

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СПИРИДОНЕНКОВ ВІТАЛІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 624.01:728:697.7-049.34

ДИСЕРТАЦІЯ

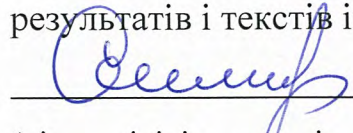
**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМФОРТУ І
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди
(шифр і назва спеціальності)

19 – Архітектура та будівництво
(галузь знань)

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 В. А. Спиридоненков
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник: Савицький Микола Васильович, доктор технічних наук,
професор

Дніпро – 2025

АНОТАЦІЯ

Спиридоненков В. А. Забезпечення параметрів комфорту і енергоефективності житлових будівель. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» (19 – Архітектура та будівництво). – Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2025.

Дисертаційна робота присвячена розробці та обґрунтуванню інженерно-технічних систем і рішень на основі смарттехнологій, спрямованих на забезпечення параметрів комфорту і енергоефективності житлових будівель.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, визначено мету та основні завдання роботи, відображено наукову новизну одержаних результатів і їх практичне значення. Подано відомості щодо апробації положень дисертації на наукових конференціях та у профільних виданнях, наведено інформацію про кількість опублікованих праць автора, а також охарактеризовано структуру та обсяг дисертаційної роботи.

У **першому розділі** «Нормування і забезпечення параметрів комфорту і енергоефективності житлових будівель» проведено огляд публікацій за темою дисертації. Відзначається, що концепція сталого розвитку суспільства передбачає створення комфортних умов життєдіяльності людей без заподіяння шкоди довкіллю. Це забезпечується насамперед впровадженням у будівельний сектор економіки України енергоефективних смарттехнологій. Тому дослідження в цьому напрямі є актуальними й важливими для економіки України.

Узагальнено нормативні вимоги (ЄС та України) до параметрів мікроклімату житлових будівель, які визначають комфортні умови для людини, а також наведено нормативні положення щодо показників їх

енергоефективності. Наведені дані з недостатньо розроблених питань щодо інженерно-технічних систем і рішень на основі смарттехнологій, спрямованих на забезпечення параметрів комфорту і енергоефективності житлових будівель.

З урахуванням сучасного стану наукових досліджень сформульовано мету та основні завдання дисертаційної роботи.

У **другому розділі** «Енергетичні потреби і структура їх витрат в малоповерхових житлових будівлях» наведено результати теоретичних і натурних досліджень, спрямованих на визначення енергетичних потреб житлових будівель малої поверховості та аналіз структури їх енергоспоживання.

Для забезпечення нормальної роботи інженерних систем будинку та створення комфортних умов проживання мешканців необхідно визначити витрати електричної енергії на виконання різних функцій життєзабезпечення будівлі. З цією метою виконано модельні розрахунки енергоспоживання малоповерхового житлового будинку, обладнаного стандартним набором побутових електроприладів, що дозволило визначити характерне споживання електричної енергії середньостатистичним домогосподарством.

Для уточнення розрахункових показників проведено дослідження в умовах міста Дніпра із використанням фактичних даних, зафіксованих приладами обліку газопостачання, водопостачання та електроенергії. Отримані масиви інформації дали можливість виконати порівняльний аналіз і уточнити реальну структуру енергоспоживання домогосподарств.

За результатами досліджень визначено структуру середньорічного кінцевого енергоспоживання домогосподарства, а також встановлено питоме енергоспоживання будівлі, що є важливими вихідними даними для подальшої оцінки енергоефективності та розроблення технічних рішень із її підвищення.

У **третьому розділі** «Забезпечення потреб енергії домогосподарства відновлюваними джерелами енергії» розглянуто можливості покриття енергетичних потреб малоповерхових житлових будівель завдяки

використанню відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Дослідження спрямовані на оцінку ефективності сонячних та ґрунтових енергетичних систем, визначення їх раціональних параметрів та аналіз потенціалу заміщення традиційного палива.

Виконано дослідження ефективності роботи сонячної електростанції (СЕС) у кліматичних умовах середньоевропейської зони, характерних для м. Дніпра. Проаналізовано вплив азимутальної орієнтації фотоелектричних модулів та кута їх нахилу відносно горизонтальної площини на річний виробіток електричної енергії. Встановлено, що оптимальним для зазначених умов є кут нахилу панелей 35° при орієнтації на південь, що забезпечує максимальний річний генераційний потенціал. При цьому відхилення орієнтації панелей на схід зменшує виробіток на 12 %, на захід – на 22 %, а вертикальне розташування панелей, орієнтованих на схід або захід, спричиняє втрати ефективності на 43 % та 61 % відповідно. У широтах, характерних для України, відхилення ефективності є прийнятними (не більше 10 %), якщо панелі встановлені в секторі між азимутами -45° (південний схід) та $+45^\circ$ (південний захід) і мають кут нахилу $25-65^\circ$.

На основі аналізу річного споживання електричної енергії середньостатистичного домогосподарства встановлено його потребу на рівні близько 630 кВт·год/міс. (побутові прилади, підігрів води, приготування їжі). Розрахунки показали, що найраціональнішою для цих умов є СЕС із встановленою потужністю 6,3 кВт із річною генерацією 7528 кВт·год, що відповідає різниці у 0,4 % між виробітком та річною потребою. Це свідчить про реальну можливість забезпечення автономного енергозабезпечення малоповерхового житлового будинку протягом року.

З метою оцінки теплотехнічної ефективності будівлі виконано розрахунки річних витрат теплоти на опалення та проаналізовано показники енергоефективності залежно від величини приведенного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Визначено залежності часток тепловтрат через огороження та на нагрівання вентиляційного повітря від значення

приведеного опору теплопередачі. Встановлено, що підвищення цього показника до $3,5 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ дає змогу знизити річні витрати теплоти на опалення до $70 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$, при цьому розрахункова питома потужність системи опалення становить близько $50 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Подальше підвищення опору теплопередачі є малоефективним, оскільки основна частка тепловтрат переходить на вентиляційні потреби.

Здійснено розрахунки роботи системи сонячного опалення на основі плоских або вакуумних сонячних колекторів за середньомісячними кліматичними показниками. Розміри поверхні колекторів визначено за результатами аналізу останнього повного місяця опалювального періоду (березня). Запропоновано залежності для визначення місячного ступеня заміщення традиційного палива завдяки сонячній енергії.

На основі узагальнення даних щодо теплової потужності різних типів ґрунтових колекторів отримано значення їх ефективного лінійного опору теплопередачі. Отримані результати добре узгоджуються з попередніми чисельними моделями нестационарного ґрунтового теплообміну. Виконано теплотехнічні розрахунки системи опалення на основі теплового насоса з вертикальним ґрунтовим теплообмінником.

Порівняльний аналіз коефіцієнтів заміщення палива для систем на основі сонячних колекторів (СК) і теплового насоса (ТН) показав, що система з ТН забезпечує більш високий і стабільний рівень заміщення протягом року. Недоліком ТН є залежність від електричної енергії та її відносно висока вартість. Система з сонячними колекторами переважно автономна, проте характеризується меншою ефективністю та помітною залежністю від метеорологічних умов.

У четвертому розділі «Забезпечення комфортних температурних умов в приміщеннях житлових будівель» розглянуто питання підтримання параметрів мікроклімату на рівні, що забезпечує тепловий комфорт мешканців протягом усього року. Зазначено, що стан здоров'я, працездатність і загальний рівень життєвого комфорту людини істотно залежать від санітарно-гігієнічних

умов, зокрема від параметрів мікроклімату – температури внутрішнього повітря та огорожувальних конструкцій, відносної вологості, рухливості повітря та концентрації CO₂.

Надано визначення мікроклімату як стану внутрішнього середовища приміщення, що впливає на тепловідчуття людини та визначає її комфортні відчуття, які формуються під впливом комплексу фізичних параметрів. Підкреслено, що з технічного погляду найважливішими є ті параметри мікроклімату, які можуть регулюватися інженерними системами будівлі упродовж року: температура, відносна вологість та рух повітря. Саме ці фактори визначають ефективність життєзабезпечення та створення оптимальних умов проживання і праці.

У роботі запропоновано методику розрахунку тепловтрат приміщення та обґрунтовано спосіб визначення раціональної товщини теплоізоляційного шару огорожувальних конструкцій, що включають теплообмінні елементи. Методика враховує структурно-теплотехнічні характеристики матеріалів, температурні режими та умови експлуатації.

Встановлено, що найсприятливіший температурний режим у приміщенні забезпечують поверхневі (радіаційні) системи опалення й охолодження, зокрема стінові та підлогово-стельові. Використання таких систем дозволяє зменшити нерівномірність теплового опромінення і тепловіддачі людського тіла, що позитивно впливає на тепловий комфорт. Завдяки значній площі теплообміну ці системи можуть працювати з низькотемпературними теплоносіями (27–35 °C для опалення) та високотемпературними режимами охолодження (16–18 °C), що робить доцільним застосування вискоефективних джерел теплоти: теплових насосів, конденсаційних котлів і сонячних колекторів.

На основі аналізу параметрів мікроклімату запропоновано конструктивні рішення панелей стінового поверхневого обігріву, побудовані за принципом наближення фактичного профілю температури по висоті приміщення до «ідеальної» температурної кривої теплового комфорту.

Сформульована формула винаходу на корисну модель при виборі нагрівальних елементів поверхневих систем опалення: Система опалення, що складається з електричних нагрівальних елементів – нагрівальних матів або кабелів, або інфрачервоної плівки, або електропровідного нагрівального бетону, що забезпечує розподіл температури по висоті приміщення, комфортної для людини, яка відрізняється від звичайних стінової, підлогової та стельової радіаційних систем опалення тим, що за висотою стінова система ділиться на окремі зони із включенням підлогової та стельової систем з різною температурою нагрівальних елементів, що відповідає розподілу температури по висоті приміщення, комфортної для людини.

З використанням програмного комплексу Flow Simulation проведено імітаційне моделювання температурних полів і полів швидкості руху повітря в літній період, що дозволило оцінити ефективність охолодження приміщень капілярно-трубчастими матами. Результати показали, що такі системи забезпечують ефективне охолодження будівель, водночас підтримуючи низьку швидкість руху повітря та стабільний вертикальний градієнт температур.

Виконано чисельне моделювання роботи поверхневих систем опалення в приміщеннях малоповерхового житлового будинку. Показано, що температура повітря у функціональній зоні приміщення становить на 1,5–2,0 °C менше радіаційної температури, що свідчить про домінування радіаційного теплообміну. Установлено також, що стельова система опалення забезпечує температуру повітря на 3,5 °C вищу порівняно зі стіновою системою при аналогічних умовах роботи, що обумовлено відмінністю у геометрії теплообміну та інтенсивності конвекції.

У п'ятому розділі «Смарттехнології забезпечення параметрів комфорту та енергоефективності житлових будівель» розроблено та обґрунтовано технічне рішення системи проактивного менеджменту житлових будівель, засноване на застосуванні смартобладнання та концепції Інтернету речей (IoT). Основна увага приділена питанням автоматизованого контролю та

підтримання оптимальних параметрів мікроклімату як ключової умови забезпечення комфортності проживання та раціонального використання енергоресурсів.

Досліджено ключові параметри мікроклімату житлового будинку, зокрема температуру та відносну вологість повітря, за умов використання твердопаливного котла як основного джерела теплогенерації та часткового застосування поверхневих електричних систем опалення – підлогової та стінової. За результатами інструментального моніторингу параметрів мікроклімату приміщень житлових малоповерхових будинків, а саме температури і відносної вологості, визначено вплив пічної й частково електричної поверхневої (стіної й напільної) системи опалення на мікроклімат будівлі й факторів, що негативно впливають на мікроклімат. За результатами аналізу запропоновано комплекс заходів, спрямованих на забезпечення підтримання параметрів мікроклімату на рівні, регламентованому чинними нормативними документами.

Розроблено архітектуру IoT-мережі для реалізації технічного рішення системи проактивного управління житловими будівлями на основі «розумного» обладнання, що забезпечує автоматизований збір, передачу та оброблення даних про параметри енергоспоживання, мікроклімату та якості повітря. Дослідження проведені в межах міжнародного проєкту PRECEPT на пілотному об'єкті – житловому комплексі «Панорама» (м. Дніпро, Україна).

Результати тестування запропонованої системи в умовах реального експлуатаційного середовища засвідчили її стабільну роботу та надійну передачу даних до аналітичної платформи. Аналіз отриманих масивів даних про добове енергоспоживання, а також динаміку змін параметрів мікроклімату дозволив сформулювати рекомендації щодо зниження енергоспоживання та підвищення ефективності функціонування інженерних систем пілотного об'єкта.

Ключові слова: комфортні умови, температура, вміст вуглекислого газу, параметри мікроклімату, енергоефективність, відновлювані джерела енергії, смарттехнології.

ABSTRACT

Spyrydonenkov V. A. Ensuring comfort and energy efficiency parameters in residential buildings – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation submitted for the degree of Candidate of Technical Sciences in Specialty 05.23.01 “Building Structures, Buildings and Facilities” (Field of Knowledge 19 – Architecture and Construction). Ukrainian State University of Science and Technology, Educational and Research Institute “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2025.

The dissertation is devoted to the development and substantiation of engineering and technical systems and smart-technology-based solutions aimed at ensuring indoor comfort parameters and improving the energy efficiency of residential buildings.

The introduction substantiates the relevance of the topic, sets out the research aim and objectives, and presents the scientific novelty and practical significance of the obtained results. It provides information on the approbation of the dissertation provisions at scientific conferences and in specialised publications, reports the number of the author’s published works, and describes the structure and scope of the dissertation.

Chapter 1, “Regulation and Provision of Comfort Parameters and Energy Efficiency of Residential Buildings,” reviews publications relevant to the dissertation topic. It notes that sustainable development requires comfortable living conditions without harm to the environment; in Ukraine, this is ensured primarily through the implementation of energy-efficient smart technologies in the construction sector. Therefore, research in this area is relevant and important for

Ukraine's economy. The chapter summarises EU and Ukrainian regulatory requirements for indoor microclimate parameters and energy-efficiency indicators for residential buildings. It presents and discusses insufficiently developed issues related to engineering and technical systems and smart-technology-based solutions. In light of the current state of research, the aim and main objectives of the dissertation are formulated.

Chapter 2, “Energy Demand and Structure of Energy Consumption in Low-Rise Residential Buildings,” presents theoretical and field studies aimed at determining the energy demand of low-rise housing and analysing the structure of energy consumption. Model calculations for a typical low-rise house equipped with a standard set of household appliances made it possible to determine the characteristic household electricity-use (load) profile. Field studies in Dnipro based on actual gas, water, and electricity meter readings enabled comparative analysis and refinement of the actual structure of household energy consumption. The study determined the structure of annual final energy consumption and the building's specific final energy use, providing inputs for subsequent energy-efficiency assessment and for developing technical measures to improve efficiency.

Chapter 3, “Meeting Household Energy Demand Using Renewable Energy Sources,” assesses the potential of renewable energy sources (RES) to cover the energy needs of low-rise residential buildings. The chapter evaluates solar and ground-source systems, determines rational design parameters, and estimates the potential for substituting conventional fuels.

PV system performance was analysed for climatic conditions typical of the city of Dnipro (Ukraine). The effects of array azimuth and tilt angle on annual electricity generation were investigated. The optimal configuration was found to be south-facing modules with a 35° tilt.

For latitudes typical of Ukraine, efficiency losses remain acceptable ($\leq 10\%$) when modules are installed within an azimuth sector of -45° to $+45^\circ$ and at tilt angles of $25-65^\circ$. Based on annual electricity consumption, typical demand was estimated at approximately 630 kWh/month. Calculations show that a 6.3 kW PV

system with annual generation of 7,528 kWh is optimal, corresponding to only a 0.4% difference between annual generation and annual demand, which indicates the feasibility of autonomous electricity supply throughout the year.

Space-heating energy demand and energy-efficiency indicators were evaluated as a function of the thermal resistance of the building envelope. Increasing thermal resistance to $3.5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ reduces annual space-heating demand to 70 kWh/m^2 , while the specific design heating load is about 50 W/m^2 ; further increases are inefficient due to the dominant share of ventilation heat losses.

Calculations were performed for solar space-heating systems using flat-plate and evacuated-tube collectors; collector surface area was determined based on analysis of the last full month of the heating season (March). Relationships were proposed to estimate the monthly degree of conventional-fuel substitution by solar energy. By synthesising data on the thermal output of various ground heat exchanger types, their effective linear thermal resistance was determined and validated against numerical models of transient soil heat transfer.

Thermal design calculations were performed for a heat-pump heating system with a vertical ground heat exchanger. Comparative analysis of fuel-substitution coefficients for solar-collector and heat-pump systems showed that heat pumps provide higher and more stable substitution throughout the year; their drawback is dependence on electricity and its relatively high cost, whereas solar-collector systems are largely autonomous but less efficient and more weather-dependent.

Chapter 4, “Ensuring Comfortable Thermal Conditions in Residential Buildings,” addresses the maintenance of indoor microclimate parameters at a level that ensures the thermal comfort of occupants throughout the year. It is noted that human health, work capacity, and overall living comfort depend significantly on sanitary and hygienic conditions, in particular on microclimate parameters such as indoor air temperature, the temperature of enclosing structures, relative humidity, air movement, and CO_2 concentration.

The indoor microclimate is defined as the state of the indoor environment that affects a person’s thermal sensation and determines the feeling of comfort formed

under the influence of a set of physical parameters. It is emphasized that, from a technical point of view, the most important microclimate parameters are those that can be regulated by a building's engineering systems throughout the year: temperature, relative humidity, and air movement. These factors determine the effectiveness of building services and the creation of optimal living and working conditions.

The dissertation proposes a methodology for calculating room heat losses and substantiates an approach to determining the rational thickness of the thermal-insulation layer of building-envelope structures that include heat-exchange elements. The methodology takes into account the structural and thermal characteristics of materials, temperature regimes, and operating conditions.

It was established that the most favorable indoor thermal regime is provided by surface (radiant) heating and cooling systems, particularly wall-based and floor-ceiling systems. The use of such systems reduces the non-uniformity of thermal radiation and heat transfer from the human body, which has a positive effect on thermal comfort. Owing to their large heat-exchange area, these systems can operate with low-temperature heat carriers ($27\text{--}35^{\circ}\text{C}$ for heating) and relatively high cooling temperatures ($16\text{--}18^{\circ}\text{C}$), which makes the use of high-efficiency heat sources – heat pumps, condensing boilers, and solar collectors – technically and economically justified.

Based on an analysis of microclimate parameters, structural solutions were proposed for wall-mounted surface-heating panels designed according to the principle of approximating the actual vertical temperature profile in a room to the “ideal” thermal-comfort temperature curve.

A utility-model claim was formulated for the selection of heating elements in surface heating systems: a heating system composed of electric heating elements – heating mats or cables, infrared film, or electrically conductive heating concrete – that ensures a room-height temperature distribution comfortable for occupants and differs from conventional wall, floor, and ceiling radiant heating systems in that the wall system is divided vertically into separate zones and combined with floor and

ceiling systems operating at different heating-element temperatures, corresponding to a room-height temperature distribution that is comfortable for occupants.

Using the Flow Simulation software package, simulation modeling of temperature fields and air-velocity fields during the summer period was carried out, which made it possible to assess the cooling efficiency of capillary tube mats. The results showed that such systems provide effective cooling of buildings while maintaining low air velocities and a stable vertical temperature gradient.

Numerical modeling of the operation of surface heating systems in the rooms of a low-rise residential building was also performed. It was shown that the air temperature in the occupied zone is 1.5–2.0°C lower than the mean radiant temperature, which indicates the predominance of radiant heat transfer. It was also established that a ceiling heating system provides an indoor air temperature 3.5°C higher than that of a wall-mounted system under comparable operating conditions, which is due to differences in heat-exchange geometry and convection intensity.

Chapter 5, “Smart Technologies for Ensuring Comfort Parameters and Energy Efficiency of Residential Buildings,” develops and substantiates a technical solution for a proactive residential-building management system based on smart equipment and the Internet of Things (IoT) concept. The main focus is on the automated control and maintenance of optimal microclimate parameters as a key condition for ensuring residential comfort and the rational use of energy resources.

The key microclimate parameters of a residential building, namely air temperature and relative humidity, were investigated under conditions involving the use of a solid-fuel boiler as the main heat-generation source and the partial application of electric surface heating systems—floor and wall heating. Based on instrumental monitoring of the microclimate parameters of low-rise residential buildings, specifically temperature and relative humidity, the influence of a stove-based and partially electric surface (wall and floor) heating system on the building microclimate, as well as the factors negatively affecting the microclimate, was determined. On the basis of this analysis, a set of measures was proposed to ensure

that indoor microclimate parameters are maintained at the levels prescribed by current regulatory documents.

An IoT network architecture was developed to implement the proposed technical solution for a proactive residential-building management system based on smart equipment and to ensure the automated collection, transmission, and processing of data on energy consumption, microclimate conditions, and indoor air quality. The research was conducted within the framework of the international PRECEPT project at a pilot facility – the Panorama residential complex in Dnipro, Ukraine.

Testing of the proposed system under real operating conditions confirmed its stable performance and reliable data transmission to the analytical platform. Analysis of the collected datasets on daily energy consumption and the dynamics of changes in microclimate parameters made it possible to formulate recommendations for reducing energy consumption and improving the operational efficiency of the engineering systems at the pilot facility.

Keywords: comfortable conditions; temperature; carbon dioxide concentration; microclimate parameters; energy efficiency; renewable energy sources; smart technologies.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні результати дисертації:

1. Зелені будівлі для сталого розвитку житлового будівництва : монографія / Бабенко М. М., Савицький М. В., Шехоркіна С. Є., Кузьменко О. М., Бондаренко О. І., Бордун М. В., Котов М. А., Спиридоненков В. А., Єлісєєва М. О. Дніпро : Удовиченко О. М., 2018. 99 с.
URL: https://pgasa.dp.ua/wp-content/uploads/2023/04/Monografyya_Zeleni-budivli.pdf (дата звернення: 11.09.2025).

2. Системи генерації, накопичення та трансформації сонячної енергії для ефективного енергозабезпечення будівель і споруд : колективна монографія / Савицький М., Шехоркіна С., Бордун М., Спиридоненков В. та ін.; за заг. ред.

М. Савицького. Дніпро : ФОП Удовиченко О. М., 2021. 356 с. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/handle/123456789/10129> (дата звернення: 12.09.2025).

3. Savytskyi M., Bordun M., Spyrydonenkov V. The Sustainable Design of the Greenhouse by Criteria of Heat Losses and Solar Heat Gains. *Proceedings of EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, 16–18 Sept., Lviv, 2020 / ed. Zinoviy Blikharskyu. Springer, Cham, 2020. Vol. 100. P. 393–401. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_48 (дата звернення : 10.09.2025) (Scopus).

4. Савицький О. М., Спиридоненков В. А., Циганкова С. Г. Інноваційна система енергоменеджменту ЖК «ПАНОРАМА» у м. Дніпро. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2024. № 1(19). С. 130–142. URL: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.270224.130.1033> (дата звернення : 10.09.2025).

5. Design of proactive management system for residential buildings by using smart equipment / Savytskyi M., Shekhorkina S., Bordun M., Babenko M., Tsyhankova S., Spyrydonenkov V., Savytskyi O., Rabenseifer R. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. № 8 (128), vol. 2. P. 16–25. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.301882> (дата звернення: 10.09.2025) (Scopus).

6. Implementation of smart building management systems for residential complex “PANORAMA” / Savytskyi O., Spyrydonenkov V., Tsyhankova S., Babenko M. *E3S Web of Conferences*. Vol. 534 : International Scientific and Practical Conference Innovations in Construction and Smart Building Technologies for Comfortable, Energy Efficient and Sustainable Lifestyle (ICSBT 2024), 20–21 Feb., Dnipro, Ukraine, 2024 / eds.: J. Awrejcewicz, V. Danishevskyy, B. Markert). Art. no 01020. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453401020> (дата звернення: 10.09.2025) (Scopus).

7. Scalability and Replicability Analysis for an Intelligent Building Management System / Shekhorkina, S., Babenko, M., Spyrydonenkov, V.,

Shevchenko, T. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2024. P. 483–495. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-67576-8_44 (дата звернення 10.09.2025) (Scopus).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Agro-building clusters for solution critical challenges of sustainable development / Babenko M., Nikiforova T., Spyrydonenkov V., Savytskyi O., Andrukh S., Schmidt M. *EnviBUILD 2019. Proceedings of the 14th International conference on buildings and environment*, 7 nov 2019, Bratislava, Slovakia / ed. Hraška Jozef. Sciendo, 2020, P. 1–6. URL: https://www.academia.edu/124902242/Agro_Building_Clusters_for_Solution_Critical_Challenges_of_Sustainable_Development (дата звернення: 10.09.2025).

9. Savytskyi M., Babenko M., Spyrydonenkov V. Ukrainian National Eco-certification System of the BUILDINGS. 6-й Міжнародний молодіжний конгрес “Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування”, 23–25 верес. 2020 р., м. Львів : збірник мат-лів / Нац. ун-т «Львів. політех.». Львів : ЗУКЦ, 2020. С. 42–43. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2021/jan/23053/youthcongressproceedings2021.pdf> (дата звернення: 11.09.2025).

10. Особливості інженерно-технічних рішень конструкцій тепличних модулів для місячної бази / Бордун М. В., Савицький М. В., Спиридоненков В. А., Куліченко Н. В. *Тези XIX міжнародної науково-практичної конференції "Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектури"*, 19–22 верес. 2021 р., м. Чернігів, Україна / упоряд.: М. Савицький та ін. ; Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури та ін. Дніпро : ПДАБА, 2021. С. 118–120. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/handle/123456789/7310> (дата звернення: 11.09.2025).

11. Savytskyi A. M., Spyrydonenkov V. A., Tsyhankova S. H. Residential building energy management system. *Матеріали V науково-практичної конференції молодих вчених "Інтелектуальна власність та просування енергоефективності в Україні: проблеми та перспективи розвитку в*

інформаційному суспільстві", 12 груд. 2023 р., м. Дніпро / [редкол. В. В. Данішевський та ін. ; уклад.: Г. П. Євсєєва, В. А. Бабенко] ; Придніпр. акад. буд-ва та архітектури, Каф. українознав., документознав. та інформ. діяльності, Енерго-інновац. хаб м. Дніпро. Дніпро : Вахмістров О. Є., 2023. С. 5–7. URL: <https://pgasa.dp.ua/wp-content/uploads/2024/02/zbirnyk-V-npk-Intelektualna-vlasnist-12.12.2023-SAJT-1.pdf> (дата звернення: 11.09.2025).

12. Савицький О. М., Спиридоненков В. А., Циганкова С. Г. Впровадження інтелектуальних систем управління будівлями в ЖК «Панорама». *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології забезпечення параметрів комфорту, енергоефективності і екологічності житлових будівель на основі smartтехнологій»*, м. Дніпро, 20–21 лют. 2024 р. : зб. тез / ред. : Микола Савицький та ін. Дніпро : ПДАБА, 2024. С. 150–153. URL: <https://publish.pdaba.edu.ua/catalog/view/515/776/3548> (дата звернення: 11.09.2025).

