

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра Будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Будівництва та експлуатації
будівель, доріг та транспортних
споруд _____ О. П.
Новицький

«__» _____ 2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження питання автономного теплозабезпечення багатоповерхового житлового будинку в м. Тростянець, як перспектива забезпечення сталого розвитку»

Виконав (ла)

(підпис)

П. Ю. Логвін

(Прізвище, ініціали)

Група

Буд 2301-2м

(Науковий)
керівник

(підпис)

Л. О. Богінська

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: Будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд
Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Логвін Павло Юрійович

Тема роботи: Дослідження питання автономного теплозабезпечення багатоповерхового житлового будинку в м. Тростянець, як перспектива забезпечення сталого розвитку

Затверджено наказом по університету № 3455/ос від "07" 10 2024р.
Строк здачі студентом закінченої роботи: "1" грудня 2024 р.

Вихідні дані до роботи:

Дані інженерно-геологічних вишукувань, типові проекти, завдання проектування _____

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)

Розділ 1. Загальна характеристика роботи, 1.1. Аналіз ефекту масштабу, 1.2.

Анотація

Логвін Павло Юрійович «Дослідження питання автономного теплозабезпечення багатоповерхового житлового будинку в м. Тростянець, як перспектива забезпечення сталого розвитку» – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2024.

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, огляду досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновків за результатами МКР (українською та англійською мовами).

Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

Актуальність дослідження полягає у зростаючій необхідності впровадження автономних енергетичних систем у багатоповерхових житлових будинках, що дозволяє знизити навантаження на централізовані електромережі, підвищити енергоефективність та сприяти зменшенню викидів вуглецю. Такі системи, як сонячні панелі, теплові насоси та акумулятори, не лише оптимізують споживання енергії, але й забезпечують надійність енергопостачання в умовах надзвичайних ситуацій, що відповідає сучасним екологічним стандартам.

У дослідженні використовувалися техніко-економічні моделі та оцінка життєвого циклу для визначення оптимальних конфігурацій відновлюваних джерел енергії, таких як фотоелектричні панелі та теплові насоси, для багатоповерхових будинків. Застосування програмних інструментів, зокрема WUFI Plus, дозволило детально моделювати енергетичні потреби та оцінювати екологічний вплив конструкцій. Результати дослідження підкреслюють ефективність інтеграції таких систем у міське житлове середовище.

Наукова новизна роботи полягає в адаптації автономних енергетичних систем до умов багатоповерхових будинків із врахуванням їхніх специфічних потреб та обмежень. Практична значущість дослідження полягає у рекомендаціях для впровадження енергоефективних технологій, які забезпечують часткову або повну енергетичну незалежність, підвищуючи стійкість житлового сектору та зменшуючи залежність від централізованих електромереж.

Ключові слова: теплозабезпечення, енергоефективність, оптимізація.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Богінська Л. О. ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТАННЯ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯК ПЕРСПЕКТИВА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ/ П. Логвін // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С. 23

2. Логвін П. Ю. Дослідження питання автономного теплозабезпечення багатоповерхового житлового будинку в м. Тростянець як перспектива забезпечення сталого розвитку”/ Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції студентів, 8-12 квітня 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.50

В додатках наведено тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на 44 сторінках, у тому числі 6 таблиць, 5 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 2 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 18 використаних джерел. Графічна частина складається з 18 слайдів мультимедійної презентації.

Abstracts

Logvin Pavlo Yuriyovych “Research on the issue of autonomous heat supply of a multi-storey residential building in the city of Trostyanets, as a prospect for ensuring sustainable development” – Master's qualification work in the form of a manuscript.

Master's qualification work in specialty 192 “Construction and Civil Engineering”. – Sumy National Agrarian University, Sumy, 2024.

The work consists of the content, general characteristics of the work and its qualification features, a review of research on the selected topic, sections of the main part, conclusions based on the results of the MCR (in Ukrainian and English).

The goal, objectives, object and subject of the study, methods of scientific research are formulated.

The relevance of the study lies in the growing need to implement autonomous energy systems in multi-storey residential buildings, which allows reducing the load on centralized power grids, increasing energy efficiency and contributing to the reduction of carbon emissions. Systems such as solar panels, heat pumps and batteries not only optimize energy consumption, but also ensure the reliability of energy supply in emergency situations, which meets modern environmental standards.

The study used techno-economic models and life cycle assessment to determine the optimal configurations of renewable energy sources, such as photovoltaic panels and heat pumps, for multi-storey buildings. The use of software tools, in particular WUFI Plus, allowed for detailed modeling of energy needs and assessment of the environmental impact of structures. The results of the study emphasize the effectiveness of integrating such systems into the urban residential environment.

The scientific novelty of the work lies in the adaptation of autonomous energy systems to the conditions of multi-storey buildings, taking into account their specific needs and limitations. The practical significance of the study lies in the recommendations for the implementation of energy-efficient technologies that

provide partial or full energy independence, increasing the resilience of the housing sector and reducing dependence on centralized power grids.

Keywords: heat supply, energy efficiency, optimization.

List of publications and/or speeches at student conferences:

1. Boginska L. O. RESEARCH OF THE ISSUE OF AUTONOMOUS HEAT SUPPLY AS A PROSPECT FOR ENSURING SUSTAINABLE DEVELOPMENT/ P. Logvin // Materials of the XVIII International Scientific and Practical Conference, November 29, 2024, KhNADU, Kharkiv, P. 23

2. Logvin P. Yu. Research of the issue of autonomous heat supply of a multi-storey residential building in Trostyanets as a perspective for ensuring sustainable development”/ Materials of the 86th International Scientific Conference of Students, April 8-12, 2024, KhNADU, Kharkiv, P. 50

The appendices contain the conference abstracts, an album of multimedia presentation slides.

Structure of the work.

The work consists of the main text on 44 pages, including 6 tables, 5 figures. The text of the work contains a general description of the work, 2 sections, conclusions and recommendations based on the results of the work, a list of 18 sources used. The graphic part consists of 18 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Розділ 1. Загальна характеристика роботи.....	9
1.1. Аналіз ефекту масштабу.....	11
1.2. Техніко-економічний аналіз.....	21
Розділ 2. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі.....	35
2.1. Ситуаційний план.....	35
2.2. Об'ємно-планувальне рішення.....	35
2.3. Архітектурно-конструктивне рішення.....	37
Список використаних джерел.....	43

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми: Актуальність цього дослідження полягає у зростаючій потребі в автономних енергетичних системах у багатоповерхових житлових будинках, де попит на енергію є значним, а енергетична незалежність може суттєво зменшити навантаження на централізовані електромережі. Це стало особливо важливим, оскільки автономні системи, такі як сонячні панелі та теплові насоси, представляють собою сталий шлях до скорочення викидів вуглецю та боротьби зі зміною клімату. Висотні будівлі мають значний потенціал для підвищення енергоефективності завдяки таким інноваціям, як накопичення тепла та інтеграція акумуляторів, які оптимізують енергопостачання та знижують витрати.

Крім того, автономні енергетичні системи підвищують стійкість до перебоїв в електропостачанні, забезпечуючи доступ мешканців до всіх зручностей сучасного житла. Ця особливість має вирішальне значення в умовах надзвичайних ситуацій або перебоїв у роботі мережі, підвищуючи таким чином надійність енергопостачання.

Мета і завдання дослідження: Метою дослідження є вивчення та оптимізація систем автономного енергопостачання, спеціально розроблених для багатоповерхових житлових будинків. Вивчаючи різні конфігурації технологій відновлюваної енергетики, таких як фотоелектричні системи, теплові насоси та акумуляторні батареї, дослідження спрямоване на пошук рішень, які максимізують енергетичну самодостатність, мінімізують вплив на навколишнє середовище та зменшують залежність від централізованих електромереж.

Основне завдання дослідження полягає у розробці та застосуванні техніко-економічних моделей для тестування різних конфігурацій відновлюваних джерел енергії та систем зберігання. Ці моделі оцінюють такі фактори, як оптимальний розмір, ефективність виробництва енергії та фінансова життєздатність, допомагаючи визначити найбільш ефективну

комбінацію технологій для безперервного енергопостачання. Крім того, в дослідженні розглядаються конкретні виклики, такі як підтримка енергетичної стабільності під час пікових навантажень та холодних періодів, що є критично важливими для досягнення справжньої енергетичної незалежності в багатоповерхових житлових будівлях.

Об'єкт дослідження: Дослідження питання автономного теплозабезпечення, як перспектива забезпечення сталого розвитку.

Предмет дослідження: Багатоповерховий житловий будинок в місті Тростянець.

Методи дослідження: У дослідженні було використано низку методів, головним чином техніко-економічне моделювання та оцінка життєвого циклу. Техніко-економічні моделі використовувалися для імітації різних конфігурацій систем відновлюваної енергетики, включаючи фотоелектричні панелі, акумуляторні батареї та теплові насоси. Ці симуляції дозволили дослідникам оцінити виробництво енергії, потужності зберігання та економічну ефективність кожної конфігурації, що допомогло їм визначити оптимальну схему для безперервного енергопостачання житлових будинків.

Оцінка життєвого циклу забезпечила структурований підхід до оцінки впливу на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу будівлі, від будівництва до експлуатації та остаточної утилізації. У дослідженні використовувалися такі програмні інструменти, як WUFI Plus для моделювання попиту на енергію на основі кліматичних даних та для детального аналізу втіленої енергії в різних будівельних матеріалах.

Наукова та технічна новизна одержаних результатів: Наукова новизна цього дослідження полягає в інтегративному підході до оптимізації автономних енергетичних систем спеціально для багатоповерхових житлових будинків, які мають унікальні енергетичні потреби та конструктивні обмеження. На відміну від типових досліджень, які можуть бути зосереджені на односімейних будинках або невеликих об'єктах, це дослідження розглядає

складності багатоповерхових будівель, включаючи такі проблеми, як змінна заселеність, управління піковим попитом і стабільність клімату в приміщенні.

Практична новизна полягає в застосуванні цих висновків у реальному будівництві та модернізації висотних будівель. Завдяки визначенню оптимальних конфігурацій технологій дослідження надає практичні рекомендації для досягнення часткової або повної енергетичної незалежності в багатоповерхових будівлях.

Апробація та публікація результатів роботи: 1. Богінська Л. О. ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТАННЯ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯК ПЕРСПЕКТИВА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ/ П. Логвін // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С. 23

2. Логвін П. Ю. Дослідження питання автономного теплозабезпечення багатоповерхового житлового будинку в м. Тростянець як перспектива забезпечення сталого розвитку”/ Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції студентів, 8-12 квітня 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.50

1.1. Аналіз ефекту масштабу

Будівлі та міські території в Україні є життєво важливими для декарбонізації енергетичних систем, оскільки на них припадає значна частка енергоспоживання та проживає значна частина населення. Цей сектор відкриває значні можливості для підвищення енергоефективності на рівні попиту, що є критично важливим для дотримання суворих стандартів реновації як для існуючих, так і для новозбудованих будівель. Однак виклик особливо гостро стоїть перед існуючими будівлями через їхню кількість та застарілу інфраструктуру. Для сталого задоволення попиту на енергію, що залишився, відновлювані та високоефективні джерела енергії можуть стати альтернативою з низьким або нульовим рівнем викидів вуглецю.

Децентралізований характер відновлюваних джерел енергії має важливе значення для міських районів. Багато електростанцій, що працюють

на відновлюваних джерелах енергії, належать громадам або експлуатуються місцевими організаціями, що посилює енергетичну незалежність. Розширення потужностей відновлюваних джерел енергії, особливо якщо вони розташовані близько до центрів попиту, підвищує енергетичну незалежність, яка визначається як частка попиту, що задовольняється за рахунок місцевої генерації. Ця концепція розрізняє чисту енергетичну незалежність, яка враховує річний баланс, і повну енергетичну незалежність, що означає повну роботу без залежності від енергосистеми.

Енергетичні ініціативи громад мають на меті зменшити залежність від централізованих енергетичних ринків і знизити залежність від місцевих мереж передачі та розподілу електроенергії, тим самим знижуючи загальні витрати на енергію. Ці проекти дозволяють громадам здійснювати більший контроль над своїми енергетичними системами та сприяють використанню місцевих низьковуглецевих джерел енергії.

Політичні заходи підтримки, включаючи стимули та субсидії, мають вирішальне значення для розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Нещодавній прогрес у сонячних технологіях призвів до зростання їхнього впровадження та економічної ефективності, що дозволило сонячній електроенергії конкурувати з традиційними тарифами на комунальні послуги. Однак невідповідність між виробництвом електроенергії та попитом на неї в житлових районах ускладнює зусилля, спрямовані на збільшення власного споживання, що робить рішення для зберігання електроенергії все більш важливими для децентралізованих застосувань.

Зі зростанням інтересу до енергетичної незалежності в різних масштабах виникають ключові питання. Серед них це визначення економічно оптимального масштабу для досягнення енергетичної незалежності та найкращого поєднання і розподілу технологій у локальних енергетичних системах з урахуванням доступності ресурсів і обмежень у витратах. Крім того, різні рівні енергетичної незалежності можуть суттєво впливати на місцеві мережі електроенергії.

Досягнення високого рівня енергонезалежності на рівні будівель залишається складним завданням, навіть із застосуванням різних технологій розподіленої енергетики, без впровадження рішень зі зберігання енергії. Одним з ефективних методів є перетворення електроенергії на водень шляхом електролізу, що дозволяє зберігати її та використовувати у паливних елементах для виробництва тепла та електроенергії. Цей підхід може бути особливо корисним у міських умовах, де попит на енергію значно коливається. Системи відновлюваної енергетики, такі як вітрові турбіни і фотоелектричні модулі, можуть бути спроектовані так, щоб працювати в автономному режимі, гарантуючи, що в періоди низького виробництва відновлюваної енергії накопичений водень зможе задовольнити енергетичні потреби.

Однак ці автономні системи економічно вигідними при підключенні до мережі, що дозволяє використовувати існуючі тарифи на відновлювану енергію. Ефективність перетворення електроенергії на водень є відносно низькою, близько 27%, що призводить до періоду окупності близько 16 років. В контексті України це становить значний виклик, оскільки інтеграція таких систем в існуючу інфраструктуру вимагає ретельного врахування місцевої енергетичної політики та економічних умов.

Дослідження мікромереж у житлових будинках показали багатообіцяючі результати у порівнянні різних підходів до енергоменеджменту. Наприклад, конфігурація мікромережі може включати кілька квартир, сонячну електростанцію, геотермальний тепловий насос, накопичувачі теплової енергії та акумуляторні системи. Результати досліджень показують, що за допомогою акумуляторних батарей можна досягти рівня самозабезпечення енергією на рівні 62%, що дає змогу працювати в повністю автономному режимі від 3150 до 3350 годин на рік. Однак нинішня висока вартість акумуляторів залишається обмежуючим фактором для прибутковості, особливо в порівнянні з варіантами теплового накопичення.

Подальші дослідження моделей оптимізації витрат спрямовані на забезпечення повністю відновлюваною енергією житлових будинків, що працюють на нульовому рівні енергоспоживання. Результати показують, що для задоволення річних потреб в енергії, включаючи потреби теплових насосів, необхідна значна потужність фотоелектричних установок. Хоча встановлення сонячних теплових систем не завжди здійснюється, їх інтеграція може бути розглянута у випадках, коли системи опалення працюють послідовно, а не паралельно. Ці моделі підкреслюють важливість проектування систем для забезпечення достатнього теплопостачання в холодні періоди.

Дослідження також підкреслюють оптимальний розмір і орієнтацію фотоелектричних систем, включаючи акумуляторні батареї для окремих будівель. Максимізація власного споживання та самозабезпечення за рахунок ретельного вибору розміру фотоелектричних систем та акумуляторних батарей для житлових будинків є ключовим питанням. Дослідження показують, що при високому рівні проникнення відновлюваної енергетики зберігання енергії стає все більш привабливим, в той час як управління попитом може бути однаково ефективним і при нижчих рівнях проникнення. Економічний аналіз показує, що такі фактори, як орієнтація системи та співвідношення фотоелектричних та інверторних потужностей, суттєво впливають на вартість генерації.

В Україні доцільно враховувати умови місцевого енергетичного ринку та уникати впровадження зелених тарифів, коли ціни на електроенергію падають нижче цін на електроенергію з традиційних джерел, оскільки це може перешкоджати економічній життєздатності проектів з відновлюваної енергетики.

У дослідженні вивчалися мультиенергетичні системи енергопостачання для мікрорайонів в Україні, зосереджуючись на оптимізації виробництва та споживання енергії в декількох будівлях. Одним з ефективних методів є моделювання енергетичного вузла, який об'єднує як розподілені, так і

централізовані генератори енергії, тим самим підвищуючи ефективність багатовекторних енергетичних систем, які включають виробництво, зберігання та управління попитом. Ці дослідження показують, що енергетична незалежність у межах районів може досягати 85% без накопичувачів, тоді як інтеграція різноманітних джерел енергії може підвищити цей показник до 63-91%. Оцінки місцевого виробництва енергії порівняно з імпортом з мережі демонструють значне скорочення викидів та підвищення енергетичної самодостатності.

Дослідження також зосереджуються на невеликих районах, що складаються з енергоефективних будівель, оцінюючи їхній вплив на місцеві електромережі, коли багато таких будівель згруповані разом. Ці дослідження показують, що об'єднання кількох будівель може зменшити необхідну фотоелектричну потужність для кожної будівлі, за умови, що обмеження фідерів не є проблемою. Однак ці дослідження враховують роль зберігання енергії або наслідки масштабування.

Подальші дослідження вивчали потенціал систем відновлюваної енергетики для підвищення самодостатності на районному рівні. У різних українських районах було проведено аналіз можливості досягнення річної самодостатності в екологічно чистій електроенергії за рахунок місцевих вітрових та сонячних ресурсів. Ці дослідження враховують критерії енергетичної політики, включаючи економічну ефективність, безпеку постачання та екологічну стійкість, які вимірюються з точки зору витрат, пов'язаних з енергопостачанням, рівня енергетичної незалежності та викидів CO₂ від виробництва електроенергії. Хоча комбінації вітрових і сонячних потужностей можуть сприяти досягненню цих цілей, між ними можуть виникати конфлікти.

Крім того, в дослідженнях вивчався потенціал енергетичної незалежності в невеликих, переважно сільських районах України з використанням вітрових ресурсів. Результати показують, що повна енергетична незалежність не може бути досягнута без повного використання

всіх доступних ресурсів та встановлення фотоелектричних панелей на дахах. Цей сценарій передбачає, що досягнення енергетичної незалежності може призвести до збільшення витрат для споживачів і вплинути на місцеве виробництво продуктів харчування. Такі компроміси спостерігаються в громадських енергетичних ініціативах, що підкреслюють баланс між скороченням місцевих викидів та управлінням зростаючими витратами, а також конкуренцією за землекористування.

Загалом, хоча значна частина попиту на енергію в різних регіонах України може бути задоволена за рахунок наявних ресурсів, існують обмеження у задоволенні потреб в опаленні та транспорті. Для досягнення повної самодостатності важливо впроваджувати стратегії, спрямовані на скорочення загального попиту шляхом підвищення енергоефективності та ефективного використання відновлюваних ресурсів.

У попередньому обговоренні підкреслювалися мотиви для оцінки доцільності енергетичної незалежності на різних рівнях - від будівель до мікрорайонів і районів. Очевидно, що досягнення енергетичної незалежності є технічно можливим, особливо в контексті України, де енергетична безпека має вирішальне значення. Системи на основі відновлюваних джерел енергії потребують ефективної інтеграції з місцевими розподільчими мережами та потужних накопичувачів.

Агрегування енергетичних систем може стабілізувати загальний профіль навантаження, дозволяючи використовувати менші за розміром сховища порівняно з окремими будівлями. Однак оптимальний масштаб для досягнення енергетичної незалежності залишається незрозумілим. Модель оптимізації витрат була розроблена для дев'яти сценаріїв попиту в житловому секторі в п'яти масштабах, включаючи такі технології, як мікро-ТЕЦ, фотоелектричні системи, газові котли та накопичувачі енергії. Метою є мінімізація витрат на енергопостачання з урахуванням унікальних характеристик житлових будинків. Удосконалення включають додавання

фотоелектричних систем та акумуляторів, пристосованих до місцевих умов, поряд з варіантами енергопостачання від мережі.

Таблиця 1.1. Огляд прийнятних технологій у підході до оптимізації

Елемент	Параметри
Газовий котел	кВтт (кіловат тепла)
Мікро-ТЕЦ	кВтел (кіловат електричної потужності)
Сонячні панелі	кВтел (кіловат електричної потужності)
Теплове накопичення	л (літри)
Накопичувач батарей	кВтел (кіловат електричної потужності)

Модель включає ступінь самодостатності як вхідний параметр, який може бути заданий як фіксоване значення або оптимізований під час моделювання. Вона також відображає рівні самозабезпеченості та власного споживання електроенергії, якщо ці значення не визначені заздалегідь.

Період моделювання охоплює 25 років, починаючи з базового 2020 року, з часовою роздільною здатністю 20 хвилин. Замість того, щоб використовувати повний часовий ряд модель використовує репрезентативні сегменти року. Зокрема, вона ділить рік на три репрезентативні тижні для літа, зими та весни/осені, в результаті чого виходить загалом дев'ять тижнів.

Загальна вартість системи:

$$\min f = \sum_{p=1}^P (c_{inv,p} + c_{fix,p} + \alpha \cdot \sum_{t=1}^T (c_{var,p,t} - c_{rev,p,t}))$$

$c_{inv,p}$... Капітальні річні витрати на одиницю енергопостачання

$c_{fix,p}$... Фіксована річна вартість одиниці енергопостачання

$c_{var,p,t}$... Змінна вартість операції за кроком у часі

$c_{rev,p,t}$... Дохід від зміни у часі

Цільова функція моделі розраховує капітальні витрати, пов'язані з додатковими фотоелектричними системами та акумуляторними технологіями, використовуючи кусково-лінійну апроксимацію увігнутої

інвестиційної функції. Цей метод враховує ефект масштабу як для фотоелектричних систем, так і для акумуляторних батарей, що є критично важливим для оптимізації економічної життєздатності систем відновлюваної енергетики в Україні.

Крім того, доходи від виробництва електроенергії повинні бути скориговані, щоб ефективно інтегрувати внесок фотоелектричних систем в модель. Отже, модель включає спеціальне рівняння для представлення комбінованих доходів від когенерації та фотоелектричної генерації. В аналізі вводиться податок на виробництво електроенергії, призначеної для власного споживання, що відповідає місцевій політиці винагороди для відновлюваних джерел енергії. Така структура забезпечує точне відображення економічної динаміки виробництва електроенергії з відновлюваних джерел, що дає змогу комплексно оцінити фінансову доцільність інтеграції цих технологій в українських будівлях.

$$C_{rev,p,t} = x^p(t) \cdot c^p + x^p(t) \cdot (c^p - c^p)$$

$x^p(t)$... Вихід електроенергії для зовнішнього використання з кроком часу

$x^{el,i}(t)$... Виробництво електроенергії для внутрішнього споживання

$c_{ev,e}^p$... Дохід від експортованої електроенергії

$c_{rev,i}^p$... Дохід за вироблену електроенергію

c_{levy}^p ... Збір за вироблену електроенергію

Для включення модифікацій або додаткових обмежень у розширену оптимізаційну модель використовуються спеціальні рівняння. Попит на електроенергію формулюється у вигляді рівняння, яке вказує на те, що цей попит може бути задоволений з кількох джерел. До них відносяться виробництво енергії на генеруючих об'єктах, таких як теплоелектроцентралі та фотоелектричні системи, а також електроенергія, що постачається з акумуляторних батарей та зовнішньої електромережі. Такий багатогранний

підхід гарантує, що модель враховує різні джерела енергії, підвищуючи надійність електропостачання в контексті житлових будинків в Україні. Використовуючи як місцеву генерацію, так і підключення до мережі, модель може ефективно реагувати на коливання попиту та пропозиції енергії, сприяючи створенню більш сталої енергетичної інфраструктури.

$$x^{CHP}(t) + x^{PV}(t) + (1 - e^{BS}) \cdot x^{BS}(t) + x^{grid}(t) \geq dem_{el}(t) \quad \forall t \in T$$

$x^{CHP}(t)$	el,i	Вихід електроенергії ТЕЦ для внутрішнього споживання
$x^{PV}(t)$	el,i	Вихід електроенергії фотоелектричної установки
x^{BS}	el,out (t)	Вихід електроенергії акумуляторної батареї з кроком у часі
$x^{grid}(t)$	el	Надходження електроенергії з мережі з кроком у часі
e^{BS}		Втрата заряду батареї

Рівняння балансу акумулятора показують, що рівень заряду на наступному часовому кроці визначається попереднім рівнем заряду, скоригованим на приплив і відтік енергії. Цей розрахунок дозволяє здійснювати безперервний моніторинг ємності акумулятора, таким чином відображаючи зміни у використанні та доступності енергії. Застосовуючи ці рівняння, модель ефективно управляє енергетичними ресурсами, оптимізуючи показники для житлових будинків в Україні та підвищуючи енергетичну автономію.

$$x_{el,l}^{BS}(t) = x_{el,l}^{BS}(t-1) + x_{el,in}^{BS}(t) - x_{el,out}^{BS}(t) \quad \forall t \in T$$

$x_{el,l}^{BS}(t)$	Рівень заряду акумулятора
$x_{el,in}^{BS}(t)$	Вхід електроенергії акумулятора

Потік акумуляторної батареї складається з електроенергії, виробленої ТЕЦ і фотоелектричною установкою для внутрішнього використання:

$$x_{el,in}^{BS}(t) = (1 - e^{BS}) \cdot (x^{CHP}(t) + x^{PV}(t)) \quad \forall t \in T$$

Рівень заряду акумулятора обмежений його максимальною ємністю в кожен момент часу:

$$x_{el,l}^{BS}(t) \leq x_{cap}^{BS} \quad \forall t \in T$$

x_{cap}^{BS} Ємність акумулятора

Вихідна електроенергія накопичувача батареї пов'язана з ємністю накопичувача за допомогою фіксованого коефіцієнта, що вказує швидкість заряду батареї:

$$x^{BS}(t) \leq x^{BS} \cdot c^{BS} \cdot \beta \quad \forall t \in T$$

c^{BS} Швидкість заряду акумулятора

β Частка години

Виробництво електроенергії фотоелектричної установки залежить від сонячного випромінювання, яке поглинається панелями. Таким чином, генерація повинна бути пов'язана з профілем опромінення:

$$x_{el,i}^{PV}(t) + x_{el,e}^{PV}(t) \leq x_{cap}^{PV} \cdot \zeta^{PV} \cdot a^{PV}(t) \quad \forall t \in T$$

$x_{el,e}^{PV}(t)$ Вихід електроенергії фотоелектричної установки

x_{cap}^{PV} Встановлена потужність фотоелектричної установки

ζ^{PV} Загальна електрична ефективність фотоелектричної установки

$a^{PV}(t)$ Нормована сонячна радіація

Для визначення енергетичної автономності необхідно визначити додаткові обмеження. Вони стосуються ступеня самозабезпеченості та рівня власного споживання електроенергії:

$$DSS_{el} = \frac{\sum_{t=1}^T (x_{el,i}^{CHP}(t) + x_{el,i}^{PV}(t))}{\sum_{t=1}^T dem_{el}(t)}$$

Загальне виробництво електроенергії, яке вважається для внутрішнього використання, тобто власне споживання на місці когенераційними та фотоелектричними установками, пов'язане із загальним попитом на електроенергію протягом досліджуваного періоду:

$$SCR_{el} = \frac{\sum_{t=1}^T (x_{el,i}^{CHP}(t) + x_{el,i}^{P7}(t))}{\sum_{t=1}^T (x_{el,i}^{CHP}(t) + x_{el,e}^{CHP}(t) + x_{el,i}^{P7}(t) + x_{el,e}^{P7}(t))}$$

Виробництво електроенергії когенераційними та фотоелектричними установками, яке вважається для власного споживання, ділиться на загальне виробництво електроенергії одиницями:

$$DA_{el} = \frac{DSS \sum_{t=1}^T (x_{el,i}^{CHP}(t) + x_{el,e}^{CHP}(t) + x_{el,i}^{P7}(t) + x_{el,e}^{P7}(t))}{SCR_{el} \sum_{t=1}^T dem_{el}(t)}$$

Індекс взаємодії з мережею є мірою мінливості чистого експорту електроенергії в мережу та визначається відповідно до рівняння, нормалізований з профілів вхідного навантаження, потім визначається чистий експорт електроенергії в мережу за часовий інтервал:

$$GII = \text{std} \left(\frac{E(i)}{\max(|E(i)|)} \right)$$

$$GII_{norm} = \frac{GII}{GII_{ref}}$$

1.2. Техніко-економічний аналіз

Припущення щодо параметрів, які лежать в основі оптимізаційної моделі, наведено в таблиці. Прогнозується, що ціни на газ зростатимуть на 3% на рік, тоді як ціни на електроенергію зростатимуть на 3,5% щорічно протягом усього періоду дії моделі. Дані про сонячне випромінювання отримані з відповідних досліджень, а питомі інвестиційні витрати на фотоелектричні та акумуляторні системи визначені на основі специфікацій виробників та результатів ринкових досліджень. Ці припущення є критично важливими для точного моделювання економічної життєздатності рішень з відновлюваної енергетики в житлових будинках в Україні.

Таблиця 1.2. Огляд припущень щодо параметрів для оптимізаційних циклів

Параметр	Одиниця	Значення
α	-	52/9 = 5.77
β	-	1/4 = 0.25
cele	€/кВел	0.30
cgas	€/кВт	0.07
cfix, BOI	€/кВтт а)	10.50
cfix, CHP	€/кВел а)	157.50
cfix, PV	€/кВел а)	105.00
cBS	-	1
cPV levy	€/кВел	0.020
cCHP rev,i	€/кВел	0.0568
cPV rev,i	€/кВел	0.105
cCHP rev,e	€/кВел	0.105
cPV rev,e	€/кВел	0.105
η_{PV}	%	85
tot eBS	-	0.05
T	а	20

У цьому дослідженні розглядаються дев'ять різних конфігурацій комбінацій житла, які включають одноквартирні будинки та багатоквартирні будинки. Вибір типів будинків відображає середній рівень заселеності на основі національної статистики, що дає уявлення про типову кількість мешканців у кожному типі будинків та розподіл квартир у межах мікрорайонів.

Проаналізовані будівлі представляють типовий житловий фонд України, річна потреба в опаленні визначена на основі національних стандартів, що застосовуються до житлових будинків. Розміри будівель базуються на статистичних даних, які відображають середні значення по всій країні.

Профіль навантаження для кожного випадку попиту генерується з використанням встановлених моделей, пристосованих до споживання енергії населенням в Україні. Профілі електричного навантаження враховують такі фактори, як кількість мешканців, день тижня та сезонні зміни. Моделювання виконується кілька разів, щоб відобразити зміни у кількості домогосподарств.

Крім того, профіль теплового навантаження для підігріву води та опалення приміщень визначається на основі детального моделювання типових будівель. Узагальнення проаналізованих сценаріїв попиту дозволить зрозуміти специфіку кожної конфігурації, деталізуючи енергетичні вимоги та моделі споживання, що відповідають місцевим умовам.

Таблиця 1.3. Огляд визначень випадків попиту

Рівень агрегації	Кількість житлових одиниць	Ймовірність	Тепловий попит (МВт-год/рік)	Електричний попит (кВт-год/рік)
Одинокий індивідуальний будинок (SFH)	1	0.0	31 (31.0)	3,414
Одинокий індивідуальний будинок (SFH)	1	0.0	31 (31.0)	6,729
Вулиця індивідуальних будинків (SFHs)	13	0.5, 0.3, 0.1, 0.1	98 (98.0)	49,054
Одинокий багатоквартирний будинок (MFH)	13	0.2, 0.4, 0.2, 0.2	80 (80.0)	48,059
Блок індивідуальних будинків (SFH)	100	0.5, 0.3, 0.1, 0.1	3050 (3050.0)	459,642
Блок багатоквартирних будинків (MFH)	100	0.2, 0.4, 0.2, 0.2	1952 (1952.0)	401,793
Сусідство	192	0.5, 0.3, 0.1, 0.1	6230 (6230.0)	748,943
Міський район	1000	0.5, 0.3, 0.1, 0.1	43201 (43201.0)	4,694,469
Міський район	1000	0.5, 0.3, 0.1, 0.1	43201 (43201.0)	4,694,469

На рисунку показано загальні річні витрати на енергоносії на одне домогосподарство, які включають витрати на електроенергію, опалення та гаряче водопостачання. Графік диференціює ці витрати на основі різних рівнів самозабезпеченості електроенергією для різних випадків попиту в усьому діапазоні. Він також включає загальні витрати за оптимізаційним сценарієм, який не обмежується певним рівнем автономії. У цьому сценарії кількісно оцінюється фактичний рівень досягнутої електричної самодостатності.

Ліва частина графіка присвячена окремим будинкам, організованим відповідно до кількості домогосподарств, визначених у відповідних випадках. Для порівняння також включені багатоквартирні будинки, що відповідають конкретним випадкам попиту. У правій частині графіка показано кількість домогосподарств, представлених у кожній конфігурації, що відображає типову структуру житла в житлових районах.

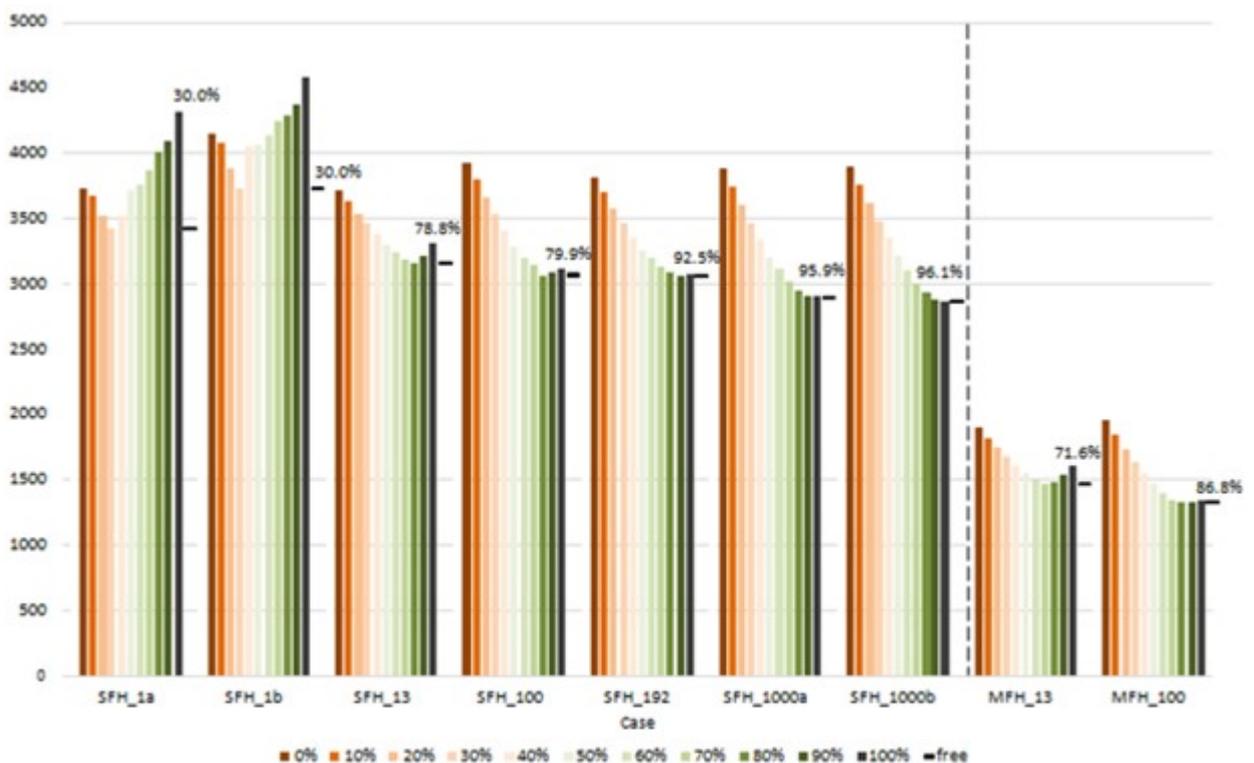


Рис. 1.1. Загальна річна вартість енергопостачання

Аналіз витрат на енергію та самозабезпечення житлових будинків висвітлює важливі тенденції щодо витрат та споживання енергії

домогосподарствами. Зі збільшенням кількості домогосподарств у будинку загальні річні витрати на енергію на одне домогосподарство мають тенденцію до зменшення. Наприклад, в односімейних будинках річні витрати на енергію можуть сягати значних сум, але якщо розглядати більші багатоквартирні будинки з великою кількістю домогосподарств, то витрати можуть суттєво зменшитися. Ця тенденція ілюструє переваги ефекту масштабу, який дозволяє більшим житловим одиницям мати менші витрати на енергію в розрахунку на домогосподарство.

Більше того, існує помітна різниця в структурі енергоспоживання між одноквартирними будинками та багатоквартирними житловими будинками. Багатоквартирні будинки демонструють нижчі річні потреби в опаленні завдяки своїй конструкції, яка передбачає менші індивідуальні житлові приміщення та нижчі середні потреби в опаленні. Така ефективність сприяє зниженню загальних витрат на енергію.

Взаємозв'язок між кількістю домогосподарств та рівнем самозабезпеченості електроенергією також має вирішальне значення. Зі збільшенням кількості домогосподарств оптимальний рівень самозабезпеченості електроенергією має тенденцію до зростання. Це означає, що більші житлові комплекси мають більший потенціал для досягнення вищого рівня самозабезпеченості електроенергією при менших витратах порівняно з односімейними будинками.

Оцінюючи потужність, встановлену на одне домогосподарство для різних енергетичних технологій, можна виокремити кілька тенденцій. Низьковуглецеві технології, такі як фотовольтаїка та акумулятори демонструють мінімальну потужність, коли самозабезпеченість дорівнює нулю. Однак впровадження мікро-ТЕЦ стає актуальним лише тоді, коли самозабезпеченість досягає щонайменше 23%. Як тільки самозабезпеченість перевищує 61%, збільшення потужності на домогосподарство має тенденцію до вирівнювання. Фотоелектричні системи, з іншого боку, розгортаються,

коли самозабезпеченість електроенергією перевищує 44%, постійно підтримуючи рівень самозабезпеченості вище 65% у різних установках.

Використання акумуляторів є значним, коли рівень самозабезпеченості становить близько 78% або вище. Загальний попит на тепло також впливає на питому потужність систем опалення, причому багатоквартирні будинки демонструють нижчі потреби в опаленні, ніж односімейні. Ці висновки підкреслюють важливість оптимізації енергетичної самодостатності житлових будинків по всій Україні. Використовуючи ефект масштабу та передові енергетичні технології, ці будівлі можуть підвищити енергонезалежність, знизити витрати та сприяти зусиллям зі сталого розвитку в житловому секторі.

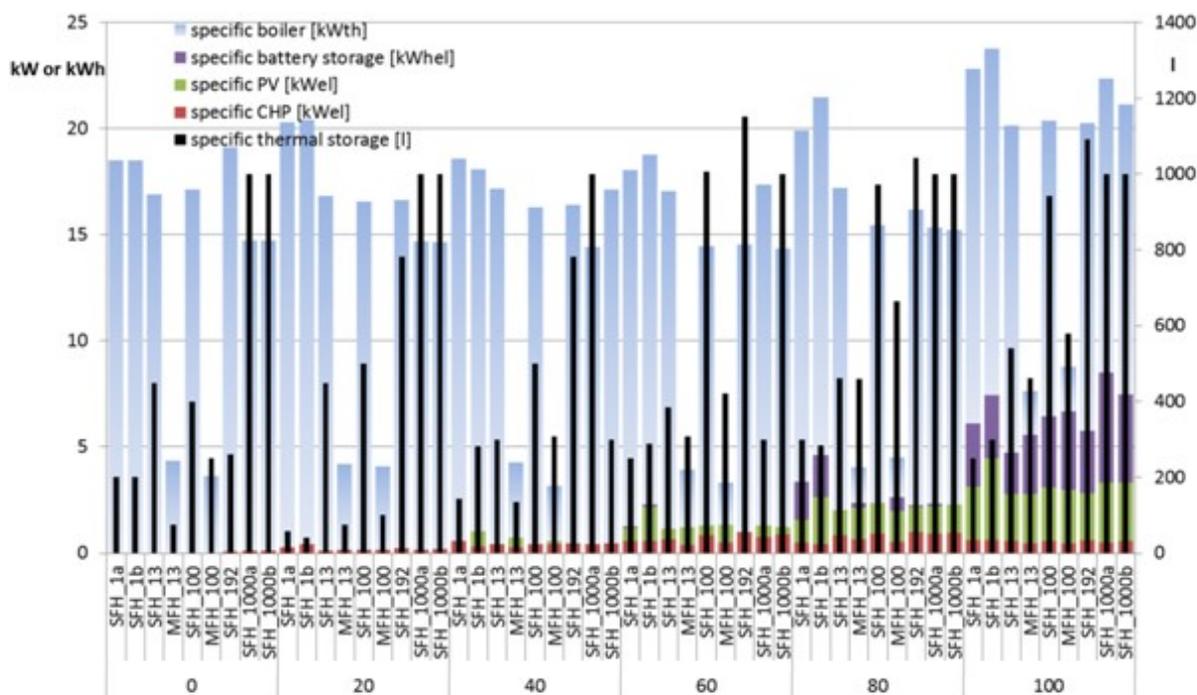


Рис. 1.2. Огляд встановлених потужностей для дев'яти вивчених випадків і електричної самозабезпеченості

Аналіз витрат на енергопостачання в житлових будинках виявив значні тенденції щодо граничних змін, пов'язаних з різним рівнем самозабезпеченості. Зокрема, якщо розглядати випадки, коли оптимальний рівень самозабезпеченості є нижчим за 79%, то збільшення самозабезпеченості з 33% до 62% призводить до зростання загальних витрат

приблизно на 440 гривень. Аналогічно, перехід до 100% самозабезпеченості призводить до більш помірного зростання витрат, що свідчить про те, що зі збільшенням рівня самозабезпеченості пов'язані з ним витрати також мають тенденцію до зростання. Нахил отриманої кривої витрат можна інтерпретувати як міру граничних витрат, пов'язаних з коригуванням рівня самозабезпеченості енергопостачання, хоча для повної оцінки потрібні більш повні дані.

Подальший аналіз показує, що оптимальний рівень самозабезпеченості зростає зі збільшенням кількості домогосподарств у певній житловій конфігурації. Досягнення повної енергетичної самодостатності стає економічно доцільним, коли кількість домогосподарств досягає порогового значення, що становить 550 домогосподарств. Цей висновок свідчить про те, що більші житлові одиниці можуть використовувати ефект масштабу, що робить більш реальним досягнення вищого рівня самозабезпеченості.

Порівняння незалежності від електроенергії та самодостатності ілюструє чіткі закономірності. У контексті односімейних будинків незалежність від електроенергії перевищує рівень самодостатності, особливо в менших конфігураціях. Однак зі збільшенням масштабу різниця між енергонезалежністю і самодостатністю зменшується. Ця тенденція підкреслює, що менші системи відчувають більший дисбаланс між виробництвом і споживанням електроенергії, що вимагає додаткового виробництва електроенергії для досягнення цілей самозабезпечення.

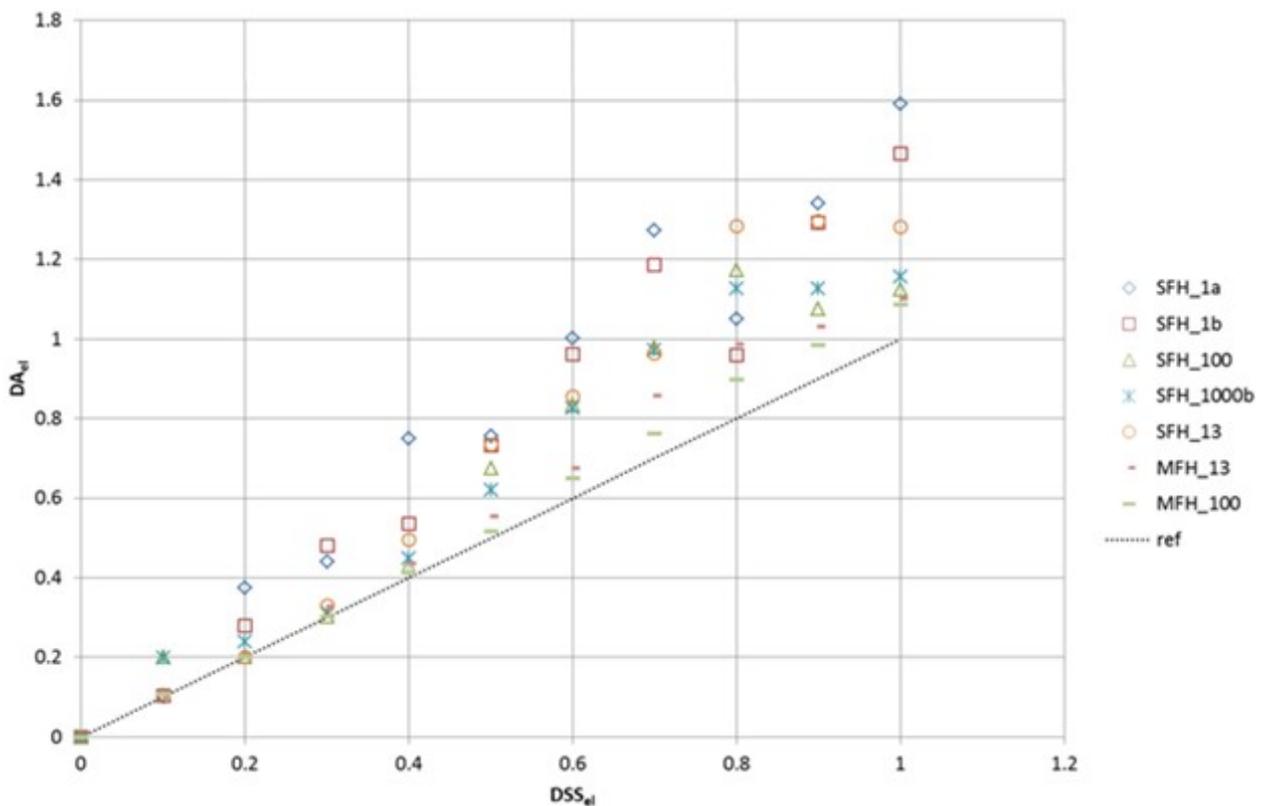


Рис. 1.3. Ступінь електричної автономності проти рівня електричної самозабезпеченості

Аналіз індексу мережевої взаємодії дає змогу отримати уявлення про динаміку енергопостачання житлових будинків. Нормалізований індекс вказує на значення одиниці для профілю вхідного навантаження, що відповідає очікуванням. Однак у різних сценаріях індекс пропорційності зростає зі збільшенням рівня самозабезпеченості. Примітно, що в окремих випадках індекс взаємодії падає нижче одиниці і зменшується зі зростанням самозабезпеченості. Коли самодостатність перевищує рівень 68% спостерігається розворот попередньої тенденції до зростання індексу взаємодії.

Зі зростанням рівня самодостатності мінімальне значення профілю залишкового навантаження має тенденцію ставати все більш від'ємним, тоді як максимальне значення зазнає незначного зниження. Середнє залишкове навантаження також зменшується з підвищенням рівня самодостатності. Найбільше середнє від'ємне навантаження спостерігається при повній самодостатності, хоча існують винятки і при нижчих рівнях самодостатності.

Зменшення загальних річних витрат на енергоносії на домогосподарство, що корелює зі збільшенням кількості домогосподарств, можна пояснити двома основними факторами. По-перше, більша кількість домогосподарств призводить до збільшення абсолютного попиту на електроенергію та опалення, що сприяє економії за рахунок ефекту масштабу в технологіях енергопостачання, таких як комбіноване виробництво теплової та електричної енергії та фотоелектричні системи. Ця тенденція простежується в різних сценаріях оптимізації енергопостачання.

По-друге, скорочення витрат відбувається завдяки двом взаємопов'язаним ефектам, пов'язаним з агрегуванням профілів електричного та теплового навантаження. Перший ефект полягає у зменшенні коливань попиту, оскільки стохастична природа індивідуальних профілів навантаження має тенденцію до врівноваження один одного. Другий ефект пов'язаний з накладанням цих профілів, що може призвести до зменшення пікових навантажень. Ця кореляція вказує на те, що випадки вищого попиту демонструють нижчі значення нормалізованого індексу взаємодії, що дозволяє більш узгоджено працювати технологіям виробництва електроенергії та подовжувати години їхньої роботи протягом року.

Хоча економічні аргументи підтримують вищий рівень енергонезалежності у великих житлових комплексах, досягнення значної самодостатності в індивідуальних будинках виявляється менш економічно доцільним. Цей висновок особливо актуальний для існуючих типів проаналізованих будівель. Однак інтеграція заходів з боку попиту, таких як підвищення енергоефективності та управління попитом, може змінити ці результати. Покращення ізоляції та інші енергоефективні модернізації можуть знизити загальний попит на енергію, тоді як стратегії управління попитом можуть пом'якшити пікові навантаження на електроенергію, змістивши їх на час вищого виробництва на місці.

Рішення виключити ці заходи з поточного аналізу зумовлене бажанням зберегти простоту моделі, оскільки існуючі моделі можуть вимагати

значного часу на обробку даних. Хоча заходи з енергоефективності є важливими для досягнення повної енергетичної незалежності, їх вплив менш помітний у великих масштабах. По суті, ймовірність зниження попиту на енергоресурси для групи однакових будівель значно вища, ніж для окремої споруди.

Тенденції в нормалізованому індексі взаємодії значною мірою зумовлені розвитком енергетичних технологій. Використання акумуляторних батарей значно знижує цей індекс на високих рівнях самозабезпеченості електроенергією. Щоб мінімізувати взаємодію з енергосистемою, домогосподарства можуть досягти різних рівнів самозабезпеченості. У більш масштабних умовах вартість підвищення енергетичної незалежності є нижчою, що дозволяє отримати значні економічні вигоди завдяки інтеграції енергетичних систем у кількох будівлях.

Зі збільшенням рівня самозабезпеченості та агрегації зростає і потенціал енергетичних технологій. Зберігання енергії є життєво важливим для досягнення цих цілей, незважаючи на високі початкові витрати, що перешкоджають широкому впровадженню. На рівні району об'єднання попиту на енергію дає значні економічні переваги, підвищуючи самодостатність і водночас знижуючи загальні витрати.

З екологічної точки зору, підвищення самодостатності призводить до помітного скорочення викидів, особливо при переході на екологічні технології, такі як фотоелектричні та акумуляторні батареї. Однак, коли багато домогосподарств прагнуть до більшої енергетичної незалежності, це може призвести до навантаження на місцеву мережу, що спричинить збільшення витрат для тих, хто залишається залежним від неї. Цей сценарій непропорційно впливає на домогосподарства з низьким рівнем доходу, що підкреслює необхідність збалансованої енергетичної політики. Було запропоновано переглянути фінансові стимули для приватної сонячної енергетики та перейти до моделі ціноутворення в енергосистемі, що базується на потужності, а не на споживанні.

За нинішньої енергетичної політики в Україні очікується, що в найближчі роки інвестиції в акумуляторні накопичувачі скоротяться. Навіть за відсутності фінансових стимулів для власного споживання фотоелектричної енергії максимальне використання електроенергії, виробленої власними силами стане економічно життєздатним. Вартість виробництва та зберігання такої електроенергії значно нижча за ціну електроенергії для кінцевого споживача, яка становить 13,2 грн/кВт-год. Однак, якщо на електроенергію, вироблену власними силами, поширюватимуться ті ж податки і тарифи, що й на електроенергію, що постачається з мережі, існуюча неефективність збережеться.

Зі збільшенням самозабезпеченості електроенергією домогосподарства будуть менше залежати від електромережі, що зменшить їх річне використання інфраструктури. Важливо зазначити, що навіть при 100% самозабезпеченості домогосподарства все одно потребуватимуть підключення до електромережі для управління надлишковим виробництвом електроенергії. Повна енергетична незалежність для регіонів можлива, але вимагає значних інвестицій у відновлювані джерела енергії та низьковуглецеві технології, а також значних потужностей для зберігання електроенергії. Хоча це рішення є технічно можливим, наразі воно не є економічно привабливим.

Аналіз чутливості був проведений для того, щоб дослідити, як зміни вхідних параметрів впливають на результати. Цей аналіз розглядає два сценарії: один заснований на припущеннях для 2025 року, а інший - гіпотетичний сценарій для 2030 року. У сценарії 2030 року прогнозується, що вартість електроенергії для домогосподарств зросте до 16,4 грн/кВт-год, а зелені тарифи на електроенергію, вироблену на теплоелектроцентралях або фотоелектричних станціях, не діятимуть.

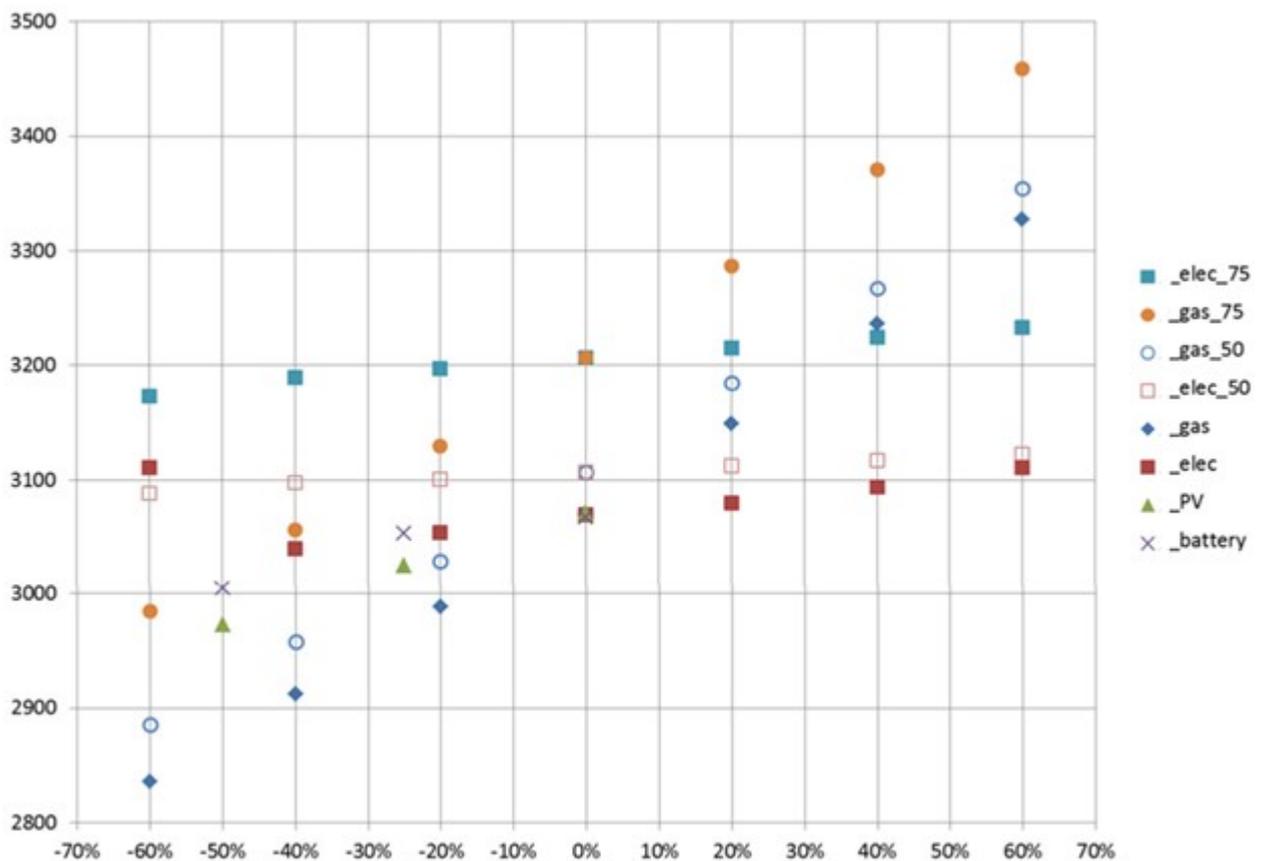


Рис. 1.4. Аналіз чутливості загальних річних витрат на енергію

Результати аналізу чутливості показують, що загальні річні витрати домогосподарств в Україні демонструють низьку чутливість до коливань цін на електроенергію. Значне підвищення цін на електроенергію призводить до незначної зміни загальних витрат, менше ніж на 2%. На противагу цьому, витрати на електроенергію є дуже чутливими до змін цін на газ, де зростання цін на 70% призводить до збільшення загальних витрат на 8%. Інвестиції у фотоелектричні системи та акумуляторні батареї також впливають на витрати на енергопостачання. Скорочення інвестицій на 40% може зменшити річні витрати приблизно на 2%.

У гіпотетичному сценарії загальні річні витрати домогосподарств можуть зрости з 132 000 грн до 140 800 грн. Сукупність технологій, що використовуються для виробництва енергії, демонструє обмежену чутливість до змін у вхідних припущеннях, за винятком акумуляторних батарей. Коливання цін на газ та електроенергію суттєво впливають на потужність встановлених систем. Коливання інвестицій у фотоелектричні системи та

акумуляторні накопичувачі суттєво впливають на витрати, що свідчить про сильну залежність обох технологій від цін на акумулятори, тоді як вартість фотоелектричних систем має менший вплив.

Аналіз також висвітлює кілька обмежень, пов'язаних з припущеннями моделі та невизначеністю вхідних параметрів. Незважаючи на намагання використовувати репрезентативні дані, модель не враховує несподівані шоки, такі як екстремальні погодні явища або раптові стрибки цін, які можуть призвести до значних змін у результатах. Вона працює на основі припущення, що структура попиту на тепло та електроенергію залишається незмінною протягом періоду планування, що може призвести до ігнорування змін у поведінці споживачів або економічних умовах.

Критики аналізу включають його зосередженість на житловому секторі та ігнорування комерційного сектору, який має більш стабільний профіль попиту на електроенергію, придатний для інтеграції більших обсягів фотоелектричної генерації. У дослідженні робиться акцент на технологіях з боку пропозиції і не розглядаються належним чином заходи з боку попиту, такі як підвищення енергоефективності та управління попитом, які могли б допомогти знизити загальний попит на енергію і підвищити енергетичну незалежність. Крім того, в аналізі розглядається лише обмежений спектр низьковуглецевих технологій, придатних для використання в житловому секторі, без урахування інших варіантів, які могли б підвищити гнучкість та інтеграцію відновлюваної енергетики.

Висновок

У цьому дослідженні вивчається ефект масштабу, пов'язаний з досягненням енергетичної незалежності в житловому будівництві в Україні, висвітлюється вплив децентралізованих систем енергопостачання та економічних стимулів, спрямованих на збільшення власного виробництва та власного споживання. Використовуючи модель змішаного цілочисельного лінійного програмування, аналіз мінімізує загальні витрати системи дотримуючись при цьому обмежень щодо самозабезпечення

електроенергією. Модель включає фотоелектричні та акумуляторні технології зберігання і застосовується до різних сценаріїв попиту на основі різних комбінацій типів будівель, розмірів домогосподарств та демографічної статистики, актуальних для України.

Результати показують, що оптимальний рівень самозабезпеченості електроенергією змінюється залежно від масштабу агрегації. Ці результати свідчать про те, що за нинішньої енергетичної політики України житлові райони з 550 домогосподарствами можуть реально досягти самозабезпеченості електроенергією. Крім того, невелике збільшення самозабезпеченості призводить до значно вищих витрат на нижчих рівнях агрегації порівняно з більшими масштабами.

Майбутні дослідження можуть бути корисними для вивчення декількох областей, включаючи більшу соціально-економічну диференціацію між домогосподарствами, потенціал комерційного сектору включення стратегій на стороні попиту, таких як підвищення енергоефективності та управління попитом. Крім того, оцінка впливу на інфраструктуру електромереж надасть цінну інформацію про енергетичну систему в цілому.

Аналіз показує, що існують конкуруючі цілі у підвищенні енергонезалежності житлових будинків. Хоча з мікроекономічної точки зору сприяння збільшенню масштабів агрегації може стимулювати енергетичну незалежність, макроекономічна точка зору вказує на те, що підвищення незалежності може призвести до зростання загальних витрат і нерівномірного розподілу тягаря між домогосподарствами. Хоча посилення енергетичної незалежності може зменшити викиди, оскільки все більше регіонів переслідують подібні цілі, змінюючи загальну структуру потужностей і пов'язані з ними квоти на викиди.

РОЗДІЛ 2. ОПИС АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ БУДІВЛІ

2.1. Ситуаційний план



Рис. 2.1. Ситуаційний план

Будівля розташована на вулиці Богдана Хмельницького в місті Тростянець Сумської області.

2.2. Об'ємно-планувальне рішення

Житловий будинок займає прямокутну ділянку розмірами 47 на 21 метр. Він складається з п'яти поверхів, загальна висота яких сягає 17,7 метрів, з висотою кожного поверху 2,65 метрів. Всього в будинку тридцять квартир, по шість на поверсі. У кожній квартирі є окремі приміщення для кухні, холу, спальень, а також індивідуальні туалети та ванні кімнати. Вертикальні сходи полегшують пересування між поверхами, а проїзна арка забезпечує доступ для автотранспорту.

При розробці проекту були враховані природні особливості місцевості, які включають горбистий рельєф і клімат з зимовими температурами до -26°C і глибиною промерзання ґрунту близько 1,2 метра. Щоб зберегти природну якість ґрунту на ділянці, родючий шар буде тимчасово знято, а згодом відновлено на прибудинкових територіях. Вертикальне планування планується відповідно до контурів місцевості та існуючої забудови,

інтегруючись з прилеглими дорогами та спорудами. Таке планування забезпечує як безпечний доступ, так і ефективно відведення поверхневих вод. Відведення поверхневих і дощових вод здійснюється через мережу вертикальних і горизонтальних ухилів на дорогах, причалах і газонах.

Таблиця 2.1. Експлікація приміщень

Номер приміщення	Найменування	Площа , м ²	Кат. приміщення
1	Тамбур	3.68	
2	Тамбур	3.82	
3	Вітальня	24.28	
4	Ванна кімната	2.25	
5	Туалет	1.95	
6	Кухня	16.75	
7	Спальня	13.16	
8	Спальня	19.53	
9	Гостьова	20.75	
10	Гостьова	43.64	
11	Ванна кімната	3.58	
12	Гостьова	40.36	
13	Кухня	33.58	
14	Спальня	13.17	
15	Спальня	14.50	
16	Гостьова	25.75	
17	Спальня	18.00	
18	Тамбур	2.11	
19	Вітальня	31.35	
20	Гостьова	31.98	
21	Кухня	14.57	
22	Спальня	22.50	
23	Спальня	27.65	
24	Кухня	20.01	
25	Вітальня	19.75	
26	Гостьова	40.53	
27	Спальня	15.02	

Орієнтація будівлі забезпечує оптимальний доступ денного світла до окремих квартир, а ділянки з твердим покриттям призначені для під'їзних шляхів і пішохідних доріжок. Будівельні матеріали підібрані спеціально для задоволення технічних вимог до дорожніх покриттів і причалів у межах комплексу.

Фруктові дерева та вічнозелені рослини формують контури ділянки та огорожу по периметру, а біля будівель висаджені чагарники. Багатовидовий трав'яний газон забезпечує подальше озеленення відкритих ділянок. Ландшафтний дизайн координується з розташуванням інженерної інфраструктури, посилюючи загальну екологічну та функціональну інтеграцію ділянки.

2.3. Архітектурно-конструктивне рішення

Фундаменти та основи

Фундаментна система будівлі спроектована з урахуванням схильних до просідання ґрунтів, характерних для ділянки, яка відноситься до другого інженерно-геологічного класу через наявність відкладень, що включають напівтверді глини з карбонатами і гіпсом, леси, алевроліти, сланці та глинисті породи.

Фундамент використовує залізобетонну систему паль, яка стабілізує і ефективно розподіляє навантаження будівлі. Кожна паля приймає навантаження через залізобетонний ростверк, який має поперечний переріз 0,5 на 0,75 метра. Він побудований із залізобетону з використанням портландцементу місцевого виробництва, що забезпечує високу міцність на стиск, необхідну для стійкості під навантаженням і тиском просідання.

Для забезпечення вологостійкості фундамент включає в себе як горизонтальну, так і вертикальну гідроізоляцію. Піщано-цементний розчин з рідким склом наноситься горизонтально, запобігаючи просочуванню вологи з ґрунту в основу фундаменту, в той час як вертикальна гідроізоляція складається з двох шарів гарячого бітуму нанесення на стіни підвалу, щоб ефективно протистояти проникненню ґрунтових вод.

Зовнішні, внутрішні стіни та перегородки

Несучою конструкцією будівлі є армований каркас, що складається з зовнішніх несучих стін товщиною 380 мм і пустотних плитних перекриттів, які забезпечують просторову жорсткість і стабільність. Сходова клітка, інтегрована як жорсткий вертикальний елемент, ще більше посилює структурну цілісність каркасу. Внутрішні перегородки побудовані з цегляної кладки товщиною 160 мм, армованої сталеву сіткою 5 мм і скріпленої розчином класу 60, що забезпечує довговічність і стабільність каркасної конструкції.

Деякі перегородки складаються з гіпсокартонної системи товщиною 80 мм, призначеної для внутрішніх перегородок та ізоляції. Кожна стіна включає в себе профільований металевий каркас, що забезпечує підтримку і вміщує комунікаційні канали. Гіпсокартонні листи кріпляться до каркасу за допомогою шурупів, створюючи міцну та еластичну конструкцію, яка надійно інтегрується в загальну структуру будівлі.

Для забезпечення тепло-, звукоізоляції та вогнестійкості шви між гіпсокартонними листами заповнені шаром мінеральної вати товщиною 50 мм, щільністю 120 кг/м³ і коефіцієнтом теплопровідності 0,025 Вт/(м·К). Зовні будівлю утеплено 150 мм листами пінополістиролу. Ця ізоляція ефективно покращує експлуатаційні характеристики стін, забезпечуючи комфортні та безпечні умови в приміщенні з точки зору контролю температури, звукоізоляції та вогнестійкості.

Покрівля

Конструкція даху спроектована таким чином, щоб підвищити як функціональність, так і візуальну привабливість, і складається з трьох окремих секцій, симетрично вирівняних уздовж осі будівлі. Перший сегмент, шатровий дах, має нахил 11°, за ним слідує плоска секція даху і завершується ще одним шатровим сегментом з нахилом 14°.

Шатрові частини даху побудовані на дерев'яному каркасі з соснової деревини, обраної за її високу міцність і стійкість до деформації під

навантаженням. Ці дерев'яні елементи надійно скріплені за допомогою оцинкованих сталевих скоб і металевих саморізів, що забезпечує жорсткість конструкції і стійкість до корозії. Пароізоляційна мембрана Tyvek Soft встановлюється поверх каркасу, щоб запобігти проникненню вологи та утворенню конденсату, що підвищує довговічність ізоляції. Потім укладається водонепроникна підпокрівельна мембрана ТехноНІКОЛЬ Гідробар'єр, щоб захистити каркас від проникнення води. Зовнішній покрівельний матеріал виготовлений з оцинкованої металочерепиці, покритої поліефірною смолою для захисту від ультрафіолетового випромінювання і механічного зносу. Він обраний за його довговічність і стійкість до екстремальних температур.

Плоский сегмент даху побудований шляхом застосування бетонної стяжки, залитої під невеликим ухилом для полегшення відведення води. На цю стяжку укладається полімер-модифіковане бітумне покриття, яке забезпечує довготривалу гідроізоляцію. Високоєфективний гідроізоляційний шар пінополіізоціануратна пінопластова плита товщиною 100 мм, вбудована в стяжку, що забезпечує теплопровідність 0,023 Вт/(м·К) для досягнення оптимальної теплоізоляції і запобігання тепловтрат через дах.

Покрівля включає інтегровану систему відведення дощової води, призначену для відведення води і запобігання накопиченню снігу. У зоні плоского даху необхідне видалення снігу, щоб запобігти надмірному навантаженню на конструкцію. Цей сегментований підхід до покрівлі поєднує структурну цілісність з енергоефективністю та довговічністю, ефективно задовольняючи як естетичні, так і функціональні вимоги.

Покриття підлог

Підлогове покриття в житловому будинку призначене для довговічності, звукоізоляції та комфорту. Воно складається з багатошарової системи, яка забезпечує стабільність, тепло- і звукоізоляцію та зносостійкість. Базовий шар складається з бетонної основи товщиною 100 мм, залитої для забезпечення рівної, стабільної основи. Поверх нього шар

поліетиленової плівки виконує функцію пароізоляції, запобігаючи підняттю вологи у верхні шари, забезпечуючи довговічність системи підлоги та захист від утворення цвілі.

Поверх пароізоляції укладається шар звукоізоляції з кам'яної вати товщиною 40 мм. Цей шар має коефіцієнт звукопоглинання 0,90 і щільність 120 кг/м³, що значно знижує ударний шум і покращує звукоізоляцію між поверхами, що відповідає сучасним стандартам комфорту в житлових приміщеннях.

Поверх шару ізоляції влаштовується стяжка, що складається з 50-міліметрового шару цементно-піщаного розчину, армованого 6-міліметровою сіткою з оцинкованої сталі для підвищення стабільності та стійкості до тріщин. Ця стяжка забезпечує гладку, міцну поверхню для фінішного покриття підлоги і допомагає рівномірно розподілити навантаження на шар ізоляції.

Остаточне покриття підлоги складається з ламінованої плити класу 33, призначеної для інтенсивного використання в житлових приміщеннях. Цей ламінат має клас стирання AC5, що робить його стійким до подряпин, ударів та інших видів зносу, а також забезпечує тривалий термін служби при мінімальному обслуговуванні. Під ламінатом знаходиться додаткова підкладка з пінополіетилену із закритими порами, яка забезпечує амортизацію та незначне звукопоглинання, підвищуючи комфорт та забезпечуючи додаткову теплоізоляцію.

У ванних кімнатах і кухнях керамічну плитку використовують як фінішне покриття для підлоги завдяки її довговічності, водонепроникності та простоті догляду. Плитка на порцеляновій основі товщиною 12 мм з високим показником зносостійкості підходить для приміщень з високою прохідністю. Протиковзка поверхня гарантує безпеку, особливо у вологих умовах, а низька пористість порцеляни забезпечує ефективний захист від вологи. Плитка приклеюється за допомогою модифікованого полімерами розчину, що швидко схоплюється, і обробляється водонепроникною, стійкою до цвілі

затіркою для підвищення довговічності та гігієнічності в цих схильних до вологи зонах.

Вікна та двері

Таблиця 2.2. Специфікація віконних прорізів

Мар, поз	Позначення	Найменування	Кількість на поведі					Маса од., кг.	Примітка
			1	2	3	4	Всього		
1	ВК-1	ВК1385x1670	8	8	8	8	32		
2	ВК-2	ВК1385x1820	4	4	4	4	16		

Таблиця 2.3. Специфікація дверних отворів

Мар, поз	Позначення	Найменування	Кількість на поведі					Маса од., кг.	Примітка
			1	2	3	4	Всього		
Д-1	Д.В. 1450x2100	Д-1	2				2		
Д-2	Д.М. 1200x2100	Д-2	3	3	3	3	12		
Д-3	ДО 1200x2100	Д-3	3	3	3	3	12		
Д-4	ДГ 900x2100	Д-4	6	6	6	6	24		
Д-5	Д.Б. 800x2100	Д-5	4	4	4	4	16		
Д-6	ДГ 800x3000	Д-6	11	1 1	1 1	1 1	44		

Зовнішнє і внутрішнє опорядження

Стельові поверхні вирівнюються і покриваються шаром білої клейової фарби товщиною 0,15 мм, що забезпечує рівну поверхню, яка відбиває світло. Дерев'яні декоративні елементи покриті двома шарами олійної фарби товщиною 0,25 мм для посиленого захисту від вологи та зносу. Внутрішні цегляні стіни оштукатурені 12-міліметровим шаром цементно-вапняної штукатурки, за винятком зон, покритих керамічною плиткою, таких як ванні кімнати та кухні.

У вітальнях, передпокоях, вбудованих коморах і коридорах стіни обклеюють шпалерами середньої щільності товщиною 0,1 мм для довговічності. У спальнях, ванних кімнатах і туалетах на стіни наноситься водостійка емалева фарба товщиною шару 0,2 мм, що забезпечує стійкість до вологи і легке прибирання. У ванних кімнатах на стінах, прилеглих до ванн і раковин, на висоту до 1,75 метра встановлена керамічна плитка товщиною 8 мм для ефективного контролю вологості.

Кухня обладнана мийкою з нержавіючої сталі та електричною плитою. Сантехніка у ванній кімнаті включає керамічну раковину, сталеву ванну та порцеляновий унітаз. У деяких ванних кімнатах також є настінний рушникосушарка з електричним підігрівом. Кожна квартира має окремі крани для водопостачання для різних зон, а також окремі лічильники газу, води та тепла для моніторингу споживання відповідно до вимог проекту.

Кожна кімната обладнана стандартизованими електричними пристроями, включаючи настінні розетки на 16 А, вимикачі на 10 А, світлодіодні світильники та систему електричних дверних дзвінків, встановлених відповідно до будівельних норм.

Зовнішнє оздоблення відповідає структурним та екологічним вимогам. Всі бетонні поверхні в літніх приміщеннях, таких як балкони і тераси, покриті керамічною плиткою для підлоги товщиною 10 мм, яка забезпечує довговічність і стійкість до ковзання. Відкриті металеві та дерев'яні елементи покриті двома шарами атмосферостійкої фарби товщиною 0,15 мм для захисту від ультрафіолету та вологи. Балкони та лоджії можуть бути засклені загартованим склом товщиною 6 мм, в залежності від проектного завдання.

Підлоги на сходових клітках покриті 20-міліметровим бетонним покриттям, а підлоги в коридорах і ліфтових холах для зносостійкості викладені 10-міліметровою керамічною плиткою. Стіни в коридорах і на сходових клітинах пофарбовані водоемульсійною фарбою товщиною 0,1 мм, а стіни у вхідних групах і ліфтових холах покриті водостійкою емаллю товщиною 0,2 мм для запобігання проникненню вологи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2016 [Чинний від 2017-06-01]. -К: Держбуд України, 2017. – 84 с. (Національні стандарти України).
2. Благоустрій територій (зі Змінами): ДБН Б.2.2-5:2011 [Чинний від 2012-09-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2019. – 44 с. (Національні стандарти України).
3. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28:2018 [Чинний від 2019-02-28]. -К: Мінрегіонбуд України, 2018. – 7 с. (Національні стандарти України).
4. Склад та зміст проектної документації на будівництво: ДБН А.2.2-3-2014 [Чинний від 2014-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2014. – 10 с. (Національні стандарти України).
5. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 [Чинний від 2016-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2017. – 15 с. (Національні стандарти України).
6. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В.1.2-2:2016 [Чинний від 2017-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 13-16 с. (Національні стандарти України).
7. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018.
8. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією: ДБН В.2.6-33:2018.
9. Кам'яні та армокам'яні конструкції: ДБН В.2.6-162:2010.
10. Покриття будівель і споруд: ДБН В.2.6-220:2017
11. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Підлоги.
12. Вікна та двері: ДСТУ EN 14351-1:2020.
13. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи

14. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013.
15. Охорона праці і промислова безпека в будівництві ДБН А.3.2-2-2009: [Чинний від 2012-04-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2012. – 53-54 с. (Національні стандарти України).
16. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1-5:2016 [Чинний від 2016-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 44-46 с. (Національні стандарти України).
17. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва»: [Чинний від 2021-11-09]. -К: Мінрегіонбуд України, 2021. – 44-46 с. (Національні стандарти України).
18. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6- 98:2009 [Чинний від 2011-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2011. – 45 с. (Національні стандарти України).