Explained: official website of the European Union*. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics->

[explained/index.php?title=Energy consumption in households#Energy consumption in households by type of end-use](https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/energ/st_kn_sposh_energ_dom/arch_st_kn_sposh_energ_dom_u.htm) (дата звернення: 09.10.2024 р.)

17. Структура кінцевого споживання енергії домогосподарствами за цілями призначення. Державна служба статистики України: офіційний сайт. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/energ/st_kn_sposh_energ_dom/arch_st_kn_sposh_energ_dom_u.htm (дата звернення: 09.10.2024 р.).

18. Parker D., Fairey P. Updated miscellaneous electricity loads and appliance energy usage profiles for use in home energy ratings, the building america benchmark procedures and related calculations. *Florida Solar Energy Center/University of Central Florida*. 2010. URL: <https://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/archive/FSEC-CR-1837-10.pdf> (Last accessed: 09.10.2024)

19. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель. Наказ Міністерства Регіонального Розвитку, Будівництва Та Житлово-Комунального Господарства України №169 від 11.07.2018р. *База даних «Законодавство України»* URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#Text>.

20. Плачинда В. Д., Яровицина Т. В., Замулко А. І., Чернецька Ю. В. Актуальні питання використання тарифів на електричну енергію, диференційованих за періодами часу. *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. 2010. № 9. URL: <http://eee.khpi.edu.ua/article/view/22938> (дата звернення: 09.10.2024 р.)

21. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 р. № 2019-VIII: станом на 18.09.2024 р. *База даних «Законодавство України»*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 07.10.2024 р.)

22. Про затвердження Положення про покладення спеціальних обов'язків на учасників ринку електричної енергії для забезпечення загальносуспільних інтересів у процесі функціонування ринку електричної енергії: Постанова Кабінету Міністрів України від 05.06.2019 р. № 483. *База даних «Законодавство України»*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення: 13.10.2024 р.)

23. Звіт про результати діяльності НКРЕКП, 2023. *Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг*. URL: https://www.nerc.gov.ua/storage/app/sites/1/Docs/Byuleten_do_richnogo_zvitu/broshura_do_richnogo_zvitu_nkrekp-2023.pdf (дата звернення: 09.10.2024 р.)
24. Opryshko V., Denysiuk S., Basok B., Lysenko O., Biriukov D. Demand Response as a possible new service in after-war Ukrainian power system. 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems. DOI: <https://doi.org/10.1109/ESS57819.2022.9969308> (дата звернення: 09.10.2024 р.)
25. Кіянчук В., Махотіло К. Участь побутових споживачів на енергетичних ринках через керування попитом. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2023. № 9-10. С. 187-188. DOI: <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2023.09.01> (дата звернення: 01.10.2024).
26. ДТЕК. Пресс-реліз. Теплова енергетика. 15 Вересня 2021. URL: <https://grids.dtek.com/media-center/press/k-2030-godu-v-domakh-vsekh-zhiteley-kieva-ustanovyat-novye-mnogozonnye-umnye-schetchiki/>
27. Про схвалення Концепції впровадження “розумних мереж” в Україні до 2035 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.10.2022 р. № 908-р. База даних «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/908-2022-%D1%80?lang=en#Text> (дата звернення: 17.10.2024 р.)
28. Щодо захисту інформації, яка в умовах воєнного стану може бути віднесена до інформації з обмеженим доступом, у тому числі щодо об’єктів критичної інфраструктури: Постанова НКРЕКП від 26.03.2022 р. № 349. База даних «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0349874-22#Text> (дата звернення: 09.10.2024 р.)
29. Новини про встановлення домогосподарствами СЕС у 2021 році. Держенергоефективності: вебсайт. URL: <https://saee.gov.ua/uk/news/4085> (дата звернення: 16.10.2024 р.)
30. Про затвердження технічних регламентів щодо енергетичного маркування. Постанова Кабінету Міністрів України від 07.08.2013 р. № 702. База

даних «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/702-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення: 09.10.2024 р.)

31. Про затвердження Технічного регламенту етикетування ламп побутового використання стосовно ефективності споживання електроенергії. Постанова Кабінету Міністрів України від 27.12.2008р. №1444 База даних «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1144-2008-%D0%BF#Text> (дата звернення: 09.10.2024 р.)

32. Про енергетичну ефективність: Закон України від 21.10.2021р. № 1818-IX: станом на 15.11.2024. База даних «Законодавство України». URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (дата звернення: 09.10.2024 р.)

33. Nest Labs Inc. Nest. *GooglePlay*: website. URL: <https://play.google.com/store/apps/details/Nest?id=com.nest.android&hl=uk&pli=1> (дата звернення: 16.10.2024 р.)

34. Emporia Corp. Emporia: website. URL: <https://www.emporiaenergy.com/> (дата звернення: 17.10.2024 р.)

35. Energy Efficiency Calculator. App Store. URL: <https://apps.apple.com/ua/app/energy-efficiency-calculator/id1645902512?l=uk> (дата звернення: 17.10.2024 р.)

36. YASNO: website. URL: <https://yasno.com.ua/about-yasno/pro-kompaniyu> (дата звернення: 17.10.2024 р.)

37. E-Svitlo: website. URL: <https://cn.e-svitlo.com.ua> (дата звернення: 17.10.2024 р.)

38. Про затвердження Методологічних положень державного статистичного спостереження "Ціни на природний газ та електроенергію, які постачаються споживачам". Наказ Державної Служби Статистики України від 09.02.2023. База даних «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0047832-23#Text> (дата звернення: 17.10.2024 р.)

39. Ismael Jrhilifa, Hamid Ouadi, Abdelilah Jilbab, Saad Gheouany, Nada Mounir, Saida El Bakali. Residential Appliances Scheduling Using Binary Sparrow Search Algorithm For Demand Side Management. IFAC-PapersOnLine. Volume 58, 93

Issue 13, 2024, Pages 194-199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.07.482>
(дата звернення: 20.10.2024 р.)

40. Short W., Packey D., Holt T. A manual for the economic evaluation of energy efficiency and renewable energy technologies. NREL/TP-462-5173. 1995. DOI: <https://doi.org/10.2172/35391> (дата звернення: 17.10.2024 р.)

41. Відеопрезентація першої версії застосунку ELECTRYKA для користувачів iOS. YouTube канал Сергей Молодец. URL: <https://www.youtube.com/shorts/RsyAlixsYhw> (дата звернення: 17.11.2024 р.)

42. Cornhusker Public Power District. URL : <https://cornhusker-power.com/rebates/household-appliances/> . (дата звернення: 17.10.2024 р.)

43. Набір Розумний Watt «Експерт» URL: <https://shop.yasno.com.ua/store/product/836> (дата звернення: 17.10.2024 р.)

44. ІЕЕ-01-01 Мобільний застосунок «ELECTRYKA». *Офіс інновацій КПП ім. Ігоря Сікорського*: вебсайт. URL: <https://io.kpi.ua/r-all/iee-01-r-01> (дата звернення: 17.11.2024 р.)

ПОСІБНИК КОРИСТУВАЧА
мобільного застосунку ELECTRYKA

Мобільний застосунок **ELECTRYKA** дозволяє в інтерактивному форматі оцінювати вартість електричної енергії, яку споживають побутові прилади домогосподарства за місяць.

Для того, щоб оцінити вартість електроспоживання за місяць, виконайте наступні дії:

1. Введіть дані про свій тариф. За замовчуванням, фіксована ціна – 4,32 грн/кВт·год. Якщо користуєтеся двозонним лічильником – оберіть режим «Нічна тарифікація», ціна електричної енергії, спожитої з 23:00 до 07:00, буде розраховуватися з коефіцієнтом 0,5.

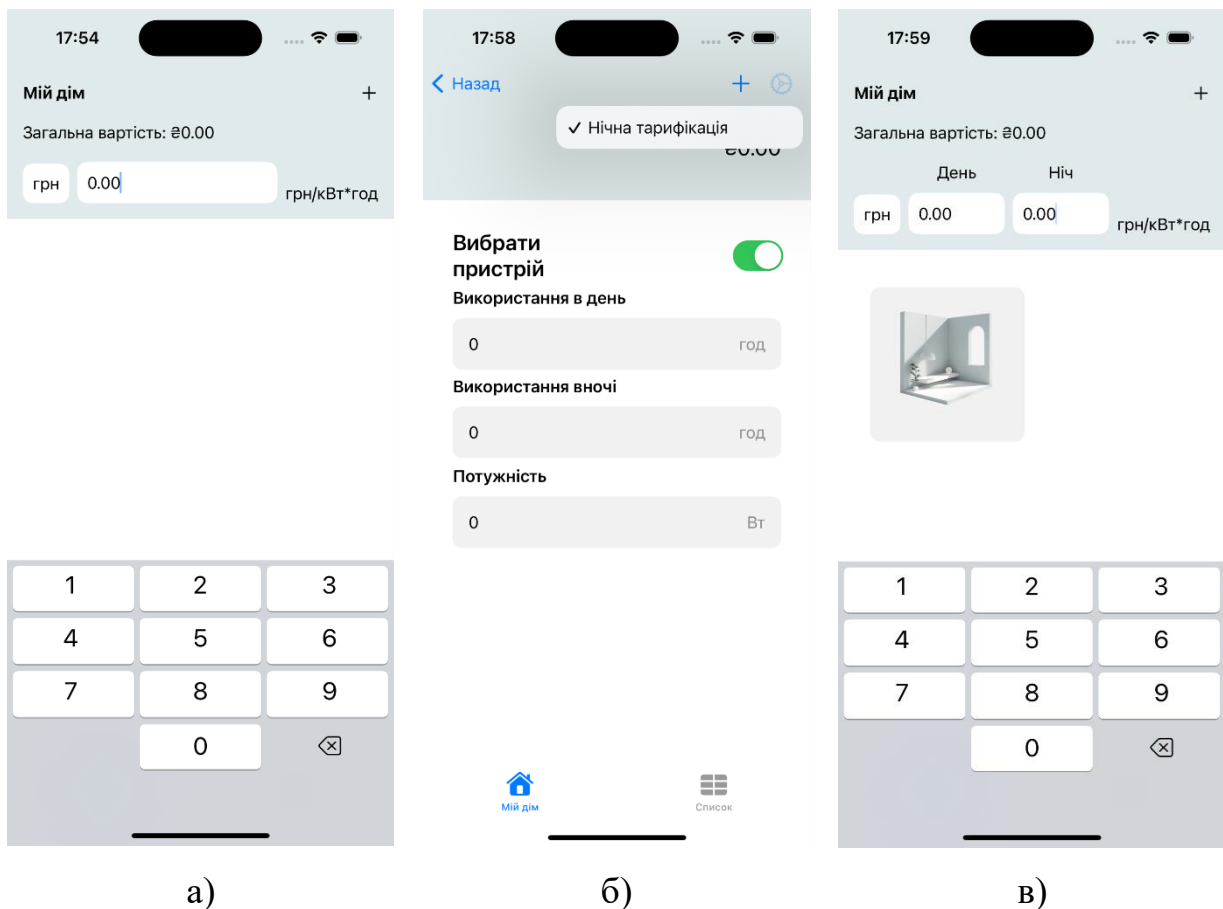


Рисунок А.1 – Введення даних про тариф: а) однозонний облік; б) вікно переходу на двозонний облік; в) двозонний облік

2. Введіть дані про кімнати свого будинку (квартири). Для спрощення обліку побутових електроприладів, їх згруповано в кімнати. За замовчуванням помешкання має кухню, вітальню, спальню, ванну кімнату. Якщо необхідно додати кімнату, використовуйте іконку «інше» та назвіть додану кімнату. Натисніть «Зберегти», якщо завершили введення даних про всі кімнати свого помешкання.

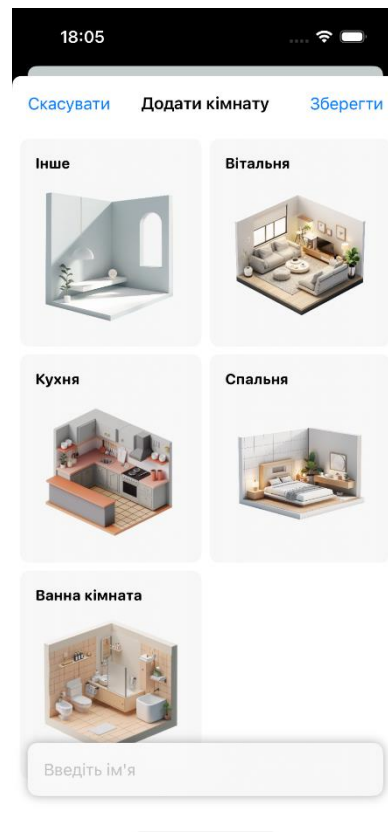


Рисунок А.2 – Введення даних про кімнати будинку (квартири)

3. У кожному кімнату додайте електроприлади, якими користуєтеся щодня чи час від часу. Оберіть тип електроприладу із запропонованого переліку (холодильник, пральна машина, кондиціонер, обігрівач і т. д.). Якщо у переліку відсутній електроприлад, використовуйте іконку «інше» та назвіть свій електроприлад. Для кожного електроприладу вкажіть час використання. Якщо в помешканні використовується двозонний облік, то час використання необхідно вказати окремо для двох періодів доби: «день» та «ніч».

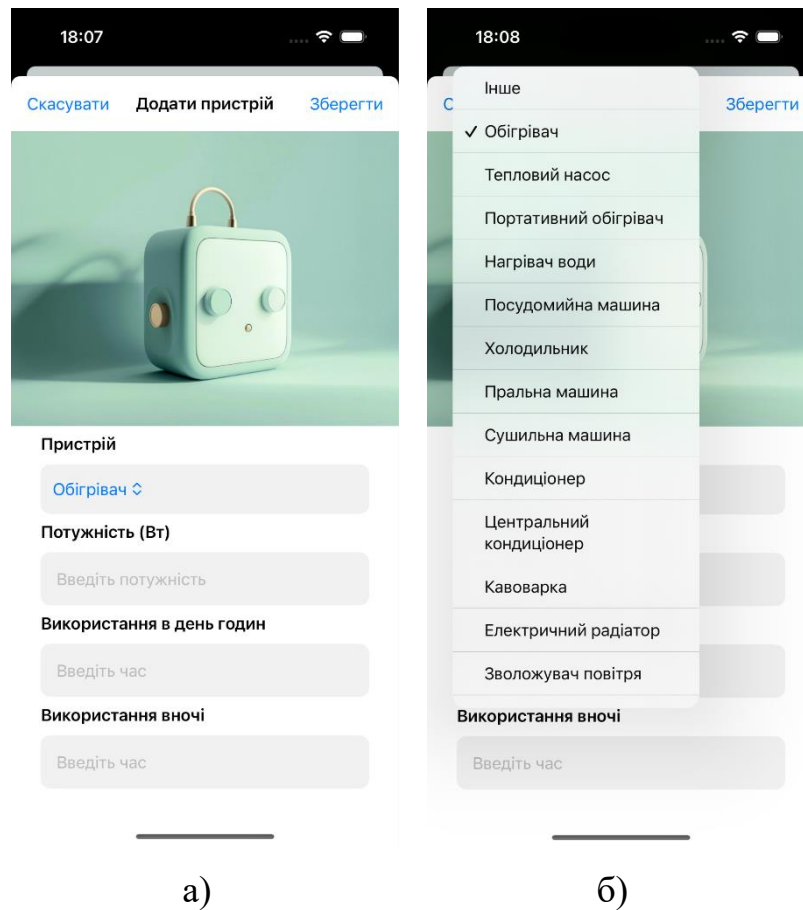


Рисунок А.3 – Введення даних про електроприлади: а) вікно додавання електроприладу; б) запропонований перелік типових електроприладів

4. Ознайомтеся із вартістю електроспоживання свого будинку (квартири) за місяць. Крім загальної вартості, у списку буде також представлено вартість електроспоживання у розрізі кімнат помешкання та з деталізацією окремо за кожним електроприладом. Проаналізуйте, які електроприлади вашого помешкання найбільш суттєво впливають на вартість електроспоживання.

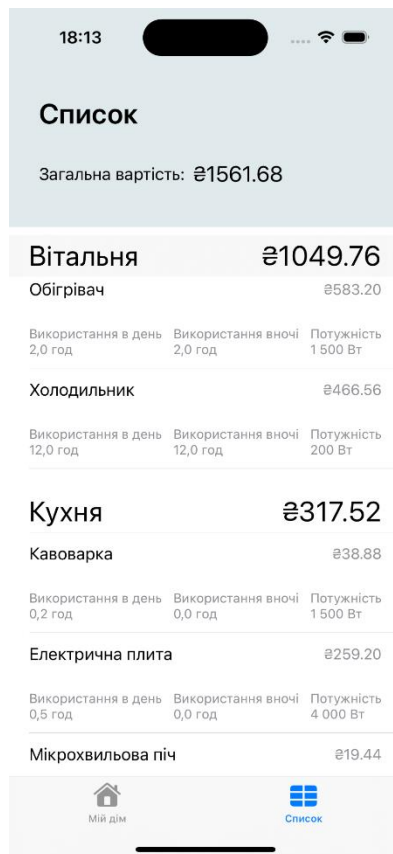


Рисунок А.4 – Виведення результатів: оцінка вартості електроспоживання за місяць у розрізі кімнат помешкання та окремих електроприладів

Після зміни введених даних про тариф, тип обліку електроспоживання (однозонний чи двозонний), встановлену потужність і час використання електроприладів, оцінка вартості електроспоживання буде автоматично оновлена.

Таким чином, мобільний застосунок **ELECTRYKA** наочно демонструє побутовому споживачеві, від чого залежить вартість спожитої електричної енергії як товару, показує важливість вибору енергоефективних електроприладів та режиму їх використання протягом доби.

Відгук проф. Робіна Накессера (Prof. Dr. Robin Nunkesser) у рамках співпраці з Університетом прикладних наук Гамма-Ліппштадта

Smart Power Usage Tool – Feedback

Robin Nunkesser

May 17, 2024

1 Feedback on the Smart Power Usage Tool

The Smart Power Usage Tool is a great idea. It looks like a very useful tool for people who want to save energy and reduce their electricity bills. The slides are well-structured and easy to understand. The app looks very user-friendly and intuitive.

At the present state, the differences to the mentioned Energy Efficiency Calculator do not seem to be very big. It may help to include additional features apart from language support. Some of such features are already mentioned on slide 5, but do not yet seem to be implemented (based of what is displayed in the screen recording).

As an additional minor remark: the functionality of the marked switch in Figure 1 is not intuitively clear to me.

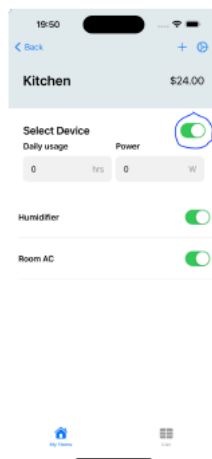


Figure 1: Screenshot of the Smart Power Usage Tool

2 Situation in Germany

Traditionally, Germany has been a country with a strong focus on energy efficiency. It may be helpful to look at the situation in Germany to get further ideas for energy saving apps. In the following, I will provide some information on chosen German energy saving apps. One German app (PowerGenius: Power Consumption) is already mentioned in the slides.

I have additionally chosen:

- pixometer¹
- Energielabel²
- Earnest³

2.1 Incorporating the Camera for Energy Saving Apps

The first two apps feature partially ai-powered image recognition. The pixometer app is used to easily read out electricity meters (see Figure 3 for screenshots).

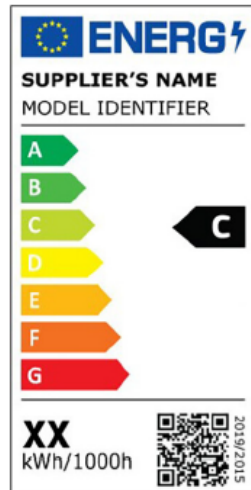


Figure 2: New european energy label

The Energielabel app is used to scan the QR code on new versions of the energy label of electrical appliances⁴ (see Figure 2 for an example).

¹<https://apps.apple.com/de/app/pixometer/id934332635>

²<https://apps.apple.com/de/app/energielabel/id1543159006>

³<https://apps.apple.com/de/app/earnest-nachhaltig-leben/id1515761747>

⁴On 13 November 2021, Law of Ukraine "On Energy Efficiency" No. 1818-IX came into force. If I understand it correctly, the Ukraine will use or already uses similar or the same energy labels as the EU.

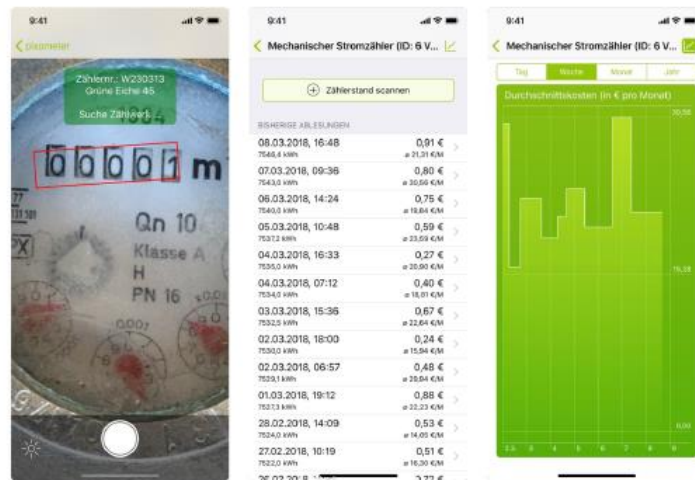


Figure 3: Screenshots of the pixometer app

2.2 Infotainment and Gamification

The Earnest app is a general app for sustainable living, which also includes energy saving tips. It features a lot of challenges to make the topic more fun. An idea that could be easily incorporated into the Smart Power Usage Tool is the included list of energy saving tips (see Figure 4).



Figure 4: Screenshot of the Earnest app

The already mentioned Energielabel app includes a little quiz as a gamification component (see Figure 5).

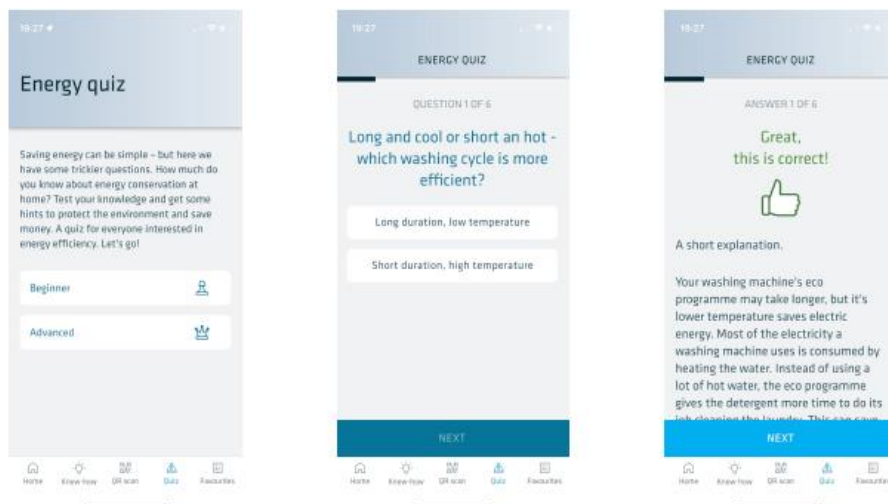


Figure 5: Screenshots of the Energielabel app



Сертифікат фіналіста XIII Міжнародного Конкурсу Sikorsky Challenge 2024