13. Савицький О. М., Спиридоненков В. А., Циганкова С. Г. Деякі проблеми впровадження інтелектуальних систем управління будівлями на прикладі ЖК «Панорама». *Матеріали науково-практичної конференції «Просування енергоефективності та підготовка фахівців для відбудови України»*, 13 берез. 2024 р., м. Дніпро : зб. тез. Дніпро, 2024. С. 106–110. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/handle/123456789/12432> (дата звернення: 11.09.2025).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

14. Formation of the structure of a polymer cement plaster solution with high crack resistance and durability / Paruta V., Brynzin Y., Koval O., Yurchenko Y., Spyrydonenkov V. *Innovative lifecycle technologies of housing, industrial and transportation objects* : monograph / eds : S. Nikolaienko etc. ; under the general ed. of M. Savytskyi. Dnipro : SHEE "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture" ; Bratislava : Slovak University of Technology in

Bratislava. 2018. P. 54–60. URL: http://srd.pgasa.dp.ua:8080/bitstream/123456789/1380/1/Volchuk_Inn_Tech_2018.pdf (дата звернення: 11.09.2025).

15. Shibko O., Spyrydonenkov V., Sokolova K. Selection of indicators for research into life cycle processes of construction enterprises. *Sustainable housing and human settlement* : monograph / eds. : S. Nikolaienko, P. Kulikov, O. Pshinko etc. ; under the general ed. M. Savytskyi ; SHEE “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Slovak University of Technology in Bratislava. Dnipro ; Bratislava, 2018. P. 229–234. URL: <https://crust.ust.edu.ua/items/f9aebd3c-d02e-47eb-8fbf-096fc0d5be24> (дата звернення: 11.09.2025).

16. Архітектурно-конструктивно-технологічна система 3д-друку будівельних об'єктів : кол. монографія / Савицький М., Айріх Ш., Халаф І. З., Спиридоненков В. А. та ін. ; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. М. Савицького, Дніпро : ФОП Удовиченко О. М., 2019. 233 с. URL: https://pgasa.dp.ua/wp-content/uploads/2023/04/Monografiya_fynal_polnaya.pdf (дата звернення: 11.09.2025).

17. Construction Technologies for the Creation of Living and Industrial Modular Settlement of Lunar Base : monograph / Savytskyi M. Shekhorkina S., Bordun M., Spyrydonenkov V. etc. ; According to the general edition Prof., Doctor of Science (Tech.) M. Savytskyi. Dnipro : Udovychenko O. M., 2021. 91 p. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/handle/123456789/10126> (дата звернення: 11.09.2025).

18. Альбом технічних рішень застосування конструкцій із блоків автоклавного газобетону при проектуванні житлових та громадських будинків в районах сейсмічністю 6, 7 та 8 балів / укл. : Бринзін Є. В., Сиротін О. В., Парута В. А., Немчинов Ю. І., Маренков М. Г., Петраш С. В., Шеховцов В. І., Шеховцов І. В., Савицький М. В., Нікіфорова Т. Д., Спиридоненков В. А. Харків : Факт, 2021. 180 с. URL: <https://drive.google.com/file/d/1ZmUNroLG9VXD1xA0G5-NyDLqX5D1A25b/view?pli=1> (дата звернення: 12.09.2025).

19. Теплиця з багат шаровим теплоакумулятором : пат. 137026 Україна : МПК А01G 9/14 (2006.01) / Савицький М. В., Бордун М. В., Бабенко М. М., Спиридоненков В. А. ; заявник та патентовласник ДВНЗ «Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури». № u201902967 ; заявл. 26.03.2019; опубл. 25.09.2019, Бюл. № 18. 3 с. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1375335/> (дата звернення: 12.09.2025).

20. Savytskyi O. M., Spirydonenkov V. A., Tsyhankova S. H. Proactive smart residential houses in the green building concept. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»)*, 16–17 квіт. 2024 р. Київ : Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури, 2024. С. 300–303. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf (дата звернення: 12.09.2025).

21. Савицький О. М., Спиридоненков В. А., Шинкаренко І. В. Сучасні індустріальні архітектурно-конструктивні технологічні системи малоповерхових будівель на основі елементів НВЕ. *Інтелектуальні конструкції та інноваційні будівельні матеріали: зб. наук. пр. Вип. 5 / Херсон. держ. аграрно-економ. ун-т ; ред. кол.: Чеканович М. Г., Желуденко К. В. Кропивницький, 2024. С. 84–87. URL: https://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/2024/06/mater_07_06_24.pdf* (дата звернення: 12.09.2025).

22. Регенеративний дизайн повоєнного відновлення і розвитку України : колективна монографія / Савицький М., Бевз М., Радкевич А., Спиридоненков В. та ін. ; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. М. Савицького. Дніпро : ФОП Скрипець О. М., 2024. 124 с. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/handle/123456789/15520> (дата звернення: 12.09.2025).

ЗМІСТ

	АНОТАЦІЯ.....	2
	ВСТУП.....	23
РОЗДІЛ 1.	НОРМУВАННЯ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМФОРТУ І ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ.....	30
1.1.	Загальні вимоги до житлових будівель і споруд.....	30
1.2.	Параметри мікроклімату житлових будівель що визначають комфортні умови для людини.....	31
1.2.1.	Оцінка теплового комфорту.....	32
1.2.2.	Локальний температурний дискомфорт.....	34
1.2.3.	Якість внутрішнього повітря та норми вентиляції.....	35
1.2.4.	Вологість.....	36
1.3.	Споживання енергії в домогосподарствах в країнах ЄС та Україні. Енергоефективність житлових будівель.....	38
1.4.	Інженерні системи для забезпечення енергопостачання і опалення.....	43
1.5.	Системи контролю та оптимізації енергоспоживання – смарттехнології.....	45
1.6.	Висновки до розділу 1.....	48
1.7.	Список використаних джерел у розділі 1.....	50
РОЗДІЛ 2.	ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОТРЕБИ І СТРУКТУРА ЇХ ВИТРАТ В МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЛЯХ.....	51
2.1.	Розрахунок електроспоживання домогосподарством на побутові потреби.....	51
2.2.	Енергоспоживання домогосподарством в м. Дніпрі.....	56
2.2.1.	Архітектурно-конструктивна характеристика будівлі.....	56
2.2.2.	Інженерне обладнання і побутові прилади.....	62
2.2.3.	Результати аналізу енергоспоживання.....	62

2.3.	Висновки до розділу 2.....	70
2.4.	Список використаних джерел у розділі 2.....	71
РОЗДІЛ 3.	ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТРЕБ ЕНЕРГІЇ ДОМОГОСПОДАРСТВА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ.....	72
3.1.	Дослідження раціонального розташування сонячних панелей.....	72
3.2.	Розрахунок компонентів сонячної електростанції.....	76
3.3.	Розрахунок сонячних панелей на основі визначення сонячної активності.....	82
3.4.	Розрахунки допоміжного обладнання.....	85
3.5.	Аналіз енергетичних показників будівель.....	87
3.6.	Система сонячного опалення на основі сонячних колекторів.....	91
3.7.	Система опалення на основі теплового насоса з вертикальним ґрунтовим колектором тепла.....	95
3.8.	Чисельні результати моделювання по системам опалення.....	98
3.9.	Висновки до розділу 3.....	100
3.10.	Список використаних джерел у розділі 3.....	102
РОЗДІЛ 4.	ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМФОРТНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВ В ПРИМІЩЕННЯХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ.....	103
4.1.	Фізико-математична модель теплообміну людини з навколишнім середовищем.....	103
4.2.	Розрахунок товщини термоізоляційного шару огороджувальної конструкції з термообмінними елементами.....	105
4.3.	Енергоефективні поверхневі системи забезпечення мікроклімату в приміщеннях в холодний і теплий періоди року	108

4.4.	Моделювання параметрів мікроклімату в приміщеннях будівлі.....	118
4.4.1.	Моделювання температури і руху повітря в приміщенні з капілярно-трубчастими матами в режимі охолодження	118
4.4.2.	Моделювання поверхневих систем опалення в приміщенні малоповерхового будинку.....	122
4.5.	Висновки до розділу 4.....	126
4.6.	Список використаних джерел у розділі 4.....	128
РОЗДІЛ 5.	СМАРТТЕХНОЛОГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМФОРТУ І ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ.....	129
5.1.	Дослідження параметрів мікроклімату в малоповерховій будівлі з опаленням твердопаливним котлом.....	129
5.2.	Система проактивного менеджменту житлових будівель на основі смарттехнологій.....	132
5.2.1.	Пілотний об'єкт впровадження результатів.....	134
5.2.2.	Результати досліджень системи проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання.....	137
5.3.	Висновки до розділу 5.....	149
5.4.	Список використаних джерел у розділі 5.....	150
	ВИСНОВКИ.....	151
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	155
	ДОДАТОК А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА.....	176
	ДОДАТОК Б. ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ	182
	ДОДАТОК В. АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ.....	183

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження.

На сьогодні кліматичні зміни є однією з найбільш гострих загроз людству, вирішенню якої сприяє концепція сталого розвитку. Сталий розвиток – це спосіб життя таким чином, щоб добробут сучасних людей не означав обмеження ступеня задоволення потреб майбутніх поколінь. Людство має розвиватись таким чином, щоб забезпечити комфортні умови своєї життєдіяльності і не завдавати шкоди навколишньому середовищу, споживаючи енергетичні ресурси.

Сьогодні інформаційні технології виступають рушійною силою прогресивного розвитку економіки і суспільства. Серед інформаційних технологій великої популярності набувають смарттехнології («розумні» технології) у будівництві, які кардинально змінюють умови життя мешканців житлових будівель і раціонально забезпечують параметри комфорту, енергоефективності, екологічності, безпеки і т.і.

Досконале розуміння вимог до будівель і споруд, систем забезпечення енергоефективності і комфортних умов, особливостей інформаційно-управляючих технологій і системи, що в сукупності і є суттю смарттехнологій, надає учасникам будівельного проєкту – архітекторам, інженерам-проєктувальникам, інженерам-системотехнікам та ін. кваліфіковано використовувати можливості смарттехнологій для забезпечення контрольованих параметрів з урахуванням зовнішніх та внутрішніх впливів середовища шляхом керування елементами систем життєзабезпечення.

Таким чином, забезпечення енергоефективності будівель і комфортних умов перебування людей в житлових приміщеннях з використанням смарттехнологій – є актуальною науково-практичною задачею і темою дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Дисертаційна робота відповідає основним напрямкам наукових досліджень кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій. Робота виконувалася у рамках держбюджетних тем: Держбюджетна НДР «Науково-практичні засади проєктування автономних екобудівель за концепцією «Потрійний нуль». Номер державної реєстрації 0117U006728. Термін виконання 2017–2020 рр.; Держбюджетна НДР «Розробка наукових основ інноваційної архітектурно-конструктивно-технологічної системи будівництва методом 3D друку будівельних об'єктів». Номер державної реєстрації 0119U100608. Термін виконання 2019–2020 рр.; Держбюджетна НДР «Розвиток наукових основ будівельних технологій створення житлового модуля місячної бази». Номер державної реєстрації 0121U109794. Термін виконання 2021–2022 рр.; Держбюджетна НДР «Розробка високофункціональної системи генерації, накопичення та трансформації сонячної енергії для ефективного енергозабезпечення будівель і споруд». Договір № БФ/36-2021 від 02.08.2021 р. на виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки». Номер державної реєстрації 0122U000061. Термін виконання серпень–грудень 2021 р.; Міжнародний проєкт «958284 – PRECEPT. A novel decentralized edge-enabled PREsCriptivE and ProacTive framework for increased energy efficiency and well-being in residential buildings» виконання за програмою HORIZON 2020. Термін виконання 2020–2024 рр. (<https://www.precept-project.eu/>); Кафедральна НДР «Розробка інноваційних технологій життєвого циклу об'єктів будівництва». Номер державної реєстрації 0121U109832. Термін виконання 2021–2023 рр.; Держбюджетна НДР «Індустріальні архітектурно-конструктивно-технологічні системи будівель з інтегрованими укриттями для відновлення соціальної інфраструктури України з використанням технологій рециклінгу і розподіленої енергетики» (<https://nddkr.ukrintei.ua/>). Номер державної реєстрації 0124U000543. Термін виконання 2024–2026 рр.; Держбюджетна НДР «Розвиток наукових основ

проектування смартбудівель на основі концепції Індустрії 4.0 і Інтернету речей (IoT)». Номер державної реєстрації 0125U003905. Термін виконання 2025 р.

Мета та задачі дослідження.

Мета – розробити комплексний метод забезпечення параметрів комфорту і енергоефективності житлових будівель з використанням сучасних інженерно-технічних систем і смарттехнологій.

Для досягнення мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

- провести дослідження енергетичних потреб і структури витрат енергії малоповерховими житловими будівлями в середньостатистичних домогосподарствах України: річних, середньомісячних, на душу населення, питомих енерговитрат;

- виявити можливість забезпечення потреб енергії домогосподарством відновлювальними джерелами енергії, зокрема, за допомогою сонячних електростанцій в умовах центральної України; обґрунтувати системи опалення будівель відновлювальними джерелами енергії на основі сонячних колекторів та теплового насоса з вертикальним ґрунтовим колектором тепла;

- на основі результатів досліджень обґрунтувати енергоефективні системи забезпечення параметрів мікроклімату в приміщеннях в холодний і теплий періоди року за допомогою радіаційних поверхневих систем нагріву і охолодження;

- на основі смарттехнологій провести дослідження параметрів мікроклімату в житлових будівлях, що експлуатуються; розробити та впровадити систему проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання.

Об’єкт дослідження – процес забезпечення параметрів комфорту і енергоефективності житлових будівель з використанням сучасних інженерно-технічних систем і смарттехнологій.

Предмет дослідження – закономірності зміни параметрів комфорту, теплофізичних і енергетичних характеристик житлових будівель при зміні визначальних параметрів.

Методи дослідження. Використані наступні методи теоретичних досліджень: абстрагування, аналіз і синтез, ідеалізація, індукція і дедукція, імітаційне моделювання, сходження від абстрактного до конкретного.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше отримано дані щодо енергетичних потреб і структури витрат енергії малоповерховими домогосподарствами України;
2. Вперше обґрунтовані інженерно-технічні рішення по забезпеченню потреб енергії домогосподарства, відновлювальними джерелами енергії за допомогою сонячних електростанцій в умовах центральної України. Обґрунтовані системи опалення будівель відновлювальними джерелами енергії на основі сонячних колекторів та теплового насоса з вертикальним ґрунтовим колектором тепла;
3. Отримали подальший розвиток результати досліджень енергоефективних систем забезпечення мікроклімату в приміщеннях в холодний і теплий періоди року за допомогою поверхневих систем нагріву і охолодження (стельових і настінних);
4. Вперше на основі смарттехнологій отримано дані про параметри мікроклімату в житлових будівлях, що експлуатуються. Розроблена та впроваджена система проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розроблених методик та рекомендацій для раціонального проектування малоповерхових житлових будівель, спрямованих на вирішення важливої соціально-економічної проблеми – підвищення енергоефективності та комфортності житлових будівель.

Результати досліджень використано:

– при проєктуванні житлових малоповерхових будівель за адресою: м. Київ, вул. Кільцева дорога, 12; м. Дніпро, вул. Чаплинська, 247; Дніпропетровська область, Дніпровський район, селище Слобожанське, вул. Бульварна, 31; Дніпропетровська область, Царичанський р-н, вул. Горіхова, 13 та інші;

– при впровадженні смарттехнологій в житловому комплексі «Панорама» по вул. Сімферопольській, м. Дніпро;

– передано до технічного комітету ТК 302 «Енергоефективність будівель та споруд» для коригування норм проєктування;

– застосовують у навчальному процесі підготовки бакалаврів і магістрів в ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій.

Особистий внесок здобувача. За результатами роботи здобувачем опубліковані статті і тези доповідей у співавторстві з науковим керівником та з іншими науковими співробітниками. Здобувачем особисто досліджені енергетичні потреби і виявлена структура витрат енергії домогосподарствами України; обґрунтовано раціональне рішення по забезпеченню потреб енергії малоповерхових будівель за допомогою сонячних електростанцій; досліджено системи опалення будівель на основі сонячних колекторів та теплового насоса з вертикальним ґрунтовим колектором тепла; проведено дослідження системи забезпечення мікроклімату в приміщеннях в холодний і теплий періоди року за допомогою поверхневих систем нагріву і охолодження; на основі смарттехнологій отримано дані про параметри мікроклімату в малоповерхових будівлях, що експлуатуються; розроблена та впроваджена система проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання та концепції інтернету речей (IoT).

Особистий внесок здобувача полягає в наступному: [1,5,6,12,13,15,18,19] – пошук і аналіз літературних джерел; [8,16,17] – дослідження систем генерації, накопичення і трансформації сонячної енергії; [7,14,21,22] – дослідження комфортних умов і енергоефективності;

[2,3,4,9,10,11,20] – розробка системи проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання та концепції інтернету речей (IoT).

Основні результати дисертаційної роботи отримані здобувачем самостійно. Здобувач приймав безпосередню участь в обговоренні та написанні статей.

Апробація матеріалів дисертації.

Результати дисертаційної роботи доповідалися та отримали позитивні оцінки на: міжнародній науково-практичній конференції «Sustainable housing and human settlement (SHHS 2018)» (травень 2018 р.), м. Братислава, Словацький технологічний університет (Словаччина); II міжнародній науковій конференції «Ecosomfort and current issues of civil engineering» (16–18 вересня, 2020 р.), м. Львів, НУ «Львівська політехніка»; 6-й Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (м. Львів, 23–25 вересня 2020 року.); XIX міжн. наук.-практичної конф. «Інноваційні технології в будівництві, цивільній інженерії та архітектурі» (м. Чернігів, 19–22 вересня 2021 р.); V науково-практичної конференції молодих вчених «Інтелектуальна власність та просування енергоефективності в Україні: проблеми та перспективи розвитку в інформаційному суспільстві» (м. Дніпро, 12 грудня 2023 року); Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології забезпечення параметрів комфорту, енергоефективності і екологічності житлових будівель на основі смарттехнологій» (м. Дніпро, 20–21 лютого 2024 р.); Науково-практична конференція «Просування енергоефективності та підготовка фахівців для відбудови України» (м. Дніпро, 13 березня 2024 року). – Дніпро: Енерго-інноваційний хаб ПДАБА, 2024; III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво») м. Київ, 16–17 квітня 2024 року; V Міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні конструкції та інноваційні будівельні матеріали», 22–23 травня 2024 року м. Кропивницький; IV міжнародній науковій конференції «Ecosomfort and current

issues of civil engineering» (11–13 вересня, 2024 р.), м. Львів, НУ «Львівська політехніка».

Публікації. За темою дисертації опубліковано 22 наукові праці, із них 4 статті у виданнях, що входять до наукометричних баз даних Scopus та Web of Science (з квантилем Q3), 1 стаття у фахових виданнях України, 1 патент України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 136 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг роботи складає 185 сторінок, у тому числі 116 сторінок основного тексту, 60 рисунків та 22 таблиці.

РОЗДІЛ 1. НОРМУВАННЯ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМФОРТУ І ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

1.1. Загальні вимоги до житлових будівель і споруд

Питанням дослідження і нормування параметрів комфорту і енергоефективності будівель різноманітного призначення присвячені роботи українських дослідників: Фаренюка Г. Г. [1...5], Могилата О. Н. [12], Філоненко О. І. [7], Сергейчука О. В. [8...11], Савицького М. В. [13...18], Данішевського В. В. [20, 21], Плоского В. О. [19], Сухого К. М. [22], Саницького М. А. [81], Нікіфорової Т. Д. [118, 119], Шехоркіної С. Є. [130], Фаренюка Є. Г. [6], Бабенко М. М. [133], Бордун М. В. [134], Адегова О. В. [135], Перегінця І. І. [136], Тимофеева М. В. [23] та інших, а також закордонних авторів, таких як Parsons K. [24], Fanger P. [25], Kreith F. [26], Rabenseifer R. [132], Khatib H. [27], Anagnostopoulos F. [28], Angel J. [29], Artola I. [30], Bennis S. [31], Bouzarovski S. [32], González-Eguino M. [33], Halff A. [34], Jacobson M. [35], Karekezi S. [36], Milne G. [37], Politt H. [38], Telfar-Barnard L. [39], Cornelis M. [40] etc.

Житлові будівлі мають відповідати вимогам безпеки, функціональності, комфорту, екологічності та економічної доцільності. Ключовою вимогою до будівлі є її функціональне призначення, якому повинні відповідати як об'ємно-планувальні, так і конструктивні рішення. Саме функціональне призначення об'єкта визначає вимоги до рівня освітлення, температурного режиму, звукоізоляції, вентиляції, опалення, систем водо- і газопостачання, каналізації, побутового обладнання, інтернету, теле- та радіофікації, а також до оздоблення приміщень і благоустрою будівлі загалом.

Функціональність будівлі визначається: а) організацією внутрішнього простору (об'ємно-планувальна структура будівлі; планування приміщень, їх орієнтація і зонування; склад, площі, висота і пропорції приміщень); б) ресурсо- і енергозабезпеченням, інженерним обладнанням (технічний рівень

інженерних систем, їх відповідність фізіології людини; наявність інженерних систем за номенклатурою і необхідною потужністю); в) естетичністю (якість оздоблення; художня виразність і гармонія з навколишнім середовищем).

Санітарно-гігієнічні вимоги забезпечують комфорт перебування людей у житлових і виробничих приміщеннях. Вони задовольняються: а) тепловологісним режимом (температура повітря в приміщеннях, температура на внутрішній поверхні огорожень, відносна вологість повітря); б) візуальним комфортом (природне і штучне освітлення, огляд з вікон, зорова ізоляція приміщень); в) звуковим комфортом у приміщеннях (рівень шуму у приміщеннях); г) екологічною чистотою у приміщеннях (інсоляція приміщень; токсичність будівельних і оздоблювальних матеріалів; чистота повітря і повітрообмін; біологічний вплив – рівень радіації, рівень електромагнітного випромінювання, вібрація, геопатогенні зони).

Екологічність забезпечується використанням відновлюваних джерел енергії, мінімізацією відходів і викидів газів в атмосферу, ефективним використанням природних ресурсів.

Нарешті, одними з найважливіших вимог є економічність будівництва і експлуатації. Економічність на стадії будівництва визначається ефективними місцевими матеріалами, індустріальністю (заводським виготовленням), простими інженерними системами. Економічність на стадії експлуатації визначається класом енергоефективності, наявністю систем обліку і регулювання енергії, експлуатаційними витратами і вартістю послуг, вартістю енергоресурсів, вторинним використанням ресурсів, збором і утилізацією дощових вод, влаштуванням льодникових камер для кондиціонування повітря тощо.

1.2. Параметри мікроклімату житлових будівель що визначають комфортні умови для людини

Мікроклімат приміщення суттєво впливає на стан здоров'я, працездатність і рівень комфорту людей, які перебувають у цьому приміщенні.

Розрахункові параметри мікроклімату приміщень житлових будівель щодо теплового комфорту, якості повітря, освітлення та акустики визначаються згідно з [41]. Стандарт визначає вихідні параметри, необхідні для проектування будівель, а також систем опалення, вентиляції, кондиціювання та освітлення. Згідно з цим нормативом якість внутрішнього середовища нормується за чотирма рівнями (категоріями):

А (I) – найвищий рівень, рекомендований для використання в приміщеннях з перебуванням чутливих та хворобливих груп населення зі специфічними вимогами, зокрема осіб з інтелектуальними порушеннями, хворих, дітей молодшого віку та осіб похилого віку;

В (II) – нормальний рівень, рекомендований для використання в приміщеннях будинків, що будуються або реконструюються;

С (III) – допустимий рівень, рекомендований для приміщень будинків, що перебувають в експлуатації;

Д (IV) – достатній рівень, рекомендований для приміщень, що використовуються протягом обмеженого періоду часу впродовж року.

1.2.1. Оцінка теплового комфорту

Теплообмін між людиною та навколишнім середовищем усередині будівлі – це складний процес, який охоплює теплопровідність, конвекцію, випромінювання та випаровування. Розуміння цього процесу має вирішальне значення для проектування комфортного середовища в приміщенні та оптимізації енергоефективності. Детальне пояснення фізичної та математичної моделей цього теплообміну, а також відповідні формули та посилання наведені в роботі [25].

Людське тіло постійно обмінюється теплом з навколишнім середовищем, щоб підтримувати стабільну температуру тіла ($\sim 37^{\circ}\text{C}$). Основними механізмами

теплообміну є: теплопровідність – передача тепла через прямий контакт з поверхнями (наприклад, сидючи на стільці); конвекція – теплообмін між тілом і навколишнім повітрям завдяки руху повітря; випромінювання – передача тепла за допомогою електромагнітних хвиль між тілом і навколишніми поверхнями; випаровування – втрата тепла через випаровування поту зі шкіри або вологи з дихальних шляхів.

Показники теплового комфорту і якості внутрішнього повітря регламентуються відповідним міжнародним стандартом [42]. Критерій теплового середовища базуються на індексах теплового комфорту PMV–PPD (прогнозована середня оцінка – передбачений відсоток невдоволених) з передбаченням рівнів активності та теплоізоляції одягу (влітку та взимку).

Індекси теплового комфорту є важливими інструментами для кількісної оцінки та прогнозування комфорту людини в приміщеннях. Ці індекси базуються на рівнянні теплового балансу і забезпечують науковий підхід до оцінки теплового комфорту.

Прогнозована середня оцінка (PMV) – показник теплового комфорту, запропонований Р. О. Fanger у 1970-х роках [25], що використовується для прогнозування середнього рівня теплових відчуттів групи людей. Метод ґрунтується на аналізі теплового балансу організму та передбачає оцінювання за семибальною шкалою. Теплова рівновага досягається, коли теплопродукція організму дорівнює тепловтратам у навколишнє середовище:

Шкала PMV: +3 (гаряче); +2 (тепло); +1 (злегка тепло); 0 (нейтрально); –1 (злегка прохолодно); –2 (прохолодно); –3 (холодно).

PMV розраховується за допомогою рівняння теплового балансу, яке враховує шість факторів, що впливають на формування теплового комфорту:

$$PMV=f(T_{air}, T_{surf}, v, \text{ вологість, швидкість метаболізму, ізоляція одягу}),$$

де: T_{air} – температура повітря (°C або K); T_{surf} – середня температура випромінювання (°C або K); v – швидкість руху повітря (м/с); *вологість* – відносна вологість (%); *швидкість метаболізму* – метаболічне теплоутворення

(мет, 1 мет = 58,2 Вт/м²); *ізоляція одягу* – термічний опір одягу (clo, 1 clo = 0,155 м²·К/Вт).

Рівняння PMV є складним і зазвичай вирішується за допомогою програмного забезпечення або стандартизованих таблиць, наведених у [43] або [44].

Передбачений відсоток невдоволених (PPD). PPD прогнозує відсоток людей, які, ймовірно, будуть незадоволені тепловим середовищем, навіть коли PMV близький до нуля (нейтральний). Він виводиться з PMV і має експоненціальну нелінійну залежність.

PMV та PPD допомагають оцінити та покращити тепловий комфорт в офісах, будинках, школах та інших приміщеннях.

В таблиці 1.1 приведені дані з температури деяких приміщень для проєктування житлових будинків згідно з українськими нормами [45].

Таблиця 1.1 – Розрахункові результуючі температури для проєктування опалення [45]

Приміщення	Розрахункова результуюча температура приміщення, °С, у житлі для	
	здорових людей	осіб з інвалідністю та людей літнього віку
Загальна кімната, спальня, дитяча, кабінет	22 ± 2	22 ± 1
Кухня, кухня-їдальня	19,5 ± 3	19,5 ± 1,5
Ванна	25 ± 1,5	25 ± 1
Туалет	22 ± 2	22 ± 1
Суміщений санвузол	25 ± 1,5	25 ± 0,5
Вестибюль, загальний коридор, сходові клітки, передпокій квартири	19,5 ± 4	19,5 ± 3

1.2.2. Локальний температурний дискомфорт

Показники PMV та PPD характеризують рівень теплового дискомфорту, пов'язаного з відчуттям тепла або холоду організмом людини в цілому. Водночас незадоволеність температурними умовами може виникати й внаслідок небажаного охолодження або перегріву окремих частин тіла. Таке явище визначається як локальний температурний дискомфорт.

Найпоширенішою причиною місцевого дискомфорту є протяги. Дискомфорт, спричинений протягом, характеризується показником DR, який визначається як відсоток людей, незадоволених наявністю протягу. Швидкість протягу обчислюється за допомогою відповідної моделі, що враховує локальні параметри повітряного середовища, зокрема температуру повітря, середню швидкість його руху та інтенсивність турбулентності. Місцевий (локальний) дискомфорт PD також може бути зумовлений вертикальним градієнтом температури повітря, наявністю теплої або холодної підлоги, а також асиметрією радіаційного теплового випромінювання.

Доцільно забезпечувати можливість індивідуального контролю параметрів теплового середовища для кожної людини. Персональне регулювання локальної температури повітря, середньої температури радіаційного теплообміну або швидкості руху повітря дає змогу компенсувати значні відмінності в індивідуальних вимогах користувачів і, відповідно, сприяє зменшенню кількості незадоволених умовами мікроклімату.

1.2.3. Якість внутрішнього повітря та норми вентиляції

Європейські нормативні документи приділяють підвищену увагу забезпеченню якості внутрішнього повітря. Показник повітрообміну має ключове значення, оскільки достатній його рівень сприяє видаленню забруднювальних речовин, надлишкової вологи та сторонніх запахів. Водночас надмірна кратність повітрообміну зумовлює зростання енергоспоживання на нагрівання або охолодження повітря. Оптимально

підібраний повітрообмін забезпечує енергоефективність будівлі та комфортні умови перебування людей.

За європейськими нормами вентиляція житлових будинків залежать від годин зайнятості (присутності людей) та годин незайнятості. Під час відсутності людей у приміщеннях допускається зниження інтенсивності вентиляції відносно режиму, що застосовується в години зайнятості. Якість внутрішнього повітря за [41] визначається як обов'язковий рівень концентрації CO₂ чи вентиляції (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Приклади рекомендованої концентрації CO₂ вище концентрації CO₂ зовнішнього середовища і норми вентиляції для житлових будинків [41]

Категорія	Відповідна концентрація CO ₂ вище зовнішньої у ppm	Кратність повітрообміну
I	350	0,7
II	500	0,6
III	800	0,5
IV	>800	

Аналіз і зіставлення положень європейських та вітчизняних нормативних документів свідчать про те, що нормовані значення повітрообміну, передбачені європейськими стандартами, є нижчими у порівнянні з вимогами національних норм. Такий підхід дає змогу скоротити тепловтрати з вентиляційним повітрям, що видаляється з приміщень. При цьому зі зменшенням тепловтрат через огорожувальні конструкції зростає частка втрат теплоти з вентиляційним повітрям у загальному тепловому балансі будівлі.

1.2.4. Вологість

Тривале перевищення оптимального рівня вологості внутрішнього повітря може призводити до розвитку та поширення бактеріального

середовища, тоді як надто низька відносна вологість повітря (менш як 15–20 %) спричиняє сухість і подразнення органів зору та дихальних шляхів. Зазначений критерій частково визначається вимогами до теплового комфорту та якості внутрішнього повітря, а частково – фізико-технічними характеристиками будівлі, зокрема ризиком утворення конденсату та плісняви. Рекомендовані розрахункові значення вологості повітря, що застосовуються для визначення продуктивності систем зволоження й осушення, наведено в таблиці 1.3.

Узагальнені дані про параметри мікроклімату в житлових будівлях, що забезпечують комфортні умови в скороченому вигляді наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.3 – Рекомендовані розрахункові показники вологості повітря в зоні перебування людей за умови використання систем зволоження й осушення

Тип будівлі/приміщення	Категорія	Розрахункова відносна вологість % для:	
		осушування	зволоження
Приміщення, де показник зволоження встановлюється мешканцями	I	50	30
	II	60	25
	III	70	20
	IV	>70	<20

Таблиця 1.4 – Комфорт проживання та продуктивність роботи

№ п/п	Параметр	Одиниця виміру	Значення	Нормативний документ
1	Рівень денного освітлення	Люкс	Залежно від роботи	[46, 52]
2	Температура у період опалення	°C	>20	[47]
	охолодження	°C	<26,5	[47]
3	Вологість	%	40–60	[47]
	Швидкість руху повітря	м/с	<0,6	[47]

Продовження таблиці 1.4

№ п/п	Параметр	Одиниця виміру	Значення	Нормативний документ
4	Рівень CO ₂	ppm	<900	[47]
	Повітря	м³/люд	>45	[47]
5	Акустичні параметри		Локальні ДБн	[48, 53]

1.3. Споживання енергії в домогосподарствах в країнах ЄС та Україні.

Енергоефективність житлових будівель

При досягненні глобальних Цілей сталого розвитку (ЦСР), передбачається забезпечення доступу до доступної, надійної, стійкої та сучасної енергії (Goal 7: Affordable and Clean Energy). Для моніторингу прогресу в напрямку досягнення ЦСР в державах ЄС Європейська Комісія висвітлює результати статистичних досліджень Eurostat щодо реалізації Цілі 7: Доступна та чиста енергія [49].

Значний обсяг споживання енергії припадає на домогосподарства, частка яких в кінцевому споживанні енергії оцінюється близько чверті. Статистичні дані річного споживання енергії в домогосподарствах в країнах ЄС та Україні (2018 рік) за даними [50] наведені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Споживання енергії в домогосподарствах в країнах ЄС та Україні (2018 рік) [50]

№ з/п	Країна	Кінцеве споживання енергії на душу населення		Частка населення без змоги зберігати будинок достатньо теплим, %	Частка відновлюваної енергії у кінцевому споживанні енергії, %
		*кг н.е.	кВт·год		
1	Бельгія	709	8245	5,2	8,1
2	Болгарія	317	3686	33,7	33,6

Продовження таблиці 1.5

№ п/п	Країна	Кінцеве споживання енергії на душу населення		Частка населення без змоги зберігати будинки достатньо теплим, %	Частка відновлюваної енергії у кінцевому споживанні енергії, %
		* кг н.е.	кВт·год		
3	Чехія	663	7710	2,7	28,9
4	Данія	790	9188	3,0	27,0
5	Німеччина	667	7757	2,7	13,7
6	Естонія	712	8280	2,3	41,9
7	Ірландія	571	6640	4,4	2,5
8	Греція	365	4245	22,7	26,8
9	Іспанія	321	3733	9,1	19,7
10	Франція	583	6780	5,0	22,4
11	Хорватія	562	6536	7,7	46,3
12	Італія	531	6176	14,1	20,3
13	Кіпр	388	4512	21,9	28,3
14	Латвія	639	7432	7,5	43,6
15	Литва	533	6199	27,9	32,3
16	Люксембург	828	9630	2,1	6,4
17	Угорщина	595	6920	6,1	23,6
18	Мальта	193	2245	7,6	14,2
19	Нідерланди	560	6513	2,2	5,1
20	Австрія	734	8536	1,6	29,4
21	Польща	508	5908	5,1	13,9
22	Португалія	284	3303	19,4	37,3
23	Румунія	399	4640	9,6	38,9
24	Словенія	514	5978	3,3	43,7
25	Словаччина	378	4396	4,8	2,2
26	Фінляндія	1032	12002	1,7	31,1

Продовження таблиці 1.5

№ з/п	Країна	Кінцеве споживання енергії на душу населення		Частка населення без змоги зберігати будинок достатньо теплим, %	Частка відновлюваної енергії у кінцевому споживанні енергії, %
		*кг н.е.	кВт·год		
27	Швеція	736	8560	2,3	10,9
28	Велика Британія	574	6676	5,4	5,3
29	Україна	382	4443	21,8	11,3

Примітка: *Тонна нафтового еквівалента дорівнює 11630 кВт·год [51]

Результати аналізу статистичних даних свідчать про відмінності у рівнях кінцевого енергоспоживання домогосподарств, частці населення, що не може підтримувати належну температуру в житлі, та частці відновлюваної енергії у валовому кінцевому енергоспоживанні домогосподарств.

Україна належить до країн з низьким рівнем кінцевого споживання енергії домогосподарствами, водночас із високою часткою населення, що не має змоги утримувати будинок належним чином теплим.

Частка енергоспоживання будівель досягає 40 % світового попиту на енергію, а пов'язані з їх експлуатацією викиди парникових газів становлять близько 35 % загального обсягу. Водночас житлово-комунальний сектор характеризується значними енергетичними втратами через недостатньо ефективне управління енергоспоживанням [54].

Підвищення енергоефективності по всьому енергетичному ланцюгу, від виробництва енергії до її розподілу та використання, є пріоритетним напрямом для Європейського Союзу. Рациональне використання енергії розглядається як ключовий аспект зменшення шкоди навколишньому середовищу, скорочення викидів парникових газів, підвищення енергетичної безпеки та зниження витрат на оплату комунальних послуг для домогосподарств.

У 2023 році Європарламент прийняв оновлену директиву з енергоефективності [55], яка передбачає обов'язкове скорочення споживання енергії в ЄС на 11,7 % до 2030 року (у порівнянні з 2020 роком). Для досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року згідно з директивою з 2028 року всі нові будівлі повинні мати нульовий рівень викидів, а наявні будівлі повинні відповідати мінімальним стандартам енергоефективності. Класифікація будівель в Європі за енергоефективністю наведена в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Класифікація будівель за енергоефективністю у Європі [56]

Період будівництва	Тип будівлі	Питоме енергоспоживання, кВт·год/(м ² ·рік)	Примітки
До 1970	Старі будівлі	300	
1970–2002	Нові будівлі	150	
з 2002	Будівля низького споживання енергії	60	з 2002 року не можна будувати нові будівлі за нижчим стандартом
з 2019	Пасивна будівля	15	з 2019 року в Європі не можна будувати будівлі за нижчим стандартом, ніж пасивна будівля [57, 58]
	Будівля нульової енергії	0	будівля, що зовсім не потребує додаткової (крім тієї, що сама виробляє) енергії на опалення
	Будівля плюсової енергії	виробляє більше енергії, ніж сама потребує	виробляє за допомогою встановлених на ній сонячних батарей, колекторів, рекуператорів тощо більше енергії, ніж сама потребує

Пасивний будинок (нім. Passivhaus, англ. passive house) – це стандарт енергоефективного будівництва, що забезпечує комфортні умови проживання, вирізняється економічністю та характеризується мінімальним негативним впливом на навколишнє середовище.

Будинок з нульовим енергоспоживанням, або будинок нуль енергії (Zero-energy building), – це об'єкт із високим рівнем енергоефективності, який здатний безпосередньо на місці генерувати енергію з відновлюваних джерел у кількості, еквівалентній його річному споживанню. У випадку, коли обсяги виробленої енергії є меншими за потреби споживання, така будівля класифікується як будинок із майже нульовим енергоспоживанням (nZEB – near zero-energy building). Зазначена концепція набула широкого поширення в країнах Європи [59]. Будівлі з нульовим енергоспоживанням не використовують викопні види палива та повністю забезпечують свої енергетичні потреби завдяки відновлюваним джерелам енергії.

На практиці поняття «будинок нуль енергії» має кілька інтерпретацій:

- Будівлі з нульовим чистим енергоспоживанням із зовнішніх мереж (zero net energy buildings), які протягом року передають до енергосистеми обсяг енергії, еквівалентний кількості, отриманій з цих мереж;
- Будівлі з нульовими викидами вуглецю (zero carbon buildings), які не застосовують енергію, пов'язану з утворенням викидів CO₂, або протягом року компенсують споживання викопного палива завдяки власному виробництву достатнього обсягу енергії без вуглецевих викидів;
- Окремо розташовані будівлі з нульовим енергоспоживанням із зовнішніх мереж (zero stand-alone buildings), які не потребують підключення до інженерних мереж, за винятком резервних. Такі об'єкти мають можливість накопичувати енергію для її використання в нічний час або в зимовий період;
- Будівлі з позитивним енергетичним балансом, або активні будинки (active house, energy plus house), які передають до систем енергопостачання більший обсяг енергії, ніж споживають. У річному балансі

такі об'єкти характеризуються перевищенням обсягів виробленої енергії над її споживанням.

Вимоги нормативних документів Європейського Союзу щодо енергетичних показників житлових будівель наведені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Енергія

№ п/п	Параметр	Одиниця виміру	Значення	Нормативний документ
1.	Споживання кінцевої енергії на всі потреби (опалення, охолодження, гаряча вода, електрика, вентиляція)	кВт·год/(м ² ·рік)	< 60	[55, 60, 61]
2.	Надходження за рахунок відновлюваних джерел	%	> 50	[62]
3.	Витрата первинної енергії	кВт·год/(м ² ·рік)	< 100	[63]

Високих показників енергоефективності можливо досягти насамперед завдяки високим показникам теплоізоляції будівель, рекуперації повітря, що вентилується, енергоефективному інженерному обладнанню, використанню джерел відновлюваної енергії.

1.4. Інженерні системи для забезпечення енергопостачання і опалення

Питання енергоефективності повинно розглядати всі етапи життєвого циклу енергетичного ресурсу – виробництво, постачання, зберігання, використання.

Для забезпечення енергопостачання житлових будівель широко використовуються *фотоелектричні системи* – технології, які перетворюють сонячну енергію на електричну за допомогою сонячних панелей, зменшуючи залежність від традиційних джерел енергії та сприяючи екологічній стабільності. Фотоелектричні системи є перспективним рішенням для

забезпечення енергією будівель, особливо в умовах зростання цін на традиційні енергоносії та збільшення уваги до екологічних проблем. Переваги фотоелектричних систем для житлових будівель: 1. Енергетична незалежність: зменшення залежності від централізованих електромереж; 2. Екологічність: зниження викидів CO₂ та інших забруднювачів; 3. Економія на рахунках за електроенергію: надлишкову енергію можна продавати в мережу (за умови підключення до «зеленого» тарифу); 4. Довговічність: сучасні сонячні панелі мають термін служби 25–30 років.

Ефективність сонячних панелей значною мірою залежить від їх орієнтації по сторонах світу та кута нахилу відносно горизонтальної площини. Ці параметри впливають на кількість сонячної енергії, яку можуть отримати панелі [64, 65] і вимагають дослідження для умов України.

Системи опалення поділяються на два основні типи: конвекційні та радіаційні (випромінювальні). Кожен з цих типів має свої переваги та недоліки, які важливо враховувати при виборі системи для конкретного приміщення [66, 67].

Конвекційні системи опалення. Конвекційні системи опалення працюють за рахунок нагрівання повітря, яке потім розподіляється по приміщенню. Нагріте повітря піднімається вгору, а холодне опускається вниз, створюючи циркуляцію (конвекційний потік). Приклади: радіатори водяного опалення, конвектори, теплові завіси, системи повітряного опалення (наприклад, фанкойли).

Переваги: 1. Швидкий нагрів приміщення: Конвекційні системи швидко підіймають температуру повітря; 2. Рівномірний розподіл тепла: Внаслідок циркуляції повітря тепло розподіляється по всьому приміщенню; 3. Простота монтажу: Радіатори та конвектори легко встановлюються в будь-яких приміщеннях; 4. Сумісність з різними джерелами тепла: Можуть працювати від котлів, теплових насосів або електрики.

Недоліки: 1. Циркуляція пилу: Конвекційний потік піднімає пил, що може бути проблемою для людей з алергіями; 2. Сухість повітря: Нагрівання

повітря може знижувати вологість у приміщенні; 3. Неоднорідність температури: Тепле повітря збирається під стелею, а холодне – біля підлоги; 4. Залежність від якості повітря: Якщо приміщення недостатньо утеплене, можливі втрати тепла.

Радіаційні (випромінювальні) системи опалення. Радіаційні системи опалення передають тепло через інфрачервоне випромінювання, яке нагріває поверхні (стіни, підлогу, меблі) та людей, а не повітря. Нагріті поверхні потім віддають тепло в приміщення. Приклади: інфрачервоні обігрівачі, теплі підлоги (водяні або електричні), панельні радіатори.

Переваги: 1. Комфортне тепло: Випромінювальне тепло сприймається як більш природне та комфортне, оскільки воно нагріває тіло безпосередньо; 2. Відсутність циркуляції пилу: Оскільки повітря не нагрівається безпосередньо, пил не піднімається; 3. Енергоефективність: Радіаційні системи можуть бути ефективнішими у великих приміщеннях або приміщеннях з високими стелями; 4. Рівномірний розподіл температури: Тепло розподіляється більш рівномірно, ніж у конвекційних системах.

Недоліки: 1. Повільний нагрів: Радіаційні системи потребують більше часу для нагріву приміщення; 2. Складність монтажу: Наприклад, теплі підлоги вимагають значних робіт під час встановлення; 3. Обмеженість застосування: Не всі приміщення підходять для встановлення радіаційних систем (наприклад, приміщення з високими стелями); 4. Висока початкова вартість: Встановлення радіаційних систем може бути дорожчим у порівнянні з конвекційними.

Потребують подальшого дослідження ефективність систем нагріву і охолодження приміщень житлових будівель для створення комфортних умов життєзабезпечення.

1.5. Системи контролю та оптимізації енергоспоживання – смарттехнології

Зниження витрат на забезпечення будівель енергетичними ресурсами можливо досягти шляхом застосування спеціальних інженерно-технічних рішень для контролю та оптимізації енергоспоживання. Одним із них є розробка систем енергоефективного управління будівлями з використанням «розумних» або смарттехнологій та концепції Інтернету речей (IoT). Замість звичного пасивного користування стає можливим перехід до проактивного менеджменту ресурсів, який передбачає відстеження витрат енергії у режимі реального часу та завчасне визначення можливостей оптимізації роботи обладнання та приладів. Темі розробки та впровадженню систем енергетичного менеджменту для будівель різного призначення присвячена велика кількість публікацій.

У статті [68] автори пропонують вебдодаток з можливістю віддаленого доступу для управління електричним обладнанням. Система моніторингу, інтегрована з інтелектуальною панеллю управління, для безперервного контролю використання електроенергії, автоматичної фіксації навантаження в електричній мережі та запису даних про споживання представлена в роботі [69]. Недоліком даної системи є урахування лише одного енергоресурсу.

В статті [70] представлено результати розробки технічної документації та програмного продукту для системи енергоменеджменту будівлі. Проте автори наводять лише теоретичні положення щодо загальної структури та функціоналу програмного продукту. В роботі [71] представлена архітектура моделі енергоменеджменту на основі повного диспетчерського контролю та збору даних (SCADA). Отримане рішення було апробоване в лабораторних умовах. Для підтвердження отриманих результатів на практиці необхідне масштабування експериментальної моделі та її тестування в умовах реальної будівлі.

Інноваційна загальна структура управління енергетичними ресурсами в спільноті гнучких розумних будівель за наявності місцевих джерел відновлюваної енергії представлена авторами [72]. Недоліком роботи є відсутність практичного впровадження. В публікації [73] розглянута система

енергетичного менеджменту будівель, з урахуванням енергетичних, екологічних, соціальних та фінансових обмежень, спрямована на підвищення енергоефективності, якості внутрішнього середовища та зменшення впливу будівель на навколишнє середовище.

Одним із трендів в галузі оптимізації енергозбереження є розробка експертних аналітичних інструментів, які будуть включені в комерційні платформи. Зокрема в статті [74] автори досліджують доцільність застосування нових інтелектуальних методів керування при моделюванні та керуванні експлуатаційними характеристиками будівлі з використанням теорій нечіткої логіки. Автори [75] пропонують комплексний алгоритм на основі нечіткої логіки для оптимізації роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування та прогнозування майбутнього обслуговування основного обладнання будівлі. Алгоритм інтелектуального прогнозування було апробовано на прикладі реальної будівлі, що дало змогу виявити його обмеження.

Ціла низка наукових досліджень [76...80] присвячена більш чутливим, так званим, проактивним схемам енергоменеджменту. Метою є розробка систем управління енергією, які здатні приймати стратегічні рішення, з урахуванням прогнозування, планування та контролю в режимі реального часу.

Проведений аналіз чинних розробок в галузі управління енергоспоживанням будівель показав, що не дивлячись на велику кількість робіт, багато з них обмежуються теоретичними аспектами або спрямовані на моніторинг та управління одним енергетичним ресурсом (як правило, електроенергією). Таким чином, існує потреба в подальшому розвитку технічних рішень систем енергоменеджменту будівель з використанням інтелектуальних технологій та обладнання, які б одночасно відповідали критерію проактивності та враховували потреби безпосередніх споживачів. Виходячи з вищенаведеного, дослідження в галузі сучасних систем управління енергоспоживанням будівель житлового фонду з використанням

смарттехнологій є актуальними, сформульована блок-схема досліджень (рис. 1.1).

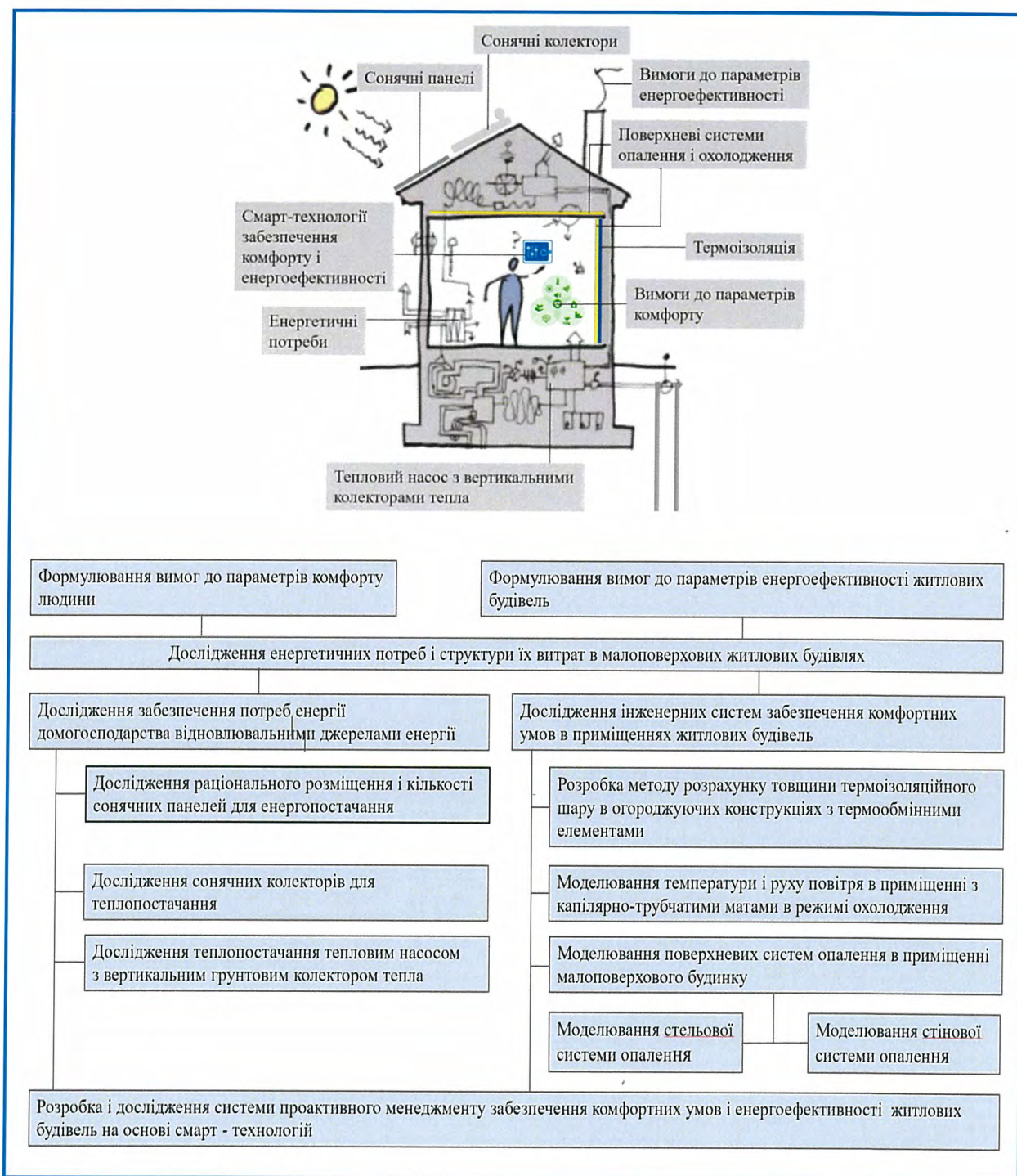


Рисунок 1.1 – Блок-схема досліджень

1.6. Висновки до розділу 1

1. Концепція сталого розвитку передбачає створення комфортних умов життєдіяльності людей нинішнього і прийдешніх поколінь без завдання шкоди навколишньому середовищу. Це забезпечується впровадженням насамперед енергоефективних смарттехнологій за оптимальних витрат матеріальних і фінансових ресурсів. Тому дослідження, які спрямовані на забезпечення параметрів комфорту і енергоефективності на основі смарттехнологій, є актуальними і важливими для економіки України.

2. Проведені узагальнення нормативних вимог (ЄС і України) до параметрів мікроклімату житлових будівель, що визначають комфортні умови для людини: теплового середовища, оцінок теплового комфорту, локального температурного дискомфорту, категорій теплових середовищ, якості внутрішнього повітря та норм вентиляції, вологості. Для забезпечення параметрів комфорту необхідні подальші дослідження як теоретичні, так натурні дослідження параметрів комфорту в існуючих будівлях в умовах України.

3. Наведено статистичні дані про споживання енергії в країнах ЄС та Україні. Результати аналізу статистичних даних показують різні рівні кінцевого споживання енергії домогосподарствами, часткою відновлюваної енергії у валовому кінцевому споживанні енергії домогосподарствами. Необхідно провести моделювання і натурні дослідження щодо споживання енергії в домогосподарствах України для обґрунтування раціонального енергозабезпечення.

4. Приведені нормативні вимоги до показників енергоефективності житлових будівель, а також європейського досвіду спорудження будівель з високими показниками енергоефективності. Досліджень фактичного споживання енергоресурсів житловими будівлями в умовах України недостатньо.

5. Необхідною компонентою енергоефективних будівель є використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної. Раціональність використання фотовольтаїки, її розміщення за сторонами світу і нахилу,

необхідної потужності для покриття побутового електроспоживання в умовах України потребує вивчення.

6. Системи опалення будівель поділяються на два основні типи: конвекційні та радіаційні (випромінювальні). Кожен з цих типів має свої переваги та недоліки, які важливо дослідити і враховувати при виборі системи для конкретного приміщення для забезпечення параметрів комфорту і енергоефективності.

7. Зниження витрат на забезпечення будівель енергетичними ресурсами можна досягти шляхом застосування спеціальних інженерно-технічних рішень для контролю та оптимізації енергоспоживання при забезпеченні параметрів комфорту. Одним із них є розробка систем енергоефективного управління будівлями з використанням «розумних» або смарттехнологій та концепції Інтернету речей (IoT). Існує потреба в подальшому розвитку технічних рішень систем енергоменеджменту будівель з використанням інтелектуальних технологій та обладнання.

З урахуванням стану досліджень сформульована мета дослідження і задачі дослідження, що наведені у розділі «Вступ».

1.7. Список використаних джерел у розділі 1

У розділі 1 використані [1...81, 118, 119, 133...136] літературні джерела. Їх найменування наведені в загальному списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 2. ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОТРЕБИ І СТРУКТУРА ЇХ ВИТРАТ В МАЛОПОВЕРХОВИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЛЯХ

2.1. Розрахунок електроспоживання домогосподарством на побутові потреби

Для нормального функціонування будинку і забезпечення комфортних умов життєдіяльності людей, які проживають у ньому, необхідно витратити електричну енергію на виконання різноманітних функцій. Розрахунок електроспоживання домогосподарства на побутові потреби включає визначення енергії, яку споживають побутові прилади, освітлення та інші електропристрої і відбувається за наступною послідовністю:

1. Визначення споживачів електроенергії. Спочатку необхідно скласти перелік усіх електроприладів у домогосподарстві, їх потужність та час роботи. Основні категорії: освітлення; побутова техніка (холодильник, пральна машина, телевізор, електроінструменти тощо); електронні пристрої (комп'ютери, зарядні пристрої); опалення/кондиціонування (якщо вони електричні).

2. Енергія, яку споживає кожен прилад, розраховується за формулою:

$$E_i = P_i t_i, \quad (2.1)$$

де: E_i – енергія, спожита i -м приладом (Вт·год або кВт·год); P_i – потужність i -го приладу (Вт або кВт); t_i – час роботи i -го приладу за період (год).

3. Загальне споживання електроенергії домогосподарством розраховується як сума споживання всіх приладів:

$$E_{tot} = \sum E_i. \quad (2.2)$$

4. Врахування втрат. Для більш точного розрахунку враховуються втрати енергії в мережі та на інверторах (якщо використовуються). Зазвичай втрати становлять 5–10 %.

Для визначення споживання електричної енергії середньостатистичним домогосподарством виконано моделювання енергоспоживання будинку садибного типу, житловою площею 150 м² зі стандартним набором побутових приладів і обладнання, а саме: основні регулярні споживачі: 1 – холодильник, 2 – телевізор, 3 – інвертор, 4 – контролер заряду, 5 – ноутбук, 6 – насос холодної води, 7 – електрочайник, 8 – рекуператор повітря, 9 – лампи освітлення; допоміжні регулярні споживачі: 10 – електродуховка, 11 – пральна машина, 12 – праска, 13 – пилосос, 14 – витяжка кухонна; нерегулярні споживачі: 15 – кутова шліфувальна машина («болгарка»), 16 – електродріль, 17 – зварювальний апарат, 18 – дробарка рослин, 19 – газонокосарка, 20 – насос теплиці. Будинок має газопостачання для опалення і приготування гарячої води.

На основі статистичних даних, досвіду інших фахівців виконано аналіз використання кожного споживача енергії протягом кожного місяця року з урахуванням тривалості його роботи і потужності, яка при цьому витрачається. Результати розрахунку і виконаного аналізу наведено в таблицях 2.1–2.4.

За результатами розрахунку середнє місячне споживання електроенергії середньостатистичним домогосподарством на побутові потреби (таблиця 2.4) складає:

$$2599,1/12 = 217 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Таблиця 2.1 – Середнє споживання електроенергії основними регулярними споживачами, кВт·год

Прилад	Потужність, Вт	Місяць року												Всього за рік
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	250	23,2	21,0	31,0	37,0	38,8	45,0	46,5	46,5	37,5	38,8	22,5	19,4	407,2
2	60	9,3	8,4	7,4	5,4	5,6	5,4	5,6	5,6	7,2	7,4	9,0	11,2	76,3
3	20	14,8	13,4	14,9	14,4	14,9	14,4	14,9	14,9	14,4	14,9	14,4	14,9	175,2
4	5	3,7	3,4	3,7	3,6	3,7	3,6	3,7	3,7	3,6	3,7	3,6	3,7	43,7
5	30	2,8	2,5	1,9	1,4	1,4	1,8	1,9	1,9	1,8	2,8	2,7	2,8	25,7
6	800	24,8	22,4	24,8	28,8	37,2	60,0	62,0	62,0	48,0	37,2	24,0	24,8	456,0
7	2500	46,5	42,0	46,5	45,0	31,0	22,5	15,5	15,5	22,5	31,0	45,0	42,6	405,6
8	150	9,3	8,4	9,3	9,0	14,0	18,0	18,6	18,6	13,5	11,6	9,0	7,0	146,3
9	1×20	1,2	1,1	0,9	0,9	0,6	—	—	—	0,6	0,9	1,2	1,9	9,3
	1×20	3,7	3,4	3,1	2,7	0,8	—	—	—	0,6	0,9	1,2	1,9	18,3
	2×20	9,9	9,0	8,7	7,2	5,0	2,4	2,5	2,5	2,4	5,0	7,2	9,9	71,7
	4×20	14,9	13,4	14,9	12,0	7,4	4,8	4,8	5,0	4,8	9,9	14,4	19,8	126,1
Разом		164,3	148,4	167,1	172,8	160,3	177,9	176,1	176,1	156,9	164,1	154,8	159,8	1978,6

Примітка: 1 – холодильник, 2 – телевизор, 3 – інвертор, 4 – контролер заряду, 5 – ноутбук, 6 – насос холодної води, 7 – електрочайник, 8 – рекуператор повітря, 9 – лампи освітлення.

Таблиця 2.2 – Середнє споживання електроенергії допоміжними регулярними споживачами, кВт·год

Прилад	Потужність, Вт	Місяць року												Всього за рік
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
10	2000	10,0	12,0	12,0	8,0	8,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	12,0	12,0	124,0
11	1500	4,5	6,0	6,0	6,0	7,5	9,0	9,0	9,0	7,5	6,0	6,0	6,0	82,5
12	1500	9,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	9,0	9,0	9,0	132,0
13	1800	3,6	5,4	5,4	5,4	7,2	9,0	9,0	9,0	7,2	5,4	3,6	3,6	73,8
14	50	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	9,5
Разом		27,9	36,2	36,1	32,2	35,5	40,8	40,8	40,8	37,4	31,1	31,4	31,4	421,6

Примітка: 10 – електродуховка, 11 – пральна машина, 12 – праска, 13 – пиросос, 14 – витяжка кухонна.

2.2. Енергоспоживання домогосподарством в м. Дніпрі

Для визначення енергоспоживання домогосподарством проводилися дослідження в умовах міста Дніпра. Будівля розташована у м. Дніпрі, вул. Коцюбинського, буд. 8.

2.2.1. Архітектурно-конструктивна характеристика будівлі

Загальна частина. Робочий проєкт будинку по вул. Коцюбинського, буд. 8 розроблений для експериментального будівництва (пілотного проєкту) з метою відпрацювання архітектурно-конструктивно-технологічної системи будівництва із малорозмірних елементів, розробленої у Придніпровській державній академії будівництва та архітектури. Загальний вигляд будинку наведено на рис. 2.1, фасади – на рис. 2.2.



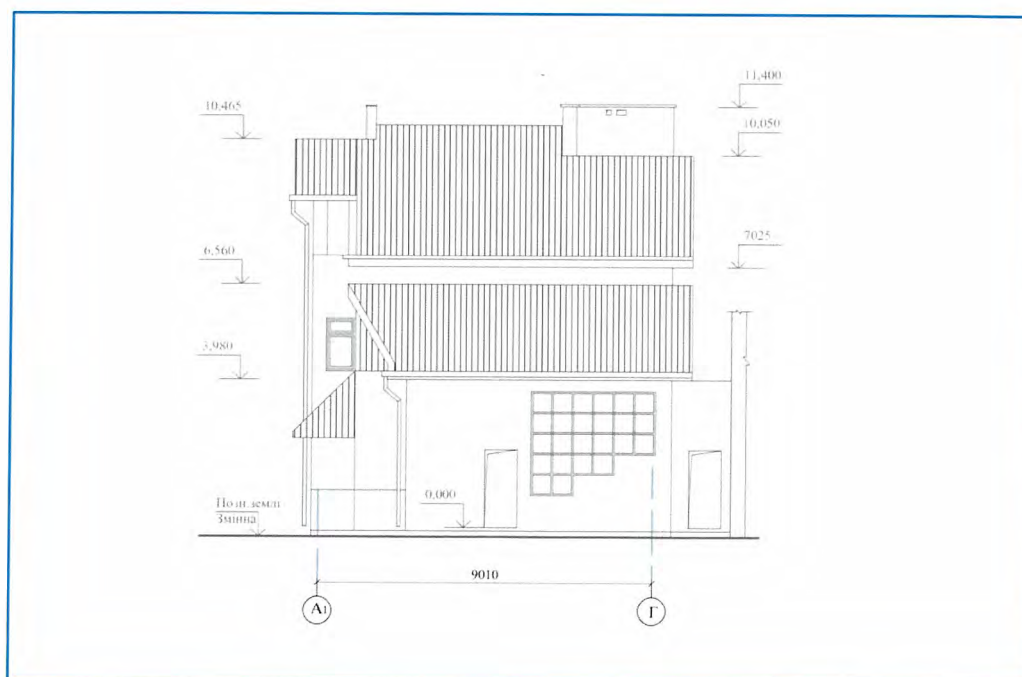
Рисунок 2.1 – Будинок: а) в процесі будівництва; б) загальний вигляд, 2024 р.

Технічна характеристика. Проєкт був розроблений для використання в умовах м. Дніпро з врахуванням чинних на 1999 рік норм опору теплопередачі огорожувальних конструкцій.

У проєкті передбачалося обладнання будинку системами опалення, природної вентиляції, газифікації, водопроводу, каналізації, електротехнічними пристроями.



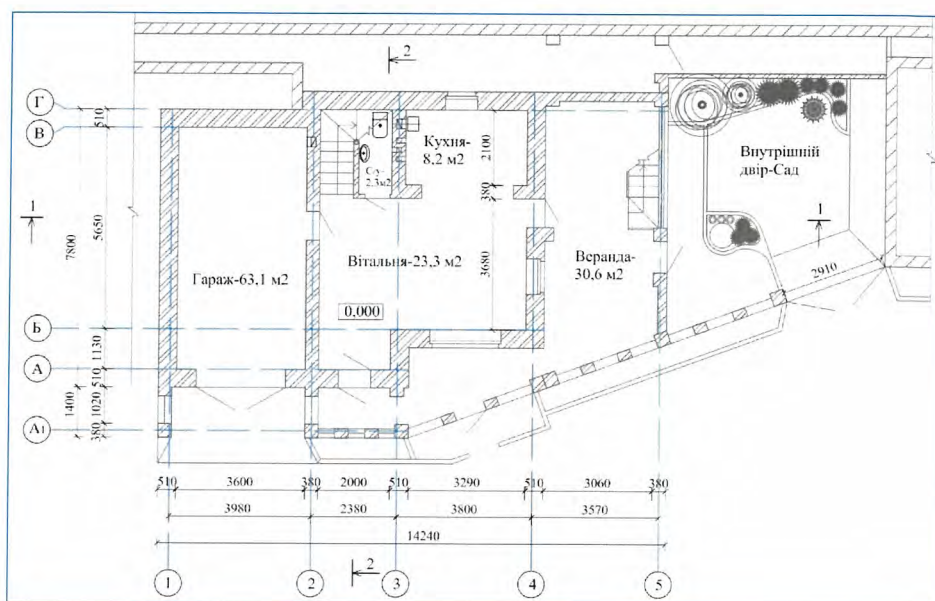
а)



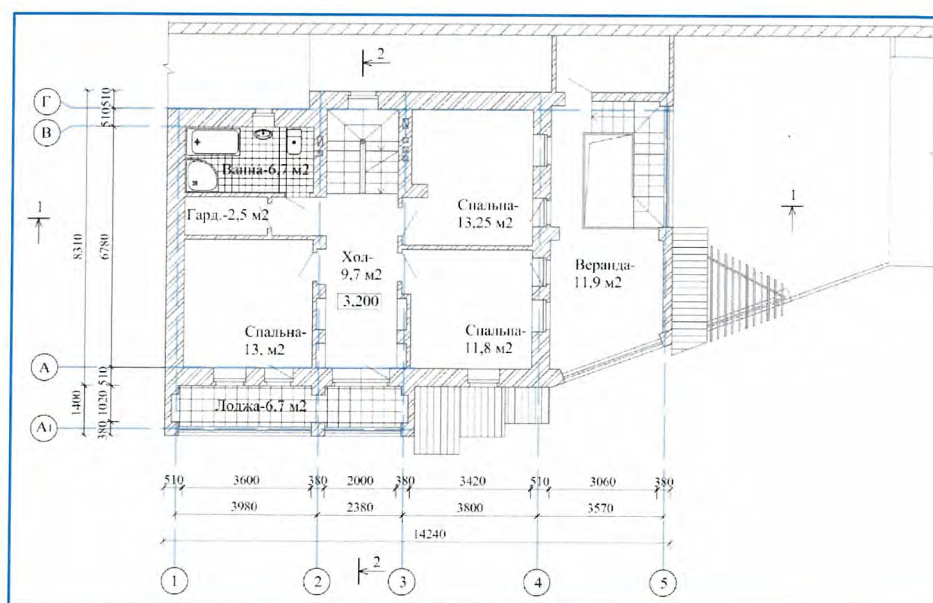
б)

Рисунок 2.2 – Фасади будинку: а) східний; б) північний

Архітектурно-планувальне рішення. Будинок – двоповерховий з мансардним поверхом. На першому поверсі розташовані загальна кімната-студія, кухня, туалет, гараж. На другому поверсі – три спальні, ванна, комора, хол (рис. 2.3). На мансардному поверсі – загальна кімната (рис. 2.4). Площа забудови – 121 м²; житлова площа – 133,4 м²; загальна площа – 238,4 м², у тому числі гаража – 24,4 м²; опалювальна площа – 160,2 м².



а)



б)

Рисунок 2.3 – Плани поверхів: а) першого; б) другого

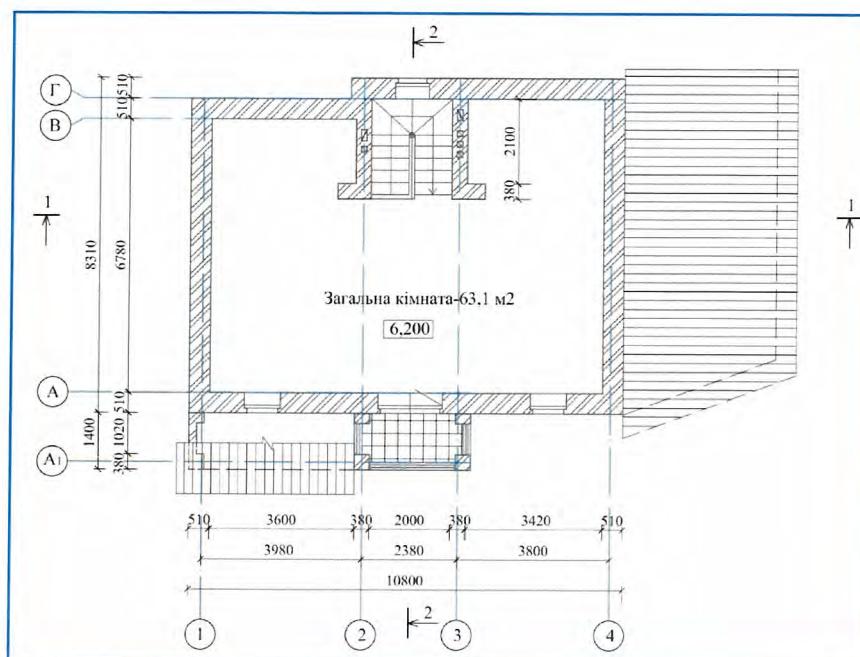


Рисунок 2.4 – План мансардного поверху

Зовнішнє оздоблення будинку. Зовнішня поверхня стін виконана із силікатної цегли з ретельним підбором лицьової поверхні і розшивкою швів (шви западаючі). Поверхня стін першого поверху з південної сторони (гараж) оштукатурюється. Віконні блоки фарбуються емалевою коричневою фарбою.

Внутрішнє оздоблення будинку. Внутрішні поверхні стін оштукатурюються і фарбуються, стеля виконується з підшивкою гіпсокартонними листами. Опалювальні прилади і труби фарбуються емалевою білою фарбою за два рази. У кухні та санвузлах виконується облицювання глазурованою керамічною плиткою. Підлоги в загальній кімнаті першого поверху і санвузлах – із керамічної плитки, в решті приміщень – лінолеум. Віконні плетіння, дверні коробки і полотна фарбуються емалевою фарбою за два рази.

Конструктивні рішення. Житловий будинок запроєктований з подовжніми і поперечними несучими стінами (рис. 2.5, рис. 2.6). Просторова жорсткість будинку забезпечується спільною роботою стін і перекриттів, які розглядаються як жорсткі незмінні диски. Зв'язок стін і перекриттів здійснюється шляхом влаштування анкерних зв'язків.

Фундаменти. Фундаменти запроектовані стрічкові монолітні.

Стіни. Зовнішні стіни виконуються тришаровими. Несучий внутрішній шар – із рядових порожнистих бетонних блоків СБ-ПР розмірами 390×190×188 мм за ДСТУ Б В.2.7-7-94 (Вироби бетонні стінові дрібноштучні. Технічні умови) із бетону класу В5 об'ємною масою 1600 кг/м³ на розчині М50; утеплювач – із пінобетону об'ємною масою 400 кг/м³; лицьова цегла – силікатна, класу В10, об'ємною масою 1800 кг/м³ на розчині М50. Перев'язка горизонтальними рядами через 400 мм. Проектна марка цегли і стінових блоків за морозостійкістю – F50.

У 2015 році будівля була термомодернізована шляхом облаштування на зовнішніх стінах термоізоляції з мінералізованих плит товщиною 100 мм, виконаної по дерев'яній обрешітці з обшивкою металевими профільними листами.

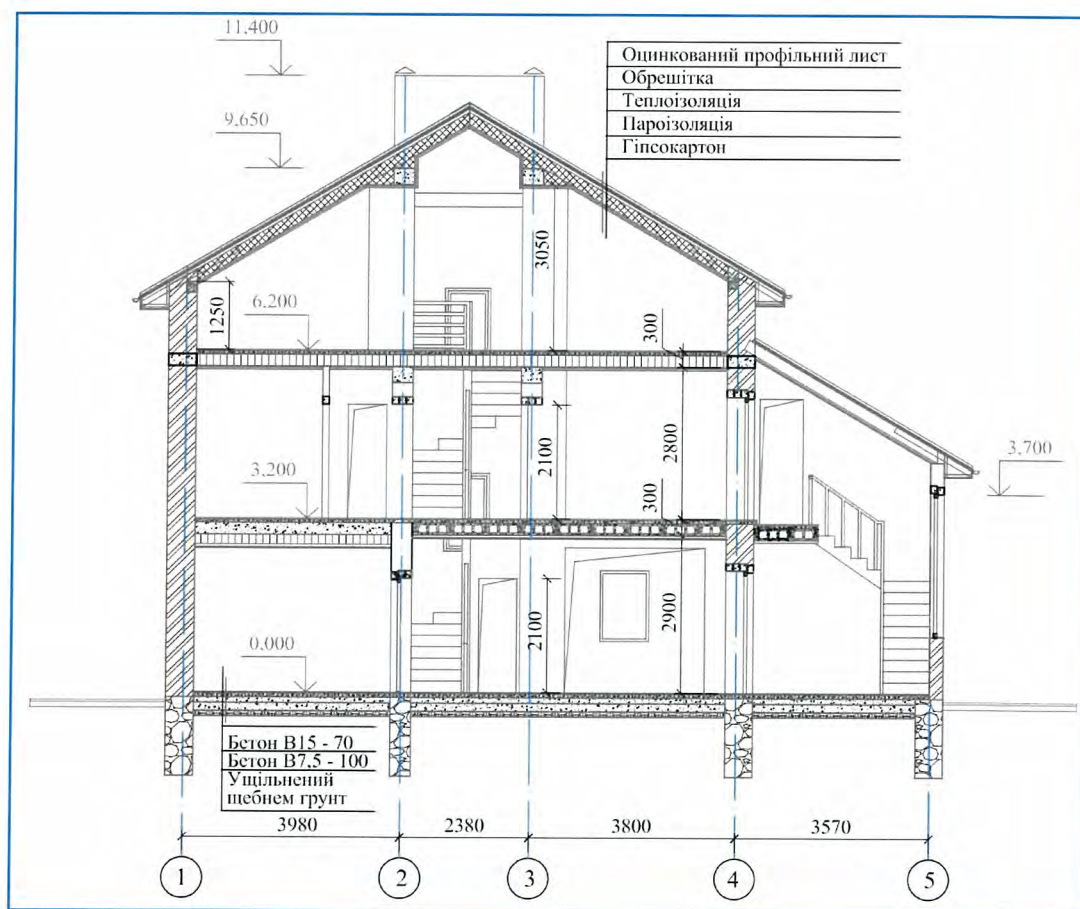


Рисунок 2.5 – Поздовжній розріз будинку

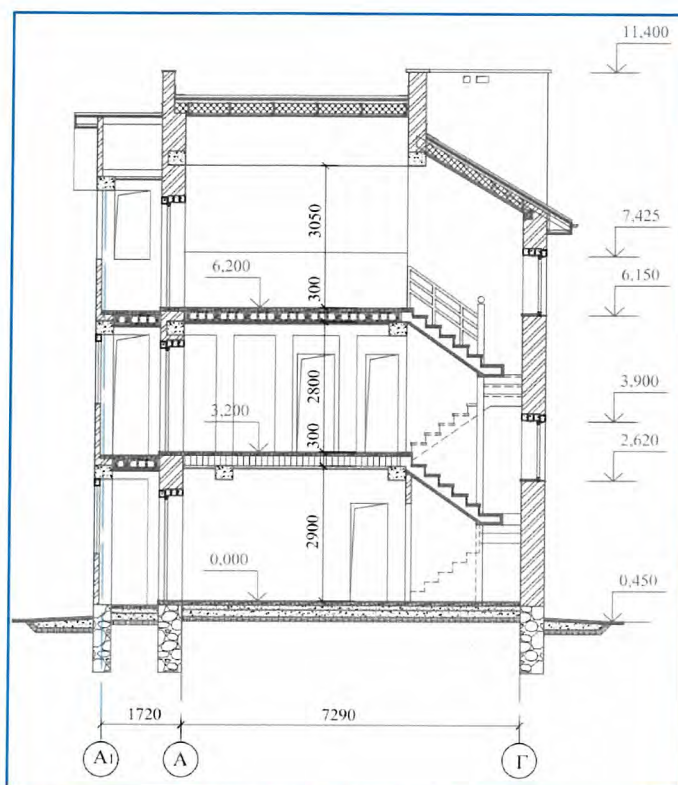


Рисунок 2.6 – Поперечний розріз будинку

Внутрішні несучі стіни виконуються із рядових порожнистих бетонних блоків СБ-ПР, розмірами 390×190×188 мм за ДСТУ Б В.2.7-7-94 (Вироби бетонні стінові дрібноштучні. Технічні умови) із бетону класу В5 об'ємною масою 1600 кг/м³ на розчині М50. На рівні перекриттів передбачені монолітні залізобетонні пояси.

Перемички. У зовнішніх і внутрішніх стінах над дверними і віконними прорізами прийняті збірні залізобетонні перемички. Фасадні ділянки прорізів перекриваються металевими кутниками, оздобленими лицьовою цеглою.

Перекриття. Перекриття прийняті зі збірних і збірно-монолітних малорозмірних елементів – залізобетонних таврових балок згідно з ТУ У В.2.6-02070772-001-99 і робочими кресленнями АРТОК 01-01-94, ПДАБА 01.01-97 та каменів-вкладишів згідно з ТУ У В.2.6-02070772-02-99 із бетону класу В7,5.

Як утеплювач перекриття над гаражем прийнятий керамзит об'ємною насипною масою 500 кг/м³.

Покриття. Покриття прийнято із несучих дерев'яних балок з підшивкою деревом і гіпсокартоном. Утеплювач – з мінераловатних плит товщиною 200 мм. Покрівля – металева з оцинкованих профільних хвилястих листів.

Сходи. Сходи прийняті із забіжними ступенями, дерев'яні.

2.2.2. Інженерне обладнання і побутові прилади

Будівля забезпечена електроенергією, газом, централізованою холодною водою і каналізацією. Опалення і гаряче водопостачання – від двоконтурного газового котла фірми «Vaillant» потужністю 24 кВт. Крім того, на першому поверсі влаштоване повітряне опалення від підлогової металевої дров'яної печі.

Побутові прилади: газова чотириконфорна плита з електродуховкою, кухонна витяжка, холодильник і морозильна камера, пральна машина, праска, електрочайник, мультиварка, кухонний комбайн, телевізор, 4 персональні комп'ютери, роутер, освітлювальні лампи в будинку – 35 шт.; зовні – 4 шт.

2.2.3. Результати аналізу енергоспоживання

Для аналізу енергоспоживання домогосподарством використовувалися фактичні дані, зафіксовані лічильниками газу, води, електроенергії. Період дослідження – з 2017 по 2023 рік (7 років). У будинку в різні періоди проживали 5 людей (2 дорослих, 3 дитини) (2017–2021 роки), а також 1 доросла людина (з 2023 року). Результати досліджень наведені в таблицях 2.5–2.8 та на рис. 2.7–2.11.

Таблиця 2.8 – Енергоспоживання домогосподарством в 2023 році

Місяць року	2023				
	вода	газ		електро-енергія	енергія
	м³	м³	кВт·год	кВт·год	кВт·год
01	5	364	3640	115	3755
02	6	375	3750	133	3883
03	6	278	2780	182	2962
04	5	122	1220	162	1382
05	3	12	120	129	249
06	7	10	100	121	221
07	2	5	50	103	153
08	0	0	0	75	75
09	0	0	0	79	79
10	0	0	0	69	69
11	5	256	2560	145	2705
12	9	388	3880	158	4038
За рік	48		18100	1471	19571



Рисунок 2.7 – Кінцеве споживання енергії домогосподарством: голубий – опалення, приготування гарячої води і їжі; помаранчевий – електроенергія на побутові потреби (2017 р.)

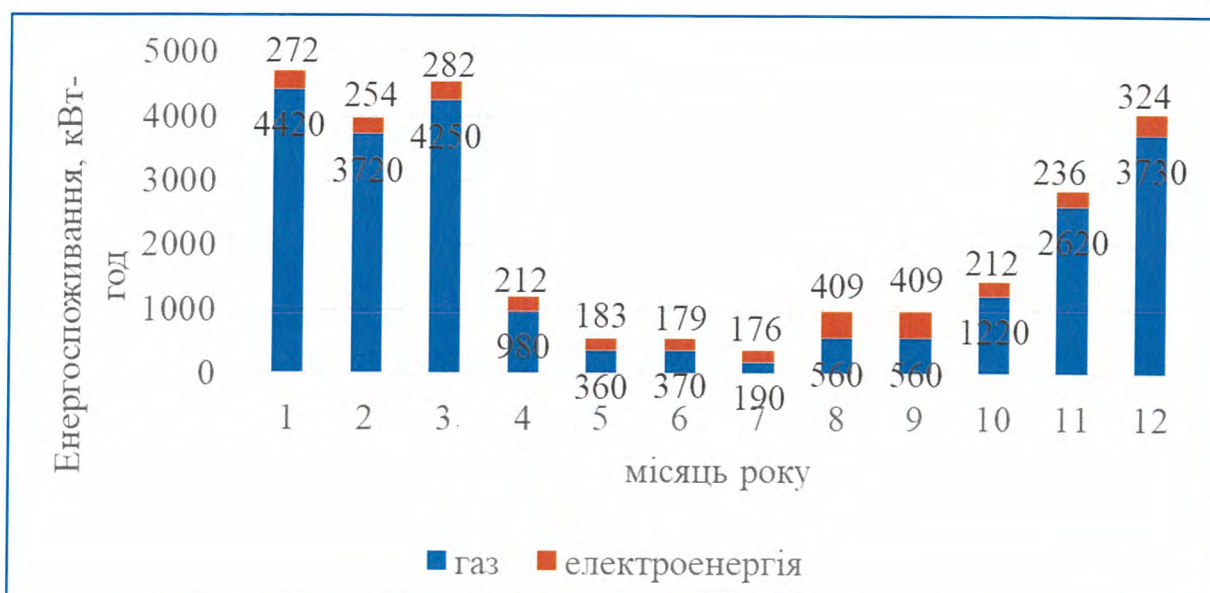


Рисунок 2.8 – Кінцеве споживання енергії домогосподарством: голубий – опалення, приготування гарячої води і їжі; помаранчевий – електроенергія на побутові потреби (2018 р.)

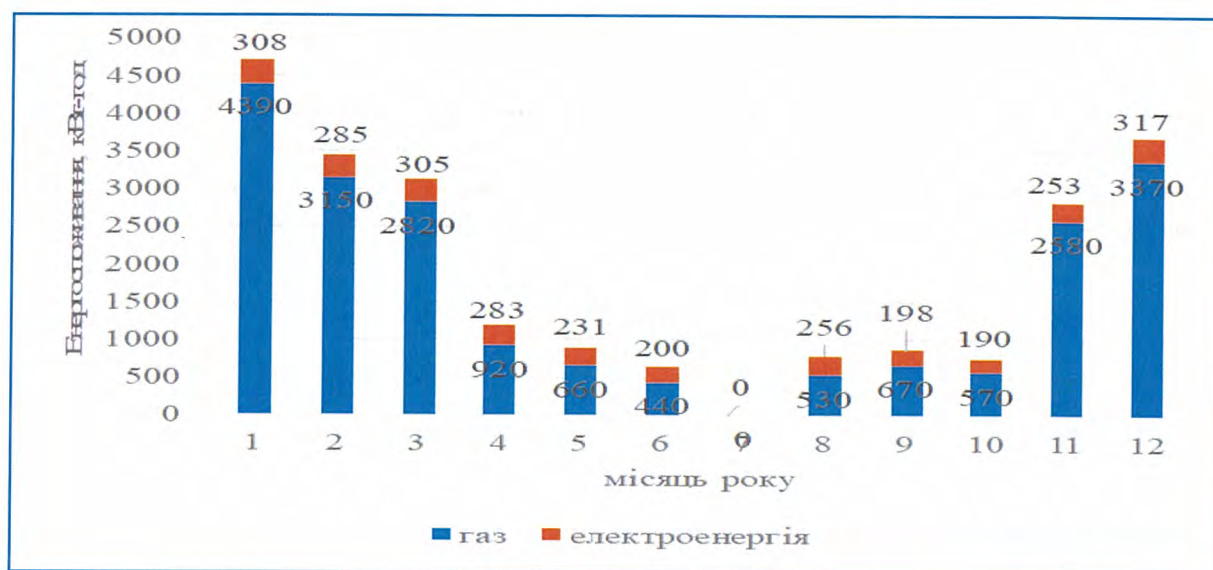


Рисунок 2.9 – Кінцеве споживання енергії домогосподарством: голубий – опалення, приготування гарячої води і їжі; помаранчевий – електроенергія на побутові потреби (2019 р.)

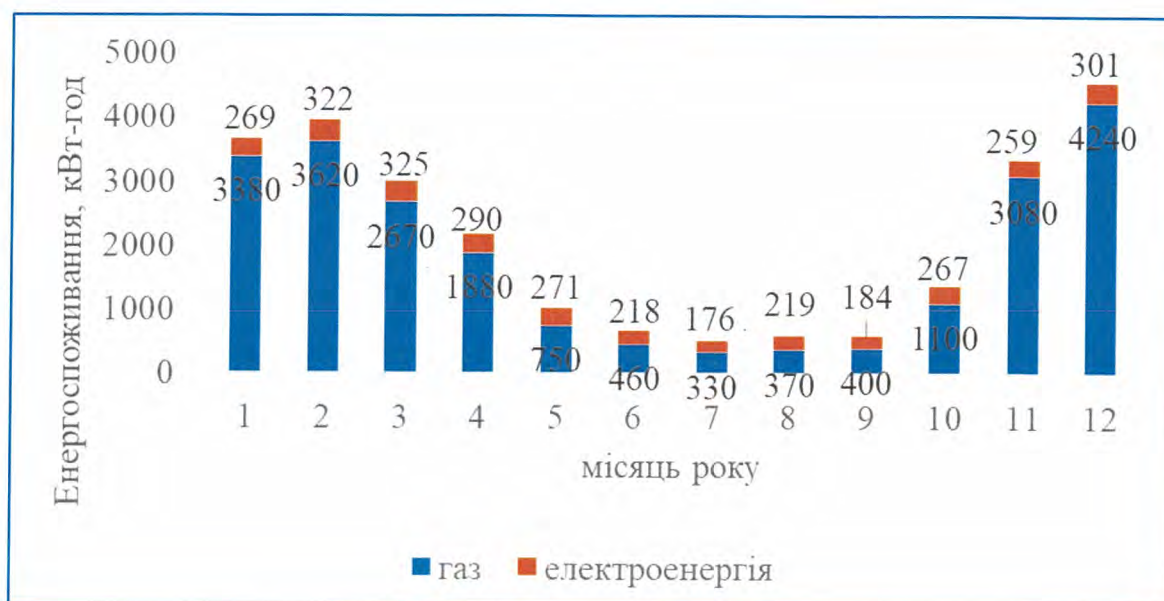


Рисунок 2.10 – Кінцеве споживання енергії домогосподарством:
голубий – опалення, приготування гарячої води і їжі;
помаранчевий – електроенергія на побутові потреби (2020 р.)

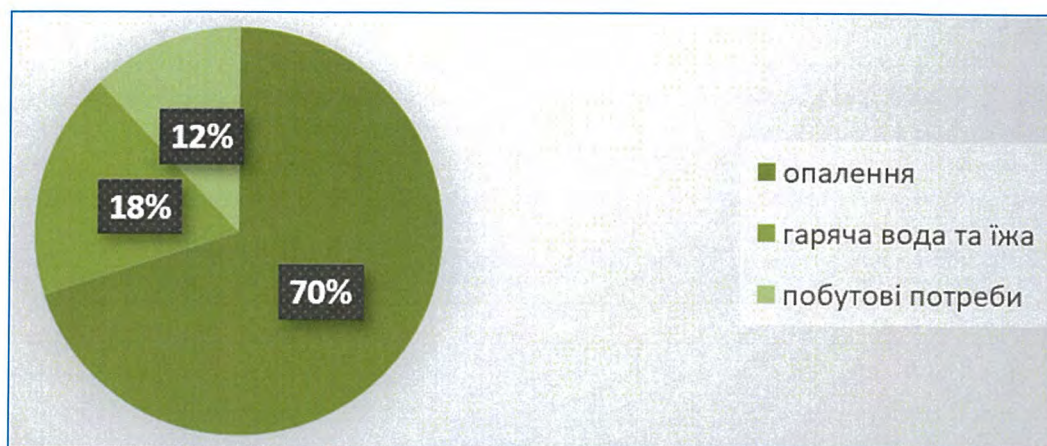
Середнє річне кінцеве споживання енергії у домогосподарстві за 5 років (2017–2021) становило 24 784 кВт·год/рік, на одного мешканця – 4957 кВт·год/(рік·люд.), що на 12 % більше, ніж за результатами статистичних досліджень Eurostat (4443 кВт·год/(рік·люд.); див. розділ 1).

Результати аналізу засвідчують, що середнє місячне споживання домогосподарством електричної енергії становить 249 кВт·год/міс., що на 13 % більше, ніж за результатами моделювання споживання електроенергії (217 кВт·год/міс.; див. розділ 1).

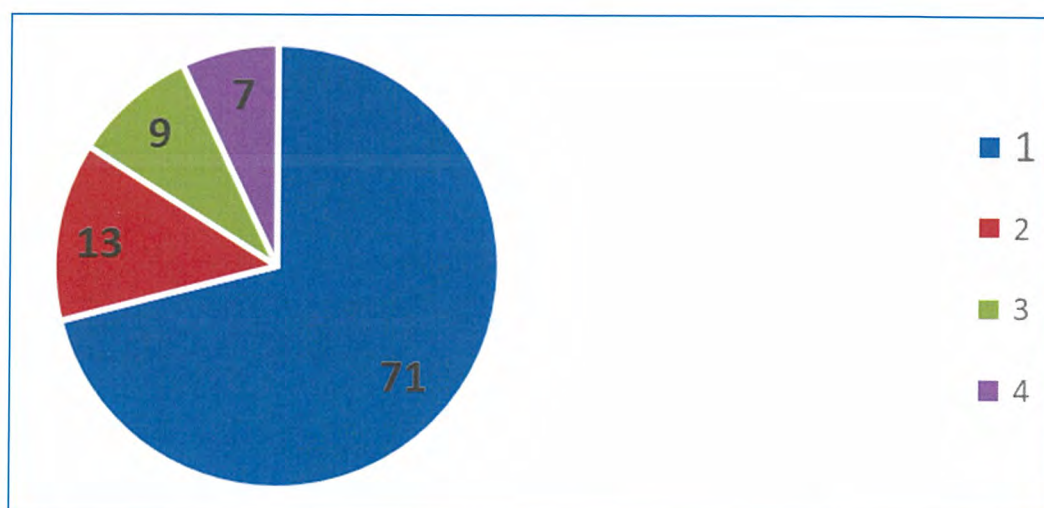
Споживання газу в неопалювальний період (травень–серпень) використовується на приготування гарячої води та їжі. Споживання енергії на ці потреби становить, відповідно, за 2017–2021 роки: 265, 307, 408, 478, 432 кВт·год/міс., або в середньому 378 кВт·год/міс.

Наведені дані дозволяють визначити структуру середнього річного споживання кінцевої енергії домогосподарством: усього – 24784 кВт·год/рік (100 %), опалення – 17260 кВт·год/рік (70 %), приготування гарячої води та їжі – 4536 кВт·год/рік (18 %), електроенергія на побутові потреби – 2988

кВт·год/рік (12 %) (рис. 2.11, а). Дані щодо структури споживання енергії домогосподарством практично співпадають з даними, наведеними в [81] (рис. 2.11, б).



а)



б)

Рисунок 2.11 – Структура споживання енергії: а) середнього річного домогосподарства; б) приблизна в житлових будівлях за даними [81]: 1 – опалення та вентиляція, 2 – нагрівання води, 3 – приготування їжі, 4 – електроприлади та освітлення

Питоме енергоспоживання будівлі становить 155 кВт·год/(м²·рік), що майже відповідає показнику для класифікації «Нові» будівлі періоду будівництва 1970–2002 рр., для яких питоме енергоспоживання становить 150 кВт·год/(м²·рік) (див. табл. 1.6).

2.3. Висновки до розділу 2

1. Для визначення споживання електричної енергії середньостатистичним домогосподарством виконано моделювання енергоспоживання будинку житловою площею 150 м² зі стандартним набором побутових приладів і обладнання, а саме:

основні регулярні споживачі: 1 – холодильник, 2 – телевізор, 3 – інвертор, 4 – контролер заряду, 5 – ноутбук, 6 – насос холодної води, 7 – електрочайник, 8 – рекуператор повітря, 9 – лампи освітлення;

допоміжні регулярні споживачі: 10 – електродуховка, 11 – пральна машина, 12 – праска, 13 – пілосос, 14 – витяжка кухонна;

нерегулярні споживачі: 15 – кутова шліфувальна машина («болгарка»), 16 – електродріль, 17 – зварювальний апарат, 18 – дробарка рослин, 19 – газонокосарка, 20 – насос теплиці.

Для опалення і приготування гарячої води використовуються інші джерела енергії. Результати аналізу засвідчують, що середнє місячне споживання домогосподарством електричної енергії на побутові потреби становить 217 кВт·год.

2. Для визначення енергоспоживання середньостатистичного домогосподарства проводилися дослідження в умовах міста Дніпра. Для аналізу використовувалися фактичні дані, зафіксовані лічильниками газу, води та електроенергії. Період дослідження – з 2017 по 2023 рік (7 років). У 2017–2021 роках в будинку домогосподарства проживало 5 осіб; з 2023 року – 1 доросла особа. Середнє річне кінцеве споживання енергії у домогосподарстві за 5 років (2017–2021) на одного мешканця становило 4957 кВт·год/(рік·люд.), що на 12 % більше, ніж за результатами статистичних досліджень Eurostat (4443 кВт·год/(рік·люд.)).

Середнє місячне споживання домогосподарством електричної енергії становить 249 кВт·год/міс., що на 13 % більше, ніж за результатами моделювання споживання електроенергії (217 кВт·год/міс.). Споживання

енергії на приготування гарячої води та їжі становить у середньому 378 кВт·год/міс. Загальні середні місячні енергозатрати на побутові потреби, підігрів гарячої води та приготування їжі становлять 630 кВт·год/міс.

Визначено структуру середнього річного споживання кінцевої енергії домогосподарством: усього – 24784 кВт·год/рік (100 %), опалення – 17260 кВт·год/рік (70 %), приготування гарячої води та їжі – 4536 кВт·год/рік (18 %), електроенергія на побутові потреби – 2988 кВт·год/рік (12 %).

Питоме енергоспоживання будівлі становить 155 кВт·год/(м²·рік), що майже відповідає показнику для класифікації «Нові» будівлі періоду будівництва 1970–2002 рр., для яких питоме енергоспоживання становить 150 кВт·год/(м²·рік).

2.4. Список використаних джерел у розділі 2

У розділі 2 використано літературне джерело [81]. Його найменування наведено в загальному списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 3. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТРЕБ ЕНЕРГІЇ ДОМОГОСПОДАРСТВА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

3.1. Дослідження раціонального розташування сонячних панелей

Дослідження ефективності використання електричної енергії від сонячної електростанції виконується для умов м. Дніпра.

Місто Дніпро має такі географічні координати у всесвітній системі координат WGS 84: 48° 27' північної широти, 34° 59' східної довготи. Тривалість світлового дня за цивільними сутінками становить: найкоротша – 9 год 36 хв., найдовша – 17 год 26 хв. Для виконання розрахунків прийнято мінімальний розрахунковий час активної сонячної радіації, який визначено шляхом виключення періоду зниженої інтенсивності сонячного випромінювання (близько 2 год) із найкоротшої тривалості світлового дня. Таким чином:

$$9 \text{ год } 36 \text{ хв} - 2 \text{ год} = 7 \text{ год } 36 \text{ хв} (7,6 \text{ год}).$$

Сонячна інсоляція у м. Дніпрі за даними NASA дорівнює: річна – 1223 кВт·год/(м²·рік), середньомісячна – 3,3516 кВт·год/(м²·день) [83]. Значення щоденної інсоляції за місяцями наведено в таблиці 3.1 і на рис. 3.1.

Таблиця 3.1 – Середній місячний рівень сонячної радіації у м. Дніпрі
(кВт·год/(м²·день))

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Радіація	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,2	0,96
%	21	35	52	71	97	98	100	89	64	40	21	17

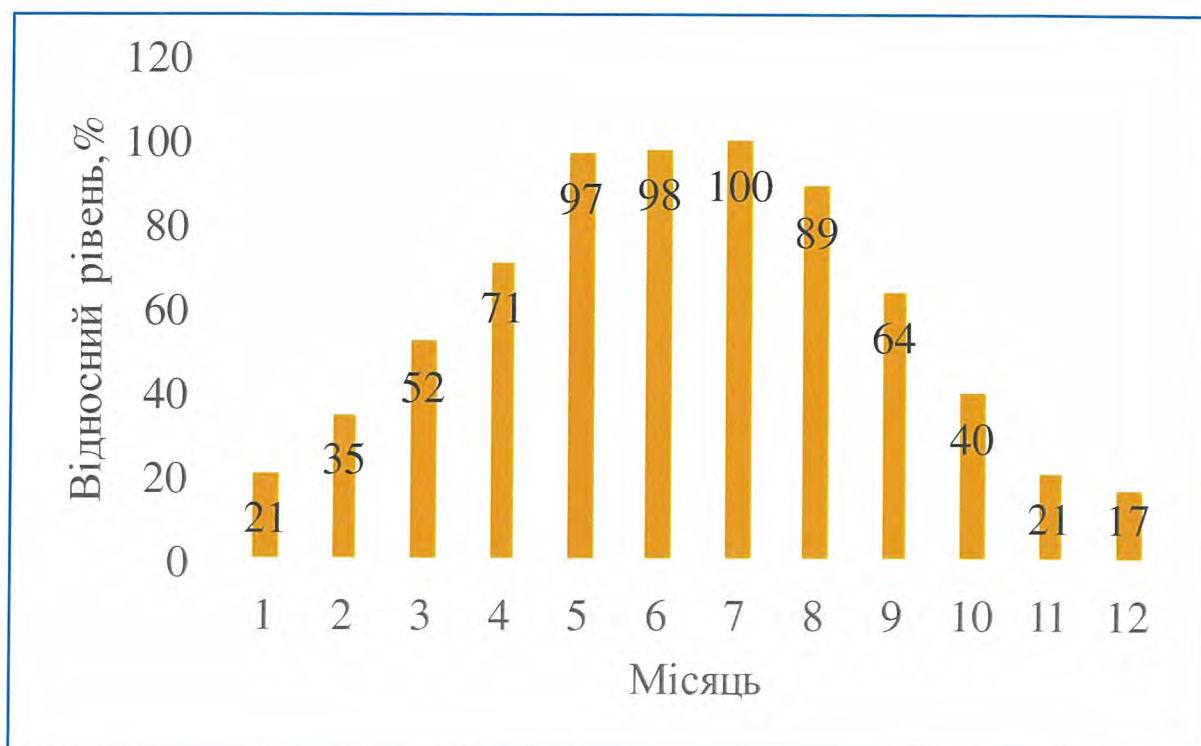


Рисунок 3.1 – Відносний середній місячний рівень сонячної радіації для м. Дніпра

Сонячні панелі (батареї) можуть відрізнятися як за напрямом орієнтації, так і за кутом нахилу. При цьому їх ефективність роботи змінюється.

Для визначення оптимальних параметрів досліджено виробництво електроенергії віртуальною СЕС потужністю 4,2 кВт в умовах м. Дніпра. Станція складається з 12 монокристалічних панелей по 350 Вт, загальною площею 24,4 м². Розрахунки виконано за допомогою онлайн-калькулятора [85].

Результати розрахунку виробітку електроенергії СЕС наведені на рис. 3.2–3.4 і в таблиці 3.2.

Дані розрахунків показують, що кут нахилу 35° від горизонтальної площини при орієнтації на південь забезпечує найкращі передумови отримання електричної енергії від сонячної електростанції в умовах м. Дніпра. Сонячні панелі з однаковим кутом нахилу 35° знижують ефективність: при орієнтації на схід – на 12 %, при орієнтації на захід – на 22 %. Сонячні панелі,

розміщені вертикально та орієнтовані на схід або захід, втрачають ефективність відповідно на 43 % і 61 % у порівнянні з оптимальним розміщенням.

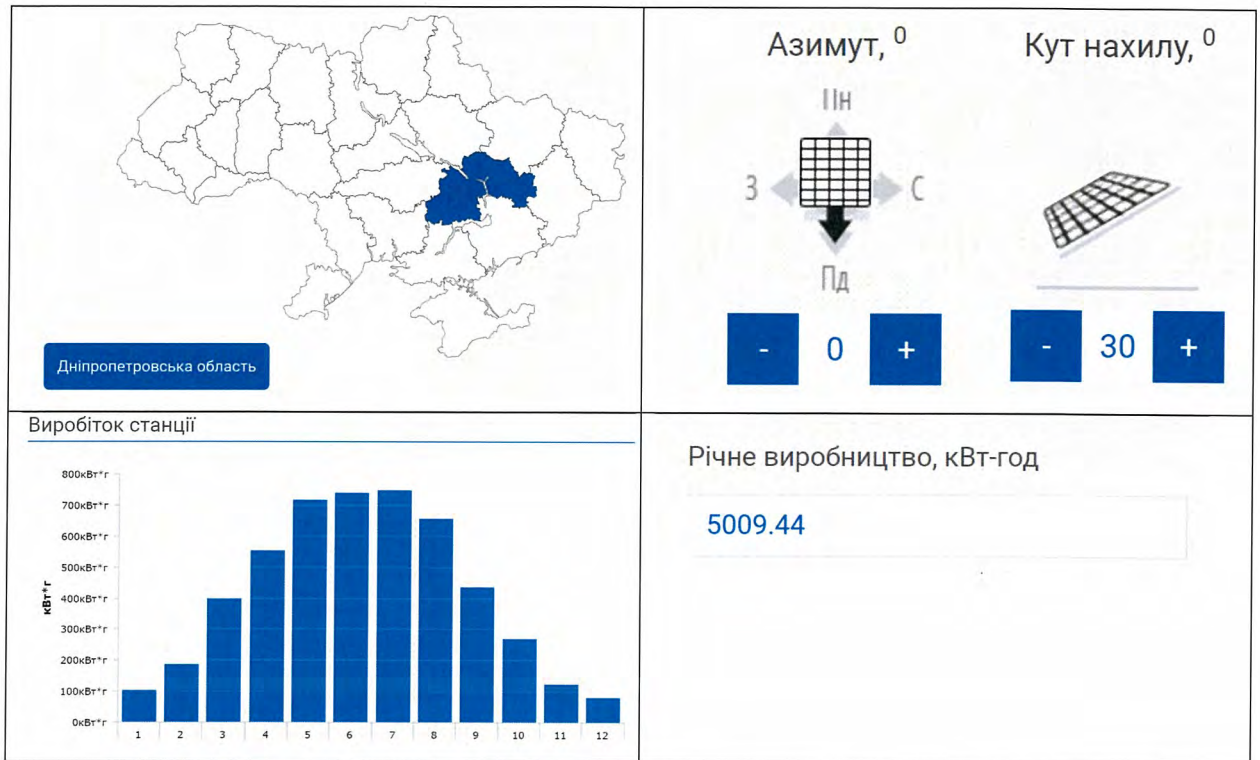


Рисунок 3.2 – Результати розрахунку виробітку електроенергії СЕС

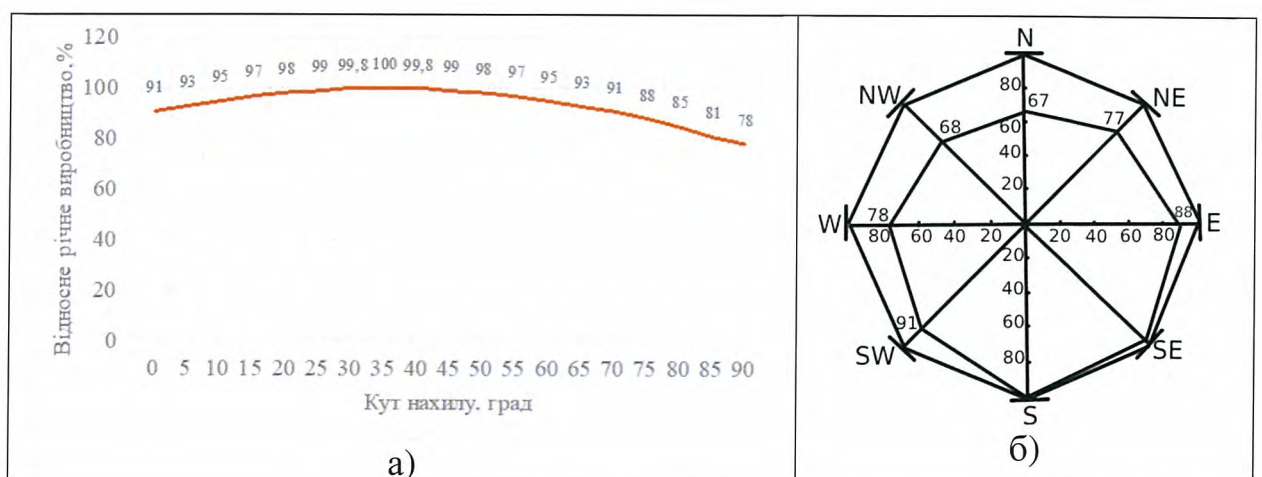


Рисунок 3.3 – Відносний річний виробіток електроенергії СЕС залежно від:
 а) кута нахилу сонячних панелей при південній орієнтації; б) орієнтації при оптимальному куті нахилу 35°

Таблиця 3.2 – Річне виробництво електроенергії СЕС залежно від орієнтації і кута нахилу відносно горизонту

Орієнтація	Азимут, град	Кут нахилу, град	Річне виробництво,	
			кВт·год	відносне, %
Південь	0	0	4553	91
		5	4674	93
		10	4779	95
		15	4865	97
		20	4932	98
		25	4981	99
		30	5009	99,8
		35	5018	100
		40	5008	99,8
		45	4977	99
		50	4927	98
		55	4858	97
		60	4770	95
		65	4665	93
		70	4542	91
		75	4403	88
		80	4249	85
		85	4081	81
		90	3900	78
Захід	45	35	4589	91
—	90	35	3912	78
—	45	90	3151	63
—	90	90	1970	39
Схід	-45	35	4949	99
—	-90	35	4421	88
—	-45	90	3778	75
—	-90	90	2858	57

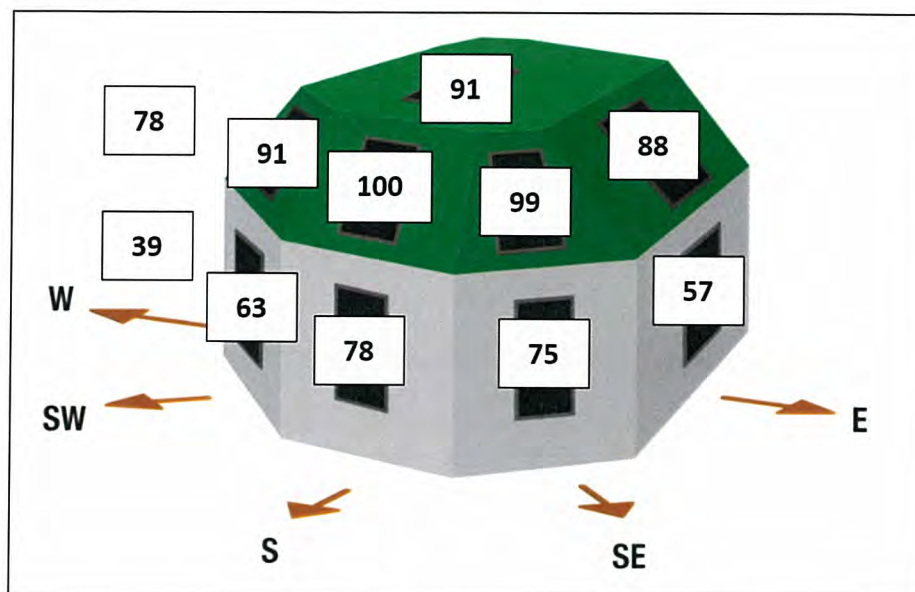


Рисунок 3.4 – Відносна ефективність виробітку електроенергії сонячними панелями залежно від азимутальної орієнтації і кута нахилу відносно горизонту

Зазначені значення не слід розглядати як абсолютні, оскільки їх величина визначається географічною широтою місцевості

У північних широтах відхилення ефективності сонячних колекторів залишається в межах менш ніж 10 % за умови їх раціональної орієнтації та дотримання рекомендованих геометричних параметрів встановлення. Зокрема, такі показники досягаються тоді, коли колектори розміщені в азимутальному секторі між південним сходом (азимут -45°) і південним заходом (азимут $+45^\circ$) відносно напрямку на південь.

Важливою умовою високої енергетичної віддачі є вибір кута нахилу до горизонту в межах $25-65^\circ$, що компенсує сезонні зміни висоти сонця та забезпечує близькі до оптимальних умови сприйняття випромінювання протягом року без істотного зниження ефективності системи.

3.2. Розрахунок компонентів сонячної електростанції

Основні компоненти фотоелектричної системи:

1. Сонячні панелі (фотоелектричні модулі): здійснюють перетворення енергії сонячного світла на електричний струм постійної напруги.
2. Інвертор: перетворює постійний струм (DC) у змінний (AC), який використовується в побутових приладах.
3. Акумуляторні батареї (опціонально): зберігають надлишкову енергію для використання вночі або під час відключень електромережі.
4. Контролер заряду: регулює процес заряджання акумуляторів.

Розрахунок сонячної електростанції передбачає визначення її потужності, площі, кількості та ефективності для забезпечення необхідної кількості енергії, а також визначення компонентів за наступним алгоритмом:

1. Визначення споживачів електроенергії. Ідентифікуються всі електроприлади у домогосподарстві, їх потужність та час роботи у денний і нічний періоди доби. Основні категорії: регулярні споживачі, додаткові регулярні споживачі, нерегулярні споживачі (див. розділ 2).

2. Визначення максимальної потужності всіх приладів, що працюють одночасно у денний період доби:

$$P_{max,d} = \sum P_{i,d}, \quad (3.1)$$

де: $P_{i,d}$ – потужність i -го приладу, що працює в денний період доби, Вт або кВт.

3. Визначення максимальної потужності всіх приладів, що працюють одночасно у нічний період доби:

$$P_{max,n} = \sum P_{j,n}, \quad (3.2)$$

де: $P_{j,n}$ – потужність j -го приладу, що працює в нічний період доби, Вт або кВт.

При визначенні максимальної потужності за формулами (3.1), (3.2) потрібно враховувати пікові значення потужності (для обладнання з електродвигунами) під час пуску.

4. Вибір інвертора проводиться за двома критеріями: максимальною потужністю всіх приладів, що працюють у денний або нічний період доби, та піковою потужністю, яку інвертор може витримувати протягом декількох секунд.

5. Енергія, яку споживає i -й прилад у денний період доби:

$$E_{i,d} = P_{i,d} t_{i,d}, \quad (3.3)$$

де: $E_{i,d}$ – енергія спожита i -м приладом у денний період доби (Вт·год або кВт·год); $P_{i,d}$ – потужність i -го приладу, який працює у денний період доби (Вт або кВт); $t_{i,d}$ – час роботи i -го приладу у денний період доби (год).

6. Енергія, яку споживає j -й прилад у нічний період доби, розраховується за формулою:

$$E_{j,n} = P_{j,n} t_{j,n}, \quad (3.4)$$

де: $E_{j,n}$ – енергія спожита j -м приладом у нічний період доби (Вт·год або кВт·год); $P_{j,n}$ – потужність j -го приладу, який працює у нічний період доби (Вт або кВт); $t_{j,n}$ – час роботи j -го приладу у нічний період доби (год).

7. Загальне споживання електроенергії домогосподарством у денний період доби розраховується як сума споживання всіх приладів цього періоду:

$$E_{tot,d} = \sum E_{i,d}. \quad (3.5)$$

8. Загальне споживання електроенергії домогосподарством у нічний період доби розраховується як сума споживання всіх приладів цього періоду:

$$E_{tot,n} = \sum E_{j,n}. \quad (3.6)$$

9. Врахування втрат. Для більш точного розрахунку враховуються втрати енергії в мережі та на інверторах. Зазвичай втрати становлять 5–10 %.

10. Сумарна енергія навантаження у денний період доби на стороні постійного струму інвертора, що пов'язана з перетворенням постійного струму в змінний:

$$E_{load,d} = E_{tot,d}/\mu_{inv}, \quad (3.7)$$

де: μ_{inv} – коефіцієнт корисної дії інвертора (зазвичай, не менше 0,87).

11. Сумарна енергія навантаження у нічний період доби на стороні постійного струму інвертора, що пов'язана з перетворенням постійного струму в змінний:

$$E_{load,n} = E_{tot,n}/\mu_{inv}. \quad (3.8)$$

12. Визначення загальної ємності акумуляторних батарей (АКБ) для забезпечення споживання енергії у нічний період доби:

$$E_{disch,b} = E_{load,n}/\alpha, \quad (3.9)$$

де: α – коефіцієнт, що показує глибину розряду АКБ (максимальна кількість енергії, яку може забезпечити АКБ за нормальної роботи, зазвичай $\alpha = 0,4$, тобто акумулятори можливо розряджати до 40 % номінальної ємності).

13. Визначення загальної ємності акумуляторних батарей (АКБ) з урахуванням втрат енергії при заряді–розряді:

$$E_{ch,b} = E_{disch,b}/\mu_b, \quad (3.10)$$

де: μ_b – коефіцієнт корисної дії батареї при заряді-розряді.

14. Визначення кількості енергії, яку потрібно отримувати від сонячних панелей:

$$E_{PV} = E_{ch,b} + E_{load,d}. \quad (3.11)$$

15. Визначення необхідної потужності сонячних панелей:

$$P_{PV,\Sigma} = E_{PV}/T_d, \quad (3.12)$$

де: T_d – тривалість світлового дня, час активної роботи сонячної панелі за високого сонячного випромінювання, що залежить від пори року і хмарності (змінюється в межах 1–10 год).

16. Визначення необхідної кількості сонячних панелей:

$$N = P_{PV,\Sigma}/P_{PV}, \quad (3.13)$$

де: P_{PV} – потужність однієї сонячної панелі, Вт.

17. Вибір контролера проводиться за умови, що струм від сонячних панелей не повинен перевищувати допустимого значення, на яке розрахований контролер. Для кожної із панелей величина струму визначається за формулою:

$$I = P_{PV}/U, \quad (3.14)$$

де: U – напруга панелі, В.

18. Сумарний струм та напруга в системі залежать від кількості та способу підключення сонячних панелей. Як приклад, на рис. 3.5 наведено схему підключення трьох панелей.

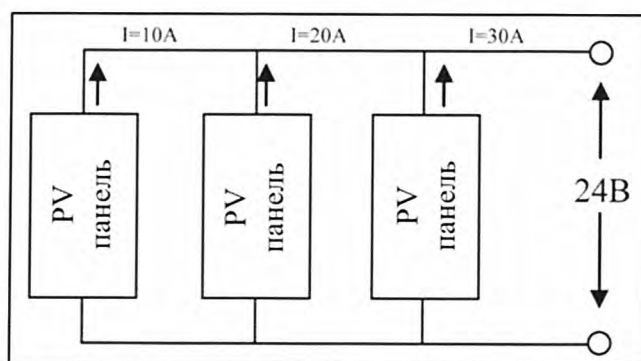


Рисунок 3.5 – Схема підключення трьох панелей

Напруга сонячних панелей та акумуляторних батарей повинна збігатися. За різних значень напруги їх необхідно привести до одного рівня шляхом зміни схеми з'єднання акумуляторів (рис. 3.6).

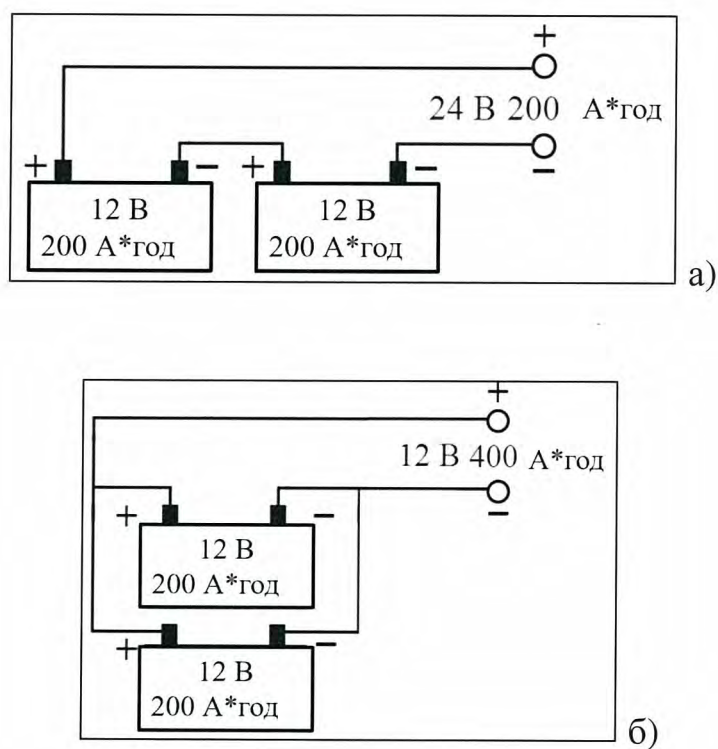


Рисунок 3.6 – Схема з'єднання акумуляторів: а) послідовного; б) паралельного з'єднання

3.3. Розрахунок сонячних панелей на основі визначення сонячної активності

Електропостачання середньостатистичного домогосподарства в умовах м. Дніпра вибираємо за умови покриття енергозатрат на побутові потреби, підігрів гарячої води та приготування їжі. Результати аналізу (див. розділ 2) засвідчують, що середнє місячне споживання середньостатистичним домогосподарством у середній смузі України (м. Дніпро) електричної енергії на ці потреби становить 630 кВт·год/міс.

Річне покриття енергозатрат на опалення за рахунок сонячної енергії є нерациональним. Ці потреби можна компенсувати за рахунок теплового насоса, дров'яного опалення та інших джерел енергії.

Для електропостачання домогосподарства вибираємо гібридну сонячну електростанцію, схему якої наведено на рис. 3.7 [87].

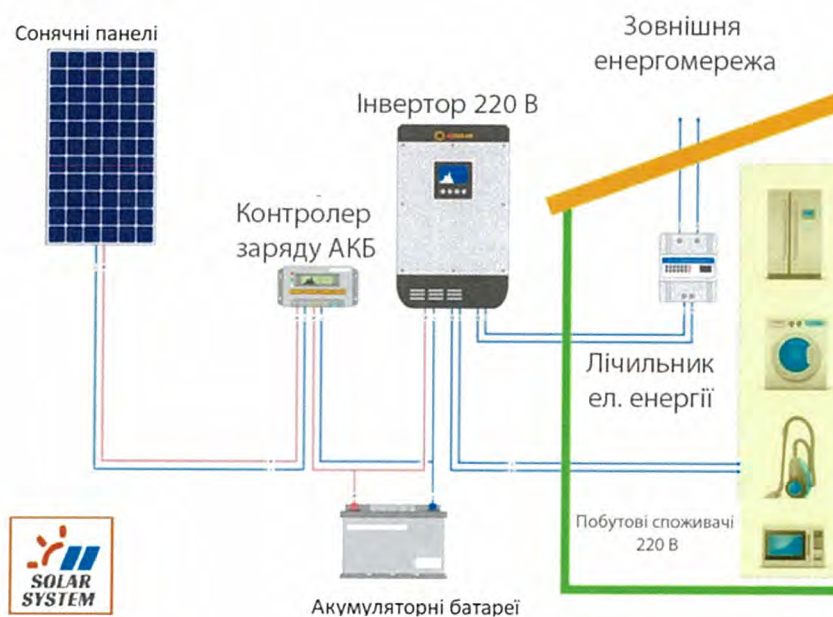


Рисунок 3.7 – Схема гібридної СЕС [87]

Як робочу обрано монокристалічну панель SPR-MAX6-450-COM потужністю 450 Вт та напругою 24 В [88]. Характеристики панелі наведено на рис. 3.8. Розміри панелі становлять 1039 × 2047 мм, маса – 22,7 кг.

Панелі орієнтуються на південь під кутом 35° до горизонту.

Кількість панелей визначається величиною річної потреби в електричній енергії з урахуванням механізму Net Billing [86]. Кількість панелей визначали методом послідовних наближень: задавали їх число та за допомогою онлайн-калькулятора визначали річну генерацію, яку порівнювали з річним енергоспоживанням домогосподарства. Розрахунки виконано для потужності СЕС 5,4; 6,3 і 7,2 кВт, що відповідає 12, 14 і 16 панелям відповідно.

У таблиці 3.3 наведено дані щодо обсягів генерації електричної енергії СЕС різної потужності за місяцями року, потреби в енергії, а також різниці між цими величинами.

MAXEON 6 POWER: 450-475 W | EFFICIENCY: Up to 22.3%

Electrical Data			
	SPR-MAX6-475-COM	SPR-MAX6-460-COM	SPR-MAX6-450-COM
Nominal Power (P _{nom}) ²	475 W	460 W	450 W
Power Tolerance	5/0%	5/0%	5/0%
Panel Efficiency	22.3%	21.6%	21.2%
Rated Voltage (V _{mpp})	43.9 V	43.2 V	42.8 V
Rated Current (I _{mpp})	10.82 A	10.64 A	10.52 A
Open-Circuit Voltage (V _{oc}) (+/-3%)	52.6 V	52.5 V	52.4 V
Short-Circuit Current (I _{sc}) (+/-3%)	11.57 A	11.54 A	11.51 A
Max. System Voltage	1500 V IEC		
Maximum Series Fuse	20 A		
Power Temp Coef.	-0.29% / °C		
Voltage Temp Coef.	-0.239% / °C		
Current Temp Coef.	0.057% / °C		

Warranties, Certifications and Compliance	
Standard Tests ³	IEC 61215, IEC 61730
Quality Management Certs	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	IEC 60068-2-68, MIL-STD-810G
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
PID Test	1500 V: IEC 62804
Available Listings	TUV
IFLI Declare Label	First solar panel line labeled for ingredient transparency and LBC-compliance. ⁴
Cradle to Cradle Certified™ Bronze	First solar panel line certified for material health, water stewardship, material reutilisation, renewable energy & carbon management, and social fairness. ⁵
Green Building Certification Contribution	Panels can contribute additional points toward LEED and BREEAM certifications.
EHS Compliance	RoHS, OHSAS 18001:2007, lead free, REACH SVHC-163

Operating Condition And Mechanical Data	
Temperature	-40°C to +85°C
Impact Resistance	25 mm diameter hail at 23 m/s
Solar Cells	72 Maxeon 6 Cells
Tempered Glass	High-transmission tempered anti-reflective
Junction Box	IP-68, EVO2, 3 bypass diodes
Weight	22.7 kg
Max. Load ⁶	Wind: 2400 Pa, 244 kg/m ² front & back Snow: 5400 Pa, 550 kg/m ² front
Frame	Class 2 silver anodised

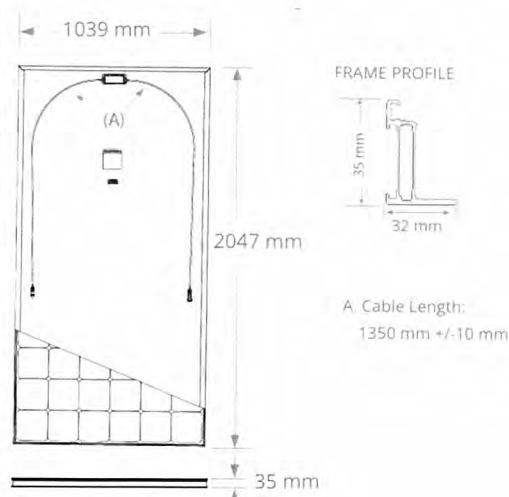


Рисунок 3.8 – Характеристики монокристалічної панелі SPR-MAX6-450-COM [88]

Таблиця 3.3 – Споживання і генерація електричної енергії (кВт·год)

Потужність СЕС, кВт	Місяць												Рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	споживання на місяць – 630												7560
	генерація												
5,4	132	238	502	692	894	916	930	820	550	343	155	100	6273
6,3	158	285	602	831	1073	1100	1116	984	660	411	187	120	7528
7,2	184	333	702	969	1252	1283	1302	1148	770	480	218	140	8782
	різниця (генерація – споживання)												
5,4	-498	-392	-128	62	264	286	300	190	-80	-287	-475	-530	-1287
6,3	-472	-345	-28	201	443	470	486	354	30	-219	-443	-510	-32
7,2	-446	-297	72	339	622	653	672	518	140	-150	-412	-490	1222

Дані засвідчують, що генерації електричної енергії при потужності СЕС 5,4 кВт недостатньо на 17 % для покриття річної потреби в енергії.

При потужності СЕС 7,2 кВт річна генерація енергії є надлишковою на 16 %, хоча при цьому в осінньо-зимовий період місячної генерації (січень, лютий, жовтень, листопад, грудень) недостатньо для покриття середньомісячних витрат енергії.

Найбільш раціональною за річних витрат енергії 7560 кВт·год є СЕС потужністю 6,3 кВт з річною генерацією 7528 кВт·год, що лише на 0,4 % менше річних витрат енергії домогосподарством (рис. 3.9).

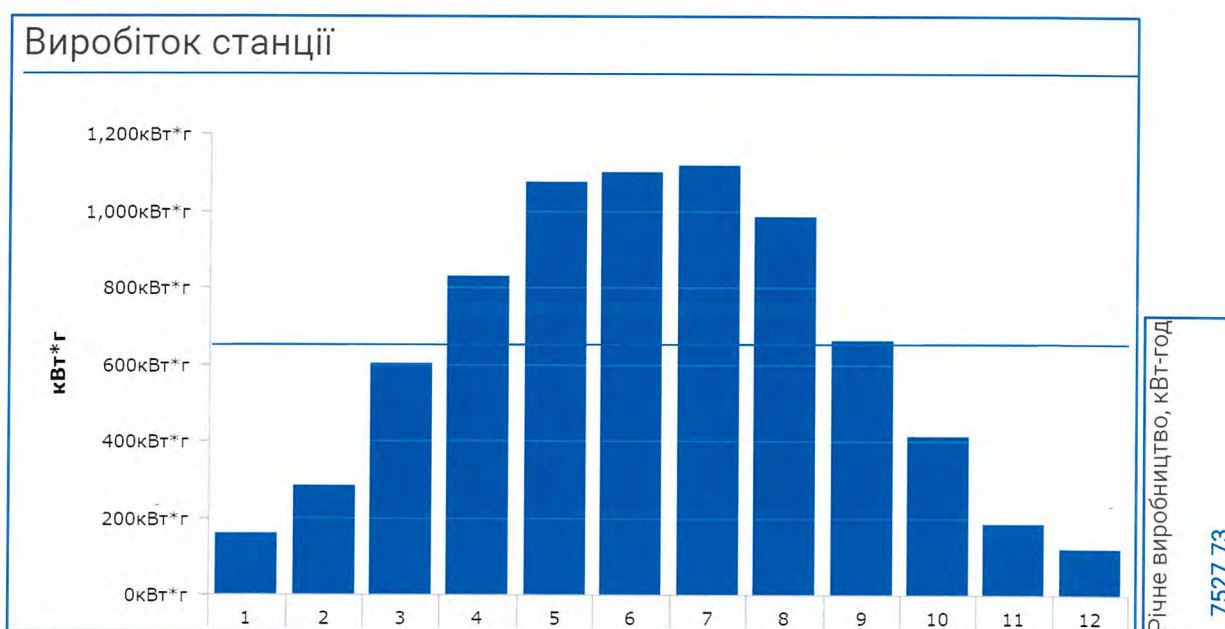


Рисунок 3.9 – Виробництво електроенергії СЕС потужністю 6,3 кВт

3.4. Розрахунки допоміжного обладнання

Інвертор. Потужність інвертора розраховуємо за найбільш навантаженим місяцем року – січнем. При середньомісячній потребі в 630 кВт·год добове споживання $630/31 = 20,3$ кВт·год. Протяжність активної сонячної радіації в січні становить 7,6 год. Тоді потужність інвертора повинна бути не менше $20,3/7,6 = 2,67$ кВт. Приймаємо потужність інвертора – 3 кВт.

Вибираємо гібридний інвертор для однофазного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц з чистою синусоїдою. Приймаємо гібридний інвертор PH3000-3K (Тайвань) [92]. Його коротка технічна характеристика: номінальна потужність – 3000 Вт, напруга: вхідна – 24,48 В, вихідна – 230 В, струм заряду – 80 А, вага – 29,5 кг. Резервною системою електрозабезпечення може слугувати централізована електромережа, а там де її немає – автономний генератор з двигуном внутрішнього згоряння потужністю 3 кВт.

Акумуляторні батареї. Сумарну ємність акумуляторних батарей визначаємо за найбільшим місячним споживанням. Добове споживання в січні дорівнює 19530 Вт·год.

Приймаємо такий розподіл цього споживання: вдень від сонячних панелей – 40 % і вночі від акумуляторів – 60 %. Тоді добове споживання від акумуляторних батарей дорівнює $19530 \times 0,6 = 11\,718$ Вт·год. Необхідна ємність акумуляторної батареї дорівнює: $11718/24 = 488,25$ А·год. Для забезпечення довговічності батарей їхній розряд має бути не більше 80 %. Отже, необхідний акумулятор ємністю $488,25/0,8 = 610,31$ А·год. Приймаємо акумулятор 6 OpzV 600 ємністю 600 А·год і напругою 2 В [93]. Для батареї 24 В необхідно 12 таких акумуляторів.

Контролер заряду. Приймаємо ефективний контролер заряду типу MPPT – MORNINGSTAR TRISTAR MPPT-60 з такими основними технічними характеристиками: максимальний безперервний струм заряду акумуляторних батарей – 60 А, номінальна напруга – 12, 24, 48 В [94].

Система нагріву води для гарячого водопостачання. Ключовим елементом системи є електричний теплогенератор, найбільш ефективним з яких нині вважається пристрій з електромагнітним індукційним нагріванням. Порівняно з іншими видами електронагріву він забезпечує пожежну безпеку (безполумєневий принцип), відсутність накипу, тривалий строк служби (до 30 років), безшумність, високий рівень енергоефективності та можливість використання антифризних теплоносіїв.

Середнє місячне споживання енергії на приготування гарячої води та їжі становить 378 кВт·год/міс. Частка енергії, що припадає на приготування гарячої води, становить приблизно 70 %. Тоді на приготування гарячої води споживається $378 \times 0,7 = 265$ кВт·год/міс. електроенергії. Необхідна потужність генератора: $265/30 = 8,8$ кВт.

Для подальшого застосування обрано індукційний електричний котел ВІН-10 (м. Запоріжжя) з тепловою потужністю 10 кВт, ККД – 99 % та масою 40 кг [95].

3.5. Аналіз енергетичних показників будівель

Розрахунок теплоізоляційної оболонки будівлі та визначення класу її енергетичної ефективності [89] здебільшого виконують за річними витратами теплоти на опалення, оскільки, за результатами досліджень (розділ 2), на опалення припадає до 70 % річного енергоспоживання. Водночас основними вихідними даними для проєктування систем опалення є опір теплопередачі огорожувальних конструкцій і тепла потужність системи опалення [90]. Проаналізуємо залежність цих параметрів.

Теплову потужність системи опалення, Вт, визначимо за формулою:

$$Q_h = Q_e + Q_v - Q_b, \quad (3.15)$$

де Q_e – тепловий потік через огорожувальні конструкції, Вт:

$$Q_e = (1/R_{tot})(t_{int} - t_{ext})A_{tot},$$

де R_{tot} – приведений опір теплопередачі огорожень, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

t_{int} – температура внутрішнього повітря, $^\circ\text{C}$;

t_{ext} – температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$;

A_{tot} – площа огорожень, м^2 ;

Q_v – витрати теплоти на нагрівання вентиляційного повітря в об'ємі однократного повітрообміну за годину, Вт:

$$Q_v = 0,337 (t_{int} - t_{ext}) V_h,$$

де V_h – опалювальний об'єм, м³.

Q_b – теплонадходження від людей, освітлення та побутових електроприладів, Вт:

$$Q_b = 10 A_h,$$

де A_h – опалювальна площа, м².

Питома теплова потужність системи опалення, Вт/м²:

$$q_h = Q_h / A_h. \quad (3.16)$$

Річні витрати теплоти на опалення, кВт·год:

$$Q_{hy} = 0,024ab Q_h D / (t_{int} - t_{ext}), \quad (3.17)$$

де: D – кількість градусо-днів опалювального періоду,

a – коефіцієнт, що враховує наявність приладів автоматичного зменшення теплової потужності системи опалення в години відсутності мешканців, $a = 0,8$;

b – коефіцієнт, що враховує наявність автоматичних терморегуляторів потужності опалювальних приладів, $b = 0,9$.

Питомі річні витрати теплоти на опалення, кВт·год/м²:

$$q_{buid,h} = Q_{hy} / A_h. \quad (3.18)$$

На рис. 3.10, 3.11 подано залежності питомої потужності системи опалення та приведенного опору теплопередачі зовнішніх огорожень від питомих річних витрат теплоти. Також позначено класи енергетичної ефективності будинку за [91] (табл. 3.4).

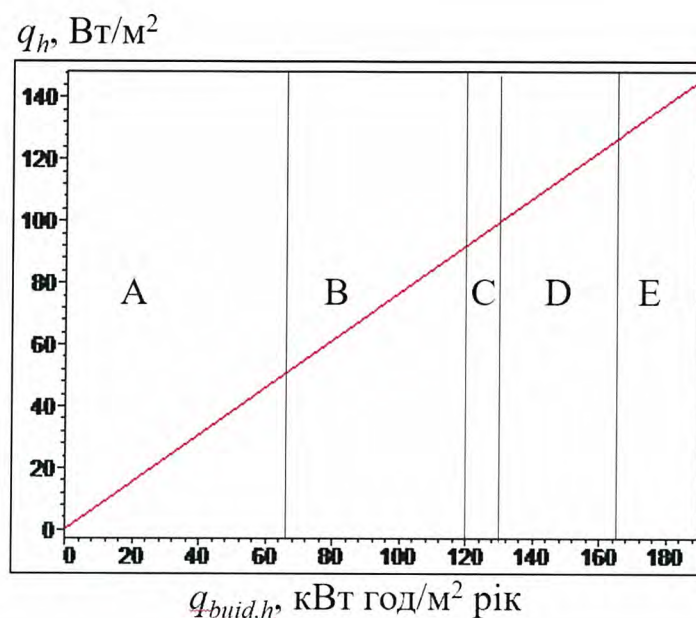


Рисунок 3.10 – Питома розрахункова потужність системи опалення

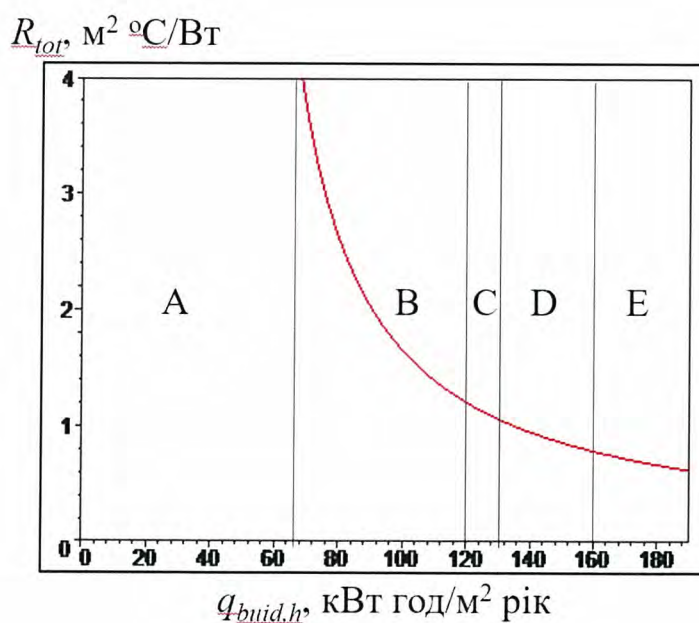


Рисунок 3.11 – Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожень

На рис. 3.12 наведено залежності часток витрат теплоти через огорожувальні конструкції (Q_e/Q_h) і на нагрівання вентиляційного повітря (Q_v/Q_h) у загальному теплоспоживанні від приведенного опору теплопередачі огорожень.

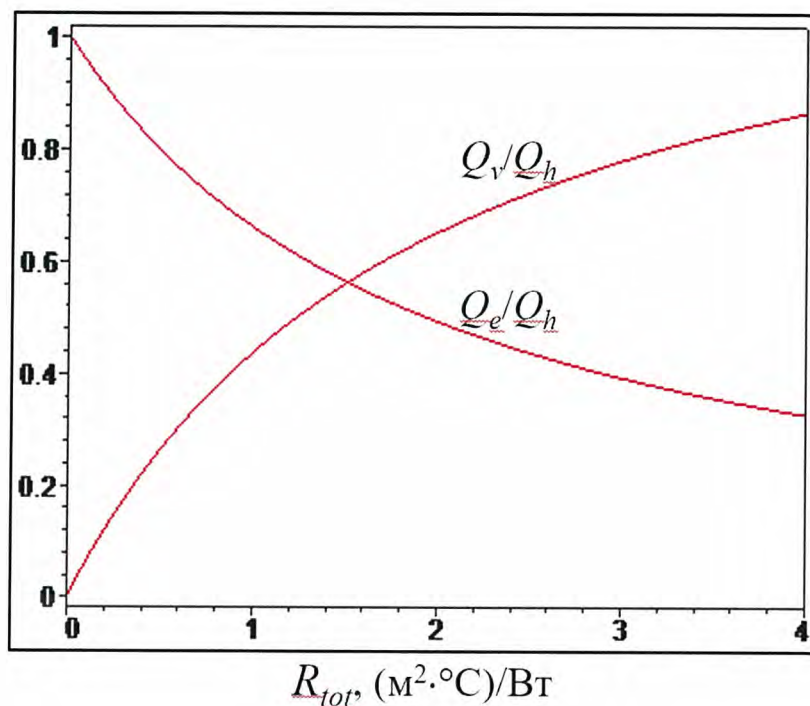


Рисунок 3.12 – Частки витрат теплоти через огорожувальні конструкції та на нагрівання вентиляційного повітря в загальному теплоспоживанні

Таблиця 3.4 – Класифікація житлових будівель за енергетичною ефективністю [91]

Кількість поверхів	Значення загальних показників питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води (EP), кВт·год/м² [кВт·год/м³] для класу енергетичної ефективності житлових будівель						
	A	B	C	D	E	F	G
1–3	<66	<119	<132	<165	<198	<231	>231

Аналіз отриманих результатів дає змогу зробити такі висновки. Завдяки збільшенню приведенного опору теплопередачі до 3,5 м²·°C/Вт можна знизити

річні витрати теплоти на опалення до 70 кВт·год/м²; при цьому розрахункова питома потужність системи опалення становитиме близько 50 Вт/м².

Для подальшого зменшення теплоспоживання необхідно знижувати витрати теплоти на нагрівання вентиляційного повітря (наприклад, шляхом утилізації вторинного тепла витяжного повітря за допомогою рекуператорів, теплових насосів, підігріву припливного повітря в ґрунтових колекторах теплоти тощо).

3.6. Система сонячного опалення на основі сонячних колекторів

Розрахунок системи сонячного опалення доцільно виконувати за середньомісячними показниками. Площу поверхні та кількість секцій сонячних колекторів (СК) визначимо за даними останнього повного місяця опалювального періоду (березень). Азимут СК $\alpha = 0^\circ$, кут нахилу до горизонту $\beta = \varphi + 15^\circ$, де φ – географічна широта району будівництва.

Середньомісячна теплова потужність системи опалення, Вт:

$$Q_{h,min} = Q_h (t_{int} - t_{ext,min}) / (t_{int} - t_{ext}), \quad (3.19)$$

де Q_h – максимальна розрахункова потужність, Вт, визначається за температури зовнішнього повітря t_{ext} [96],

$t_{ext,min}$ – середньомісячна температура зовнішнього повітря, °С.

Місячні витрати теплоти на опалення, Дж/міс:

$$E_{h,min} = 24 \cdot 3600 \cdot n \cdot a \cdot b \cdot Q_{h,min}, \quad (3.20)$$

де n – тривалість роботи системи опалення в цьому місяці, діб; a, b – те, що і в формулі (3.17).

Для періоду із середньомісячною температурою зовнішнього повітря $t_{ext,min} < 8^{\circ}\text{C}$ (листопад–березень) n дорівнює кількості календарних днів у місяці. Тривалість опалення в першому (жовтень) n_{10} і останньому (квітень) n_4 місяцях опалювального періоду знайдемо із системи рівнянь:

$$n_{10} + n_4 = n_{11-3} \dots n_{10}/n_4 = (t_{int} - t_{ext,10})/(t_{int} - t_{ext,4}); \quad (3.21)$$

де n_{11-3} – тривалість роботи системи опалення з листопада по березень:

$n_{11-3} = Z - (n_{11} + n_{12} + n_1 + n_2 + n_3)$; Z – тривалість опалювального періоду, діб;

$t_{ext,4}$, $t_{ext,10}$ – середньомісячні температури зовнішнього повітря у квітні та жовтні відповідно. Тоді

$$n_4 = n_{11-3} (t_{int} - t_{ext,4}) / (2 t_{int} - t_{ext,4} - t_{ext,10}); \quad (3.22)$$

$$n_{10} = n_{11-3} (t_{int} - t_{ext,10}) / (2 t_{int} - t_{ext,4} - t_{ext,10}). \quad (3.23)$$

Середньомісячні добові надходження сонячної енергії на поверхню СК, Дж/(м²·доба):

$$e_{k,day} = K E, \quad (3.24)$$

де E – середньомісячні добові надходження сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню, Дж/(м²·доба) [97];

K – відношення кількостей сонячної радіації, що надходять на похилу та горизонтальну поверхні. Коефіцієнт K обчислюється за формулою:

$$K = (1 - E_d / E) K_p + (1 + \cos\beta) E_d / 2E + (1 - \cos\beta) \rho / 2, \quad (3.25)$$

де E_d – середньомісячні добові надходження дифузної (розсіяної) сонячної радіації на горизонтальну поверхню, Дж/(м²·доба) [97];

ρ – коефіцієнт відбиття від поверхні Землі за відсутності снігового покриву, $\rho = 0,2$; за наявності снігового покриву $\rho = 0,7$;

K_p – коефіцієнт перерахунку прямого випромінювання з горизонтальної на похилу поверхню:

$$K_p = (\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_{wk} + \pi \omega_{wk} \sin(\varphi - \beta) \sin \delta / 180) / (\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_w + \pi \omega_w \sin \varphi \sin \delta / 180), \quad (3.26)$$

де ω_w , ω_{wk} – часові кута заходу Сонця на горизонтальній і похилій поверхнях відповідно, градусів,

$$\omega_w = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta);$$

$$\omega_{wk} = \min (\omega_w \arccos[-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \operatorname{tg} \delta]) \quad (3.27)$$

δ – середньомісячне схилення сонця, градусів:

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{m=n_1}^{n_2} 23.45 \sin \left(360 \frac{284+m}{365} \right), \quad (3.28)$$

де n_1 , n_2 – порядкові номери початкового і кінцевого дня цього місяця в році (рахуючи від 1 січня).

Місячна питома теплопродуктивність колектора сонячної енергії (КСЕ), Дж/(м²·міс):

$$e_{km} = \eta_o \eta_{ah} F e_{kd} n, \quad (3.29)$$

де η_o – оптичний ККД КСЕ; η_{ah} – ККД акумулятора теплоти, $\eta_{ah} = 0,97$; F – середньомісячна ступінь використання сонячної енергії:

$$F = 1 - a_1 P + a_2 P^2, \quad (3.30)$$

де a_1, a_2 – коефіцієнти, що залежать від характеристик теплоізоляції КСЕ;

$$P = (t_{ck} - t_{ext, mun}) / K_b, \quad (3.31)$$

де K_b – коефіцієнт ясності атмосфери [97]; t_{ck} – температура теплоносія на вході в КСЕ, $t_{ck} = t_{co} + 5$ °С; t_{co} – температура води у зворотній лінії системи опалення, $t_{co} = 30$ °С.

Для виконання розрахунків та обґрунтування параметрів системи приймаємо до монтажу селективний плоский сонячний колектор з одинарним склінням Buderus Logasol SKN4.0 [98]. Основні характеристики колектора такі: $\eta_o = 0,92$, $a_1 = 7,9 \cdot 10^{-3}$, $a_2 = 1,6 \cdot 10^{-5}$; площа однієї секції $f_k = 2,1$ м².

Корисна площа поверхні КСЕ, м² (визначається за даними останнього повного місяця опалювального періоду – березня):

$$A_k = E_{h, mun} / e_{km}. \quad (3.32)$$

Місячна теплова продуктивність КСЕ, Дж/міс:

$$E_{k, mun} = e_{km} A_k. \quad (3.33)$$

Місячний ступінь заміщення палива (доля сонячної енергії в покритті витрат теплоти на опалення):

$$f_{mun} = \begin{cases} E_{k, mun} / E_{h, mun} & \text{при } E_{k, mun} < E_{h, mun} \\ 1 & \text{при } E_{k, mun} > E_{h, mun} \end{cases}. \quad (3.34)$$

Річний ступінь заміщення пального:

$$f_y = \gamma \Sigma \min(E_{k, mun}, E_{h, mun}) / \Sigma E_{h, mun}, \quad (3.35)$$

де y – частка КСЕ в покритті витрат теплоти на опалення в разі розрахунку за середньомісячними показниками [100];

оператор $\Sigma()$ означає підсумовування за всіма місяцями опалювального періоду.

Сезонна економія палива (природного газу), м^3 :

$$B = f_y E_{h,y} / E_{gh} \eta_g, \quad (3.36)$$

де $E_{h,y}$ – річні витрати теплоти на опалення, Дж, $E_{h,y} = 3,6 \cdot 10^6 Q_y$; E_{gh} – робоча теплота згоряння газу, $E_{gh} = 34,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3$; η_g – коефіцієнт корисної дії теплогенератора, $\eta_g = 0,9$.

3.7. Система опалення на основі теплового насоса з вертикальним ґрунтовим колектором тепла

Режим роботи теплового насосу (ТН) бівалентний – паралельний. Для заданого району будівництва температуру бівалентності t_b доцільно прийняти рівною середньомісячній температурі зовнішнього повітря найхолоднішого місяця (січня) $t_{ext,1}$.

Середньомісячний коефіцієнт перетворення енергії в січні:

$$\varepsilon_1 = \nu(273 + t_{w0}) / (t_{w0} - t_{w1}), \quad (3.37)$$

де ν – коефіцієнт термодинамічної недосконалості ТН, $\nu = 0,5$;

t_{w0} – температура води в лінії подачі системи опалення $t_{w0} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$;

t_{w1} – середньомісячна температура теплоносія на вході в ґрунтовий колектор у січні, $t_{w1} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Необхідна теплова потужність теплового насосу (ТН), Вт:

$$Q_{hp} = Q_{h1}, \quad (3.38)$$

де Q_{h1} – середньомісячна теплова потужність системи опалення в січні.

Необхідна електрична потужність компресора ТН, Вт:

$$W = Q_{hp}/\varepsilon_1. \quad (3.39)$$

Типорозмір теплового насосу (ТН) визначається величинами Q_{hp} і W . Для реалізації прийнятої теплотехнічної схеми системи приймаємо до встановлення тепловий насос з вертикальним ґрунтовим колектором тепла ТН Buderus Logatherm WPS 17 [99].

Середньомісячна теплова потужність ґрунтового колектора в січні, Вт:

$$Q_{k1} = Q_{hp} - W = Q_{hp}(1 - 1/\varepsilon_1). \quad (3.40)$$

Середньомісячна питома лінійна теплова потужність ґрунтового колектора в січні, Вт/м:

$$q_{k1} = (t_s - t_{wk1})/R_{lsw}, \quad (3.41)$$

де R_{lsw} – ефективний лінійний опір теплопередачі від ґрунту до теплоносія колектора, м·°С/Вт;

t_s – температура ґрунту на глибині понад 10 м постійна протягом року і становить $t_s = 10$ °С;

t_{wk1} – середня температура теплоносія колектора в січні, $t_{wk1} = t_{w1} + \delta t_k/2$,

δt_k – перепад температури в контурі колектора, $\delta t_k = 4$ °С.

Ефективний лінійний опір теплопередачі ґрунтового колектора R_{lsw} визначається теплофізичними характеристиками ґрунтового масиву в зоні будівництва. На основі аналізу та узагальнення відомих літературних і довідкових даних [101–107], що стосуються теплової потужності колекторів у

різних геологічних умовах, отримано наближені значення R_{lsw} для різних видів порід (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Опір теплопередачі ґрунтового колектора, R_{lsw} м·°С/Вт

Тип ґрунту	R_{lsw}	Тип ґрунту	R_{lsw}
Кам'янисті породи з високою теплопровідністю $\lambda > 3$ Вт/(м·°С)	0,11	Кам'янистий ґрунт, насичені водою осадові породи	0,15
Кислі магматичні породи, граніт	0,12	Основні магматичні породи	0,17
Пісковик, гравій, водоносний	0,13	Глина, суглинок	0,2
Вапняк (цільний)	0,14	Пісковик, гравій сухий $\lambda < 1,5$ Вт/(м·°С)	0,38

Отримані дані узгоджуються з результатами чисельного моделювання нестационарного ґрунтового теплообміну [103]. У подальших розрахунках приймаємо $R_{lsw} = 0,15$ м·°С/Вт, що відповідає водонасиченим осадовим породам.

Глибина свердловини колектора, м:

$$h = Q_{k1}/q_{k1}. \quad (3.42)$$

Середньомісячна температура теплоносія $t_{w,mun}$ на вході в ґрунтовий колектор і середньомісячна теплова потужність колектора $Q_{k,mun}$ в інші місяці опалювального періоду знаходяться шляхом розв'язання системи рівнянь:

$$Q_{k,mun} = q_{k,mun}h;$$

$$Q_{k,mun} = Q_{h,mun} (1 - 1/\varepsilon_{mun}). \quad (3.43)$$

де $q_{k,mun} = (t_s - t_{wk,mun})/R_{lsw}$, $t_{wk,mun} = t_{w,mun} + \delta t_k/2$, $\varepsilon_{mun} = v(273 + t_{w0})/(t_{w0} - t_{w,mun})$.

Місячний ступінь заміщення палива (частка енергії, отриманої з ґрунту, у покритті витрат теплоти на опалення):

$$f_{mun} = Q_{k,mun}/Q_{h,mun}. \quad (3.44)$$

Річний ступінь заміщення палива:

$$f_y = \gamma \Sigma Q_{k,mun} n / \Sigma Q_{h,mun} n. \quad (3.45)$$

3.8. Чисельні результати моделювання по системам опалення

Для аналізу приймаємо будинок площею 270 м² з річною витратою теплоти на опалення $Q_y = 33010$ кВт·год. Питомі річні витрати теплоти на опалення $q = 123,6$ кВт·год/м², що характеризує будівлю як таку, що має клас енергетичної ефективності – С.

Основні енергетичні показники систем опалення на основі сонячних колекторів і теплового насосу наведені в табл. 3.6, 3.7, відповідно.

Таблиця 3.6 – Показники системи опалення на основі сонячного колектора

Параметр	Місяць року						
	X	XI	XII	I	II	III	IV
$t_{ext,mun}, ^\circ\text{C}$	11,1	5,9	1,4	-1,7	-1,0	2,6	9,0
$E_{h,mun}, \text{ГДж}$	1,13	17,9	24,4	28,5	24,9	22,9	1,86
$E_{k,mun}, \text{ГДж}$	2,82	9,91	6,87	6,44	9,44	22,9	5,13
f_{mun}	1	0,55	0,28	0,23	0,38	1	1
$F_k = 124 \text{ м}^2; f_y = 0,38; B = 1490 \text{ м}^3$							

Для наочного представлення характеру теплоспоживання протягом опалювального періоду на рис. 3.13 наведено діаграму графіка теплового

навантаження будівлі. На рис. 3.14 подано діаграму коефіцієнта заміщення палива, що демонструє частку заміщення традиційної енергії (або палива) відновлюваними джерелами в межах прийнятих схем теплопостачання.

Таблиця 3.7 – Показники системи опалення на основі теплового насосу

Параметр	Місяць року						
	X	XI	XII	I	II	III	IV
$Q_{h,min}$, кВт	6,06	9,60	12,7	14,8	14,3	11,9	7,49
$Q_{k,min}$ кВт	4,69	7,31	9,54	11,0	10,7	8,97	5,76
ε	4,42	4,19	4,02	3,91	3,94	4,06	4,32
f_{min}	0,77	0,76	0,75	0,74	0,75	0,75	0,77
$h=206$ м (дві свердл. по 103 м); $Q_{hp} = 14,78$ кВт; $W = 3,78$ кВт; $f_y = 0,71$; $B = 2800$ м ³							

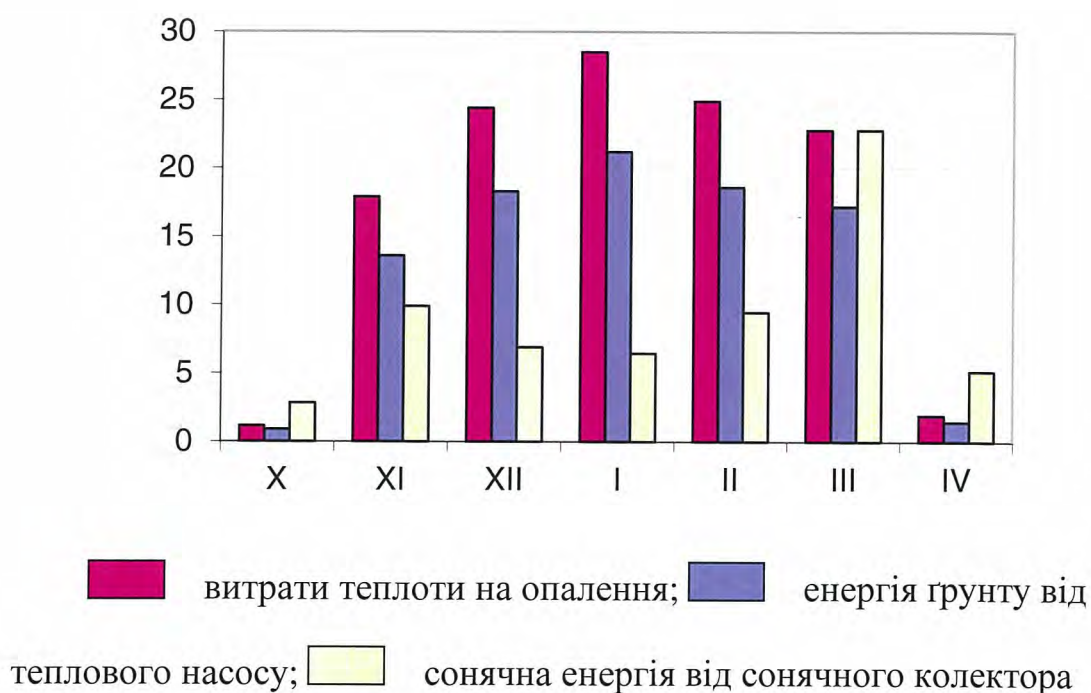


Рисунок 3.13 – Графік теплового навантаження, ГДж/міс

Система опалення на основі теплового насоса характеризується вищим і стабільнішим протягом року ступенем заміщення палива. Недоліком

теплого насоса є споживання відносно дорогої електричної енергії. Основною перевагою системи опалення із сонячним колектором є незалежність від джерел електропостачання, тоді як її недоліками є невисокий ступінь заміщення палива, а також суттєва залежність від метеорологічних умов.

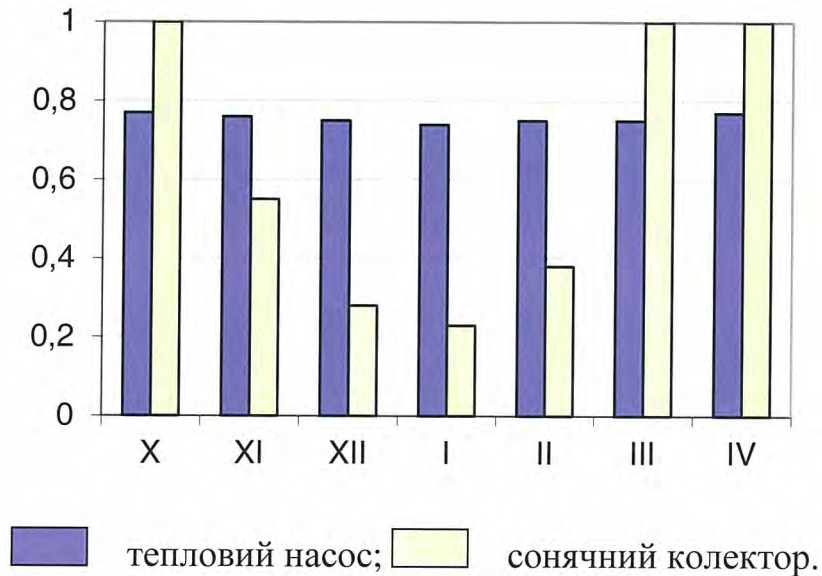


Рисунок 3.14 – Коефіцієнт заміщення палива

Остаточне рішення щодо вибору тієї чи іншої системи доцільно ухвалювати на основі розрахунку терміну окупності проекту з урахуванням фактичних і прогнозних тарифів на енергоносії, а також можливостей залучення кредитних коштів.

3.9. Висновки до розділу 3

1. Виконано дослідження ефективності використання електричної енергії від сонячної електростанції для умов середньоевропейської зони (м. Дніпро: 48°27' пн. ш., 34°59' сх. д.). Визначено відносну ефективність виробітку електричної енергії сонячними панелями залежно від азимутальної орієнтації (схід, південний схід, південь, південний захід, захід) та кута нахилу до горизонту (0–90°).

Результати розрахунків показали, що кут нахилу 35° при орієнтації на південь забезпечує максимальний річний виробіток електричної енергії в умовах м. Дніпра. За такого самого кута нахилу зниження ефективності становить 12 % при орієнтації на схід та 22 % – на захід. Вертикально встановлені сонячні панелі, орієнтовані на схід або захід, характеризуються зменшенням ефективності відповідно на 43 % і 61 % порівняно з оптимальним розміщенням. У північних широтах відхилення ефективності не перевищує 10 %, якщо панелі встановлені в секторі між південним сходом (азимут -45°) та південним заходом (азимут $+45^\circ$) з кутом нахилу $25-65^\circ$.

2. Визначено раціональну встановлену потужність сонячної електростанції для середньостатистичного домогосподарства в умовах м. Дніпра за умови покриття енергозатрат на побутові потреби, підігрів гарячої води та приготування їжі, які в середньому становлять 630 кВт·год/міс. Показано, що за річного споживання 7560 кВт·год найбільш раціональною є СЕС потужністю 6,3 кВт з річною генерацією 7528 кВт·год, що відповідає різниці лише 0,4 %.

Отримані результати свідчать про реальну можливість забезпечення автономного електропостачання малоповерхового житлового будинку в умовах середньоевропейської кліматичної зони України, зокрема для м. Дніпра, з метою покриття побутових потреб, приготування гарячої води та їжі.

3. На основі розрахунку річних витрат теплоти на опалення проаналізовано енергетичні показники малоповерхової будівлі з визначенням класу енергоефективності залежно від приведенного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Встановлено залежності часток тепловтрат через огороження та на нагрівання вентиляційного повітря від цього показника, а також визначено його раціональне значення, подальше підвищення якого є недоцільним.

Завдяки збільшенню приведенного опору теплопередачі до $3,5 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт}$ можна знизити річні витрати теплоти на опалення до 70 кВт·год/м²; при цьому розрахункова питома потужність системи опалення становитиме близько 50

Вт/м². Для подальшого зменшення теплоспоживання необхідно знижувати витрати теплоти на нагрівання вентиляційного повітря (наприклад, шляхом утилізації вторинного тепла витяжного повітря за допомогою теплових насосів, рекуператорів, підігріву припливного повітря в ґрунтових колекторах теплоти тощо).

4. Виконано розрахунки системи сонячного опалення на основі сонячних колекторів за середньомісячними кліматичними показниками. Площу поверхні та кількість секцій сонячних колекторів визначено за даними останнього повного місяця опалювального періоду – березня. Запропоновано залежності для визначення місячного ступеня заміщення палива, що характеризує частку сонячної енергії в покритті витрат теплоти на опалення.

5. На основі аналізу відомих даних щодо теплової потужності колекторів отримано значення ефективного лінійного опору теплопередачі колектора для різних видів порід. Ці дані добре узгоджуються з результатами раніше виконаного чисельного моделювання процесів нестационарного ґрунтового теплообміну. Виконано розрахунки системи опалення на основі теплового насоса з вертикальним ґрунтовим колектором тепла.

6. На основі розрахунку коефіцієнта заміщення палива для систем опалення на основі сонячного колектора (СК) і теплового насоса (ТН) встановлено наступне. Система опалення на основі теплового насосу характеризується більш високим і стабільним протягом року ступенем заміщення палива. Недоліком ТН є споживання відносно дорогої електроенергії. Основною перевагою системи з СК є незалежність від джерел електроенергії, а недоліком – невисокий ступінь заміщення палива, а також суттєва залежність від впливу метеорологічних умов.

3.10. Список використаних джерел у розділі 3

У розділі 3 використані [82...107] літературні джерела. Їх найменування наведені в загальному списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМФОРТНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВ В ПРИМІЩЕННЯХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

4.1. Фізико-математична модель теплообміну людини з навколишнім середовищем

Як уже зазначалося, здоров'я і працездатність людини здебільшого залежать від санітарно-гігієнічних умов, зокрема, мікроклімату і параметрів повітряного середовища всередині приміщень житлових і виробничих будівель.

Мікроклімат приміщення – це стан його внутрішнього середовища, який впливає на людину та характеризується температурою повітря й огорожувальних конструкцій, відносною вологістю і швидкістю руху повітря, а також концентрацією вуглекислого газу.

Комфортними вважаються умови, за яких людина, перебуваючи в робочій або обслуговуваній зоні приміщення, не відчуває теплового дискомфорту, зокрема перегріву чи переохолодження. Стан комфорту має суб'єктивний характер і формується внаслідок комплексного впливу параметрів мікроклімату на організм людини.

З інженерно-технічної точки зору особливу роль відіграють ті параметри мікроклімату, які можуть регулюватися системами життєзабезпечення будівлі протягом усього року. Насамперед це чинники, що визначають теплові відчуття людини. Системи життєзабезпечення забезпечують можливість регулювання температури, відносної вологості та рухливості внутрішнього повітря, що дає змогу підтримувати необхідні параметри мікроклімату для комфортного проживання та високої продуктивності праці.

Людське тіло постійно обмінюється теплом з навколишнім середовищем, щоб підтримувати стабільну температуру тіла (близько 37 °C). Основними механізмами теплообміну є: теплопровідність – передача тепла через прямий контакт з поверхнями (наприклад, сидячи на стільці); конвекція

– теплообмін між тілом і навколишнім повітрям за рахунок руху повітря; випромінювання – передача тепла за допомогою електромагнітних хвиль між тілом і навколишніми поверхнями; випаровування – втрата тепла через випаровування поту зі шкіри або вологи з дихальних шляхів.

Математична модель теплообміну.

Сумарний теплообмін (Q_{total}) між людиною і навколишнім середовищем можна виразити як [108, 109]:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{cond}} + Q_{\text{conv}} + Q_{\text{rad}} + Q_{\text{evap}}, \quad (4.1)$$

де Q_{cond} , Q_{conv} , Q_{rad} , Q_{evap} – тепловіддача організму людини, відповідно, через теплопровідність, конвекцію, випромінювання, випаровування.

Теплопровідність (Q_{cond}) – теплопередача за допомогою теплопровідності залежить від різниці температур між тілом і поверхнею, що контактує:

$$Q_{\text{cond}} = h_{\text{cond}} A_{\text{contact}} (T_{\text{skin}} - T_{\text{surface}}), \quad (4.2)$$

де: h_{cond} – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К); A_{contact} – площа контакту між тілом і поверхнею, м²; T_{skin} – температура шкіри (~33°C); T_{surface} – температура поверхні, К.

Конвекція (Q_{conv}) – передача тепла залежить від температури та швидкості повітря:

$$Q_{\text{conv}} = h_{\text{conv}} A_{\text{body}} (T_{\text{skin}} - T_{\text{air}}), \quad (4.3)$$

де: h_{conv} – коефіцієнт конвективної теплопередачі, $h_{\text{conv}} = 8,3 \cdot v^{0.6}$ (для примусової конвекції), Вт/(м²·К); A_{body} – площа поверхні тіла (~1,8 м² для середньостатистичної дорослої людини); T_{air} – температура повітря.

Випромінювання (Q_{rad}) – тепловіддача через випромінювання залежить від різниці температур між тілом і навколишніми поверхнями:

$$Q_{\text{rad}} = \sigma \epsilon A_{\text{body}}(T_{\text{skin}}^4 - T_{\text{surf}}^4), \quad (4.4)$$

де: σ – постійна Стефана–Больцмана ($5,67 \times 10^{-8}$ Вт/м² К⁴);

ϵ – випромінювальна здатність шкіри ($\sim 0,97$);

T_{surf} – температура навколишніх поверхонь (К).

Випаровування (Q_{evap}) – втрати тепла залежать від швидкості потовиділення та вологості повітря:

$$Q_{\text{evap}} = m_{\text{sweat}} h_{\text{fg}}, \quad (4.5)$$

де: m_{sweat} – масова витрата поту (кг/с);

h_{fg} – прихована теплота випаровування води ($\sim 2,43 \cdot 10^6$ Дж/кг при 30 °С).

4.2. Розрахунок товщини термоізоляційного шару огорожувальної конструкції з теплообмінними елементами

Розрахунок тепловтрат у холодний період здійснюється у два етапи. Перший етап полягає в розрахунку тепловтрат через стінові огорожувальні конструкції, у яких відсутні вбудовані теплообмінні елементи, за умови забезпечення нормативного значення опору теплопередачі відповідно до чинних вимог.

Другий етап передбачає визначення тепловтрат і розрахунок товщини теплоізоляційного шару стінового огороження, у якому влаштовані теплообмінні елементи. Другий етап починається з визначення товщини утеплювального шару стінового огороження наступним чином:

Задаємося величиною теплових втрат від теплообмінних елементів, вбудованих у зовнішню огорожу до зовнішнього повітря (рис. 4.1).

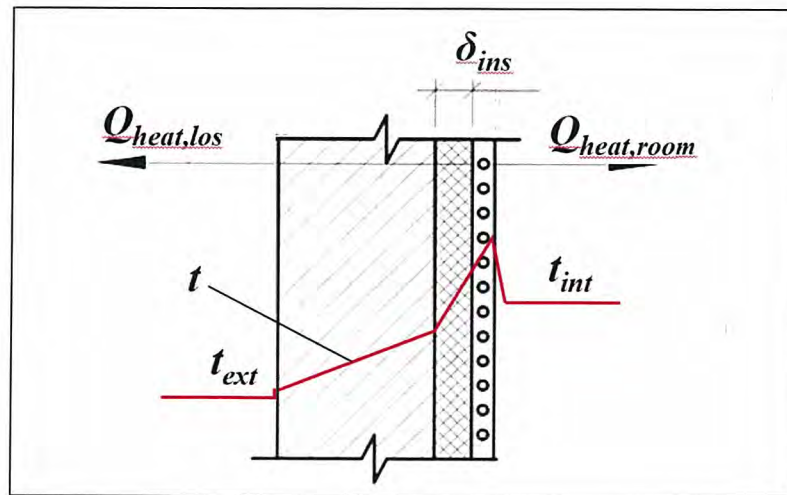


Рисунок 4.1 – Схема стіни з вбудованими теплообмінними елементами

$$Q_{heat} = Q_{heat,loss} + Q_{heat,room}. \quad (4.6)$$

У першому наближенні задаємося, що кількість тепла, яка надходить від теплообмінників у приміщення, дорівнює сумі кількості тепла, що втрачається приміщенням, і нормованих тепловтрат трубопроводів, розташованих у зовнішній огорожувальній конструкції:

$$Q_{heat} = Q_{heat,loss} + 0.7Q_{n,heat,room}, \quad (4.7)$$

де $Q_{heat,loss}$ – теплові втрати приміщенням, розраховані під час першого етапу;

$Q_{n,heat,room}$ – нормовані теплові втрати від трубопроводів, які розташовані в зовнішній огорожувальній конструкції.

Визначаємо товщину утеплювального шару виходячи з опалювального навантаження на систему опалення та конструкції зовнішніх огорожень.

Розраховуємо питомі тепловтрати конкретного приміщення з площею стіни A_w , за формулою:

$$q = k (t_{int} - t_{ext}), \quad (4.8)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі від трубопроводу до зовнішнього повітря;

$t_{\text{int}}, t_{\text{ext}}$ – температура, відповідно, внутрішнього і зовнішнього повітря.

Питомі тепловтрати конкретного приміщення також можна визначити за формулою:

$$q = Q_{\text{heat}}/A_w, \quad (4.9)$$

де Q_{heat} – теплова потужність системи опалення;

A_w – площа зовнішньої стіни без урахування віконного отвору, в який вбудований теплообмінний елемент.

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі з рівняння (4.8):

$$k = q/(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}). \quad (4.10)$$

Коефіцієнт теплопередачі частини огорожі від теплообмінника до зовнішнього повітря можна визначити за формулою:

$$k = 1/(\Sigma(\delta_i/\lambda_i) + \delta_{\text{ins}}/\lambda_{\text{ins}} + 1/\alpha_e) \quad (4.11)$$

де δ_i, λ_i – товщина і коефіцієнт теплопровідності конструктивних шарів огорожі від трубопроводу до зовнішнього повітря;

$\delta_{\text{ins}}, \lambda_{\text{ins}}$ – товщина і коефіцієнт теплопровідності утеплювального шару;

α_e – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стіни зовнішньому повітрю.

З формули (4.11) визначимо товщину утеплювального шару:

$$\delta_{\text{ins}} = (1/k - 1/\alpha_e - \Sigma(\delta_i/\lambda_i)) \lambda_{\text{ins}}. \quad (4.12)$$

Підставивши рівняння (4.10) у рівняння (4.11) отримаємо:

$$\delta_{\text{ins}} = ((t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})/q - 1/\alpha_e - \Sigma(\delta_i/\lambda_i)) \lambda_{\text{ins}}. \quad (4.13)$$

Підставивши рівняння (4.9) в рівняння (4.13) отримаємо:

$$\delta_{ins} = (A_w(t_{int} - t_{ext})/Q_{heat} - 1/\alpha_e - \sum(\delta_i/\lambda_i)) \lambda_{ins}. \quad (4.14)$$

Розраховану величину утеплювача δ_{ins} порівнюємо з товщиною утеплювача, отриману на першому етапі при розрахунку стінового огородження з опором теплопередачі згідно нормованих значень $\delta_{ins,n}$. При цьому повинна виконуватись умова:

$$\delta_{ins} \geq \delta_{ins,n}. \quad (4.15)$$

Якщо умова (4.15) не виконується, то збільшуємо товщину утеплювача і виконуємо перерахунок теплового навантаження на систему опалення.

4.3. Енергоефективні поверхневі системи забезпечення мікроклімату в приміщеннях в холодний і теплий періоди року

Як уже зазначалося, значення параметрів мікроклімату приміщення залежать від його функціонального призначення, категорії та виду виконуваних у ньому робіт, періоду року, а також інших чинників, що визначають функціональність і комфортність життєдіяльності людини.

Відчуття теплового комфорту людини в приміщенні визначається сукупною дією таких факторів: температури внутрішнього повітря; температури внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій; відносної вологості повітря; швидкості руху повітря; теплопродукції та терморегуляції організму людини з урахуванням одягу; результуючої температури приміщення; локальної асиметрії результуючої температури (рис. 4.2).

Основне поняття комфорту безпосередньо пов'язане саме з тепловими умовами проживання людини.

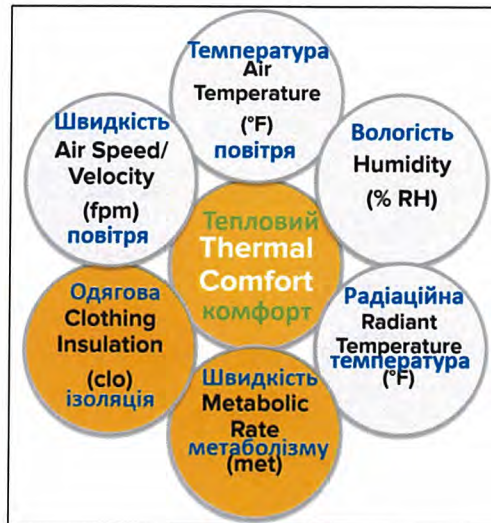


Рисунок 4.2 – Основні фактори, що впливають на відчуття людиною комфорту в приміщенні [112]

Оптимальні параметри мікроклімату – «поєднання значень показників мікроклімату, які при тривалій і систематичній дії на людину забезпечують нормальний тепловий стан організму при мінімальній напрузі механізмів терморегуляції і відчуття комфорту не менше ніж у 80 % людей, які знаходяться в приміщенні». Застосовувана система обігріву або охолодження в приміщенні повинна забезпечити сприятливу для людини теплову обстановку. Для підтримки постійної температури організм людини безперервно виробляє тепло, яке віддається навколишньому середовищу.

У межах температурних умов, що відповідають тепловому комфорту, теплообмін людини з навколишнім середовищем відбувається переважно за рахунок конвекції та теплового випромінювання. За умов теплового комфорту структура теплообміну людини характеризується таким розподілом: конвекція і теплопровідність – близько 33 %; теплове випромінювання – близько 46 %; випаровування і теплообмін у процесі дихання – близько 21 %.

Інтенсивність віддачі теплоти людиною за допомогою конвекції і теплопровідності залежить від температури навколишнього повітря і його рухливості. Інтенсивність віддачі теплоти випромінюванням залежить від температури внутрішніх поверхонь конструкцій, які захищають, і зовнішніх

поверхонь обладнання. Інтенсивність віддачі теплоти людиною випаровуванням і диханням залежить від температури, вологості і насиченості, киснем повітря.

Таким чином, основними параметрами середовища у визначенні тепловологічного комфорту є: температура, вологість, рухливість повітря і середня температура навколишніх поверхонь приміщення. Людина відчуває не стільки температуру повітря, скільки сукупність температур повітря і радіаційну температуру приміщення, які інакше називаються «Температура приміщення».

Забезпечення комфортних мікрокліматичних умов у приміщеннях житлових будинків ґрунтується на підтриманні нормативних значень основних параметрів мікроклімату – температури внутрішнього повітря, відносної вологості та швидкості його руху – за допомогою систем життєзабезпечення, від функціонування яких безпосередньо залежать умови проживання.

Однак результати ряду досліджень впливу мікрокліматичних параметрів у приміщеннях на самопочуття людини дозволили виділити ще один параметр – температуру всіх поверхонь, звернених усередину приміщення. Аналіз результатів цих досліджень дозволив зробити висновок про те, що радіаційну температуру огорожувальних поверхонь, звернених у середину приміщення t_R , необхідно обов'язково враховувати при оцінці впливу на організм людини, тому що вона у ряді випадків може істотно впливати на стан мікроклімату.

Проведений аналіз систем опалення засвідчив, що найбільш сприятливий температурний режим у приміщеннях забезпечується за умови застосування стінових та підлогово-стельових систем. Використання таких рішень дає змогу зменшити нерівномірність теплового опромінення та інтенсивність теплообміну між тілом людини й навколишнім середовищем під час перебування в приміщенні. Крім того, завдяки значній площі теплообмінної поверхні зазначені системи допускають використання низькотемпературних теплоносіїв.

У помірному тепловому середовищі, або за умови, що різниця між радіаційною температурою та температурою повітря не перевищує $(t_R - t_{int}) < 4$ °С, у звичайних приміщеннях із висотою стель до 4 м та за невеликої рухливості повітря (до 0,15 м/с) тепловий стан внутрішнього середовища доцільно характеризувати результуючою температурою.

У цьому випадку результуюча температура приймається рівною середньому арифметичному між температурою внутрішнього повітря та середньою радіаційною температурою огорожувальних поверхонь:

$$t_{\text{room}} = 0,5(t_R + t_{\text{int}}). \quad (4.16)$$

У сучасних громадських і житлових будинках величина внутрішніх тепловиділень досягає великих значень і в умовах нашої країни в опалювальний період може перевищувати трансмісійні тепловтрати. Традиційні системи кондиціонування відрізняються високим енергоспоживанням і капітальними витратами, займають значну площу для розміщення обладнання, вимагають великих просторів для прокладання повітропроводів з ретельною розробкою схем повітророзподілення. У зв'язку з цим великий інтерес викликають системи, які реалізують нові підходи до кліматизації приміщень, такі як поверхневі системи нагріву і охолодження (променистого опалення та охолодження). Такі системи дозволяють як охолоджувати, так і обігрівати приміщення за рахунок охолодження або нагрівання поверхонь стелі, стін або підлоги. Такі системи забезпечують комфорт, більшою мірою відповідають характеру теплообміну людини. Такими системами забезпечується тепловий комфорт у приміщеннях при менших температурах повітря. Так, у приміщенні з нагрітими поверхнями стелі, стін або підлоги людина відчуває тепловий комфорт за температури повітря $t_{\text{int}} = 18$ °С і середньої результуючої температури приміщення $t_{\text{room}} = 22$ °С. Водночас у приміщенні з традиційною водяною радіаторною системою опалення аналогічні теплові відчуття досягаються лише за температури

повітря $t_{int} = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, оскільки температура внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій у цьому випадку становить приблизно $t_R = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким чином, різниця між температурами повітря в розглянутих приміщеннях становить $\Delta t = 22 - 18 = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отримане зменшення температури повітря у приміщенні при застосуванні поверхневих систем нагріву й охолодження приводить до зменшення різниці температур між зовнішнім і внутрішнім повітрям, що, у свою чергу, сприяє зниженню тепловтрат у холодний період року з вентиляційним повітрям, яке видаляється.

Зниження температури повітря на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в приміщеннях з поверхневою системою опалення та електронною системою терморегулювання в порівнянні з водяною системою і терморегулятором прямої дії на радіаторі дає 7–8 % економії первинного енергоносія [110].

При використанні поверхневої стельової системи кондиціонування обсяг зовнішнього повітря, який подається, зменшується на 20–70 %, що призводить до економії електроенергії при нагнітанні і охолодженні повітря. Скорочення повітрообміну дозволяє скоротити витрату електроенергії вентилятором на 80 % (протягом усього року), а холодильну потужність на 25 %. Повітрообмін може залишатися на мінімумі, регламентованому нормами, оскільки холодна стеля забезпечує підвищену дію для охолодження. Завдяки цій властивості при наявності стельової системи охолодження в приміщенні з температурою $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ створюється відчуття температури $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, яку можна отримати за допомогою традиційних установок кондиціонування.

Конструювання панелі стінового поверхнево-розвиненого обігріву доцільно здійснювати з урахуванням заданого розподілу температури по висоті приміщення. Для забезпечення теплового комфорту температурний режим має бути неоднорідним: у зоні ступнів температура повинна бути на $1\text{--}2\text{ }^{\circ}\text{C}$ вищою, ніж у зоні грудей, а в зоні голови – на $1\text{--}2\text{ }^{\circ}\text{C}$ нижчою від температури в зоні грудного пояса (рис. 4.3).

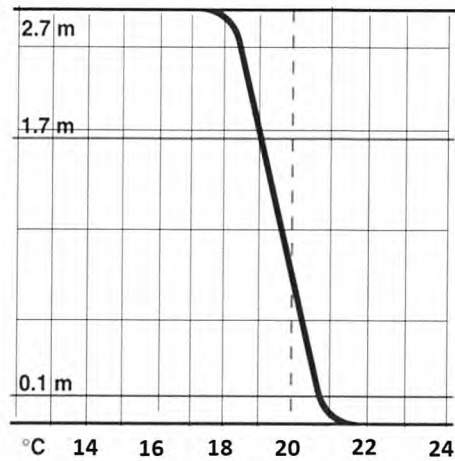


Рисунок 4.3 – «Ідеальна» крива розподілу температури по висоті приміщення для забезпечення комфортних умов [111]

З урахуванням наведених рекомендацій запропоновано кілька варіантів розміщення теплообмінних елементів у товщі зовнішньої стіни. Перший із них стосується способу подачі теплоносія до нагрівальних трубопроводів.

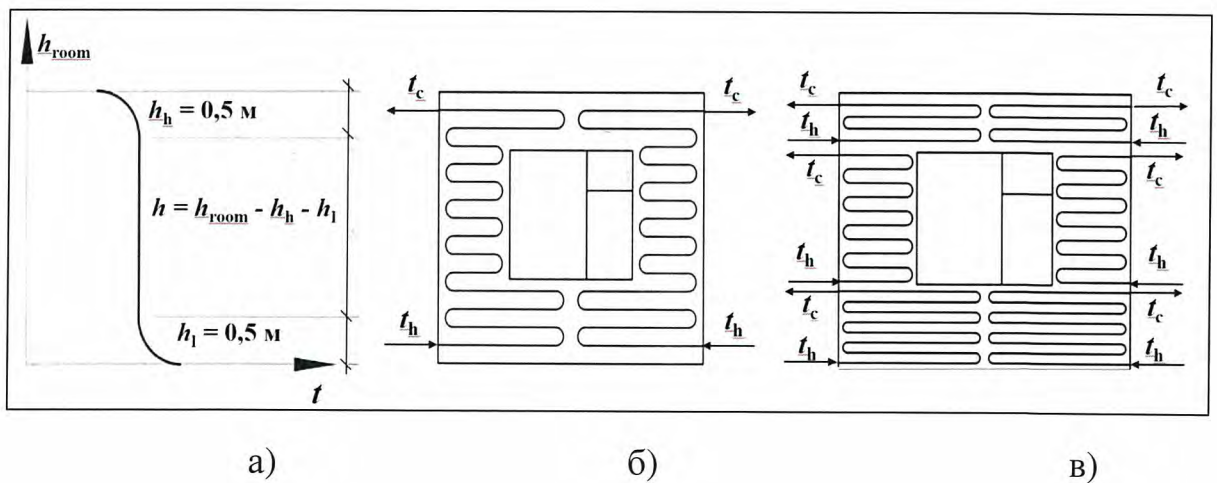


Рисунок 4.4 – а) графік розподілу температури по висоті приміщення; б) схема розкладки та подачі теплоносія в гріючі елементи зовнішньої стіни для рівномірно гріючої панелі; в) схема розкладки та подачі теплоносія в гріючі елементи зовнішньої стіни для ущільненої гріючої панелі

За такого способу теплоносій подається знизу, що дає змогу досягти більш рівномірного розподілу температури по висоті приміщення (рис. 4.4, а). Водночас у зоні ніг температура може бути на 0,5–1 °С вищою порівняно з температурою в зоні пояса та грудей, тоді як у зоні голови вона є нижчою.

Другий спосіб ґрунтується на аналогічній схемі подачі теплоносія, проте передбачає регулювання щільності укладання витків змійовика (рис. 4.4, б, в). За такої організації теплопостачання теплоносій подається знизу з вищою температурою та виходить у верхній частині системи охолодженим; при цьому в нижній зоні крок між витками є меншим, ніж у верхній частині конструкції.

У першому та другому варіантах організації поверхнево-розвиненого обігріву визначення кількості витків нагрівальних труб може здійснюватися за відомими розрахунковими методиками, у яких щільність укладання трубопроводів приймається усередненою по всій площі панелі.

Виходячи з наведених особливостей першого і другого способів організації поверхнево-розвиненого обігріву, у роботі розглянуто третій спосіб, що передбачає диференційований розподіл тепловіддачі по висоті приміщення. Орієнтуючись на схему ідеального розподілу температури по висоті приміщення, внутрішній простір поділяється на три характерні зони:

перша зона – зона ніг, висотою до 0,5 м;

друга зона – зона грудного пояса;

третя зона – зона голови, висотою до 0,5 м.

Для забезпечення теплового комфорту в зазначених зонах доцільно підтримувати такі температурні режими: у нижній зоні – $t = 20,5\text{--}21,0$ °С; у середній зоні – $t \approx 20,0$ °С; у верхній зоні – $t = 19,0\text{--}19,5$ °С.

У межах запропонованої системи можливе регулювання кількості теплоти, що віддається кожною окремою зоною, кількома способами: спосіб 3.1 – зміною кількості витків нагрівальних труб за фіксованих параметрів теплоносія на подачі; спосіб 3.2 – регулюванням витрати теплоносія, що подається в кожен контур; спосіб 3.3 – зміною температури теплоносія.

Можлива також більш детальна диференціація температури по висоті житлового приміщення (рис. 4.5). У загальному вигляді сформульовано формулу винаходу на корисну модель, відповідно до якої система опалення та охолодження, що складається з капілярних трубок, об'єднаних у мати, або трубок з циркуляцією рідкого теплоносія (переважно води), забезпечує комфортний для людини розподіл температури по висоті приміщення за рахунок регулювання температури або витрати теплоносія. Запропонована система відрізняється від традиційних настінних, підлогових і стельових радіаційних систем опалення та охолодження тим, що настінна поверхнева система поділяється на окремі зони по висоті з одночасним використанням підлогових і стельових систем, у яких температура теплоносія встановлюється відповідно до оптимального температурного профілю теплового комфорту людини.

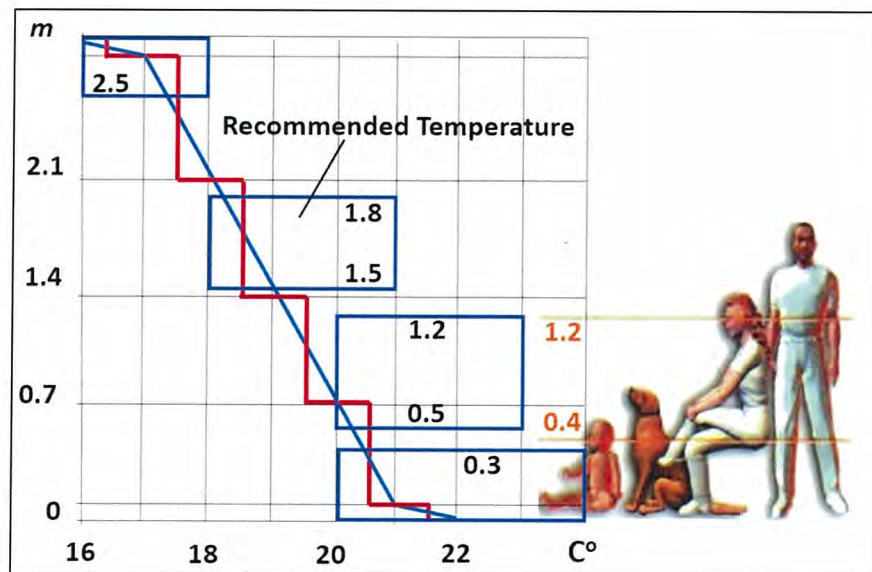


Рисунок 4.5 – Розподіл температури по висоті приміщення для забезпечення комфортних умов [111]

Опалення можливо забезпечити більш широким вибором нагрівальних елементів. В цьому випадку сформульована формула винаходу на корисну модель: Система опалення, що складається з електричних нагрівальних

елементів: або нагрівальних матів, або кабелів, або інфрачервоної плівки, або електропровідного нагрівального бетону, що забезпечує розподіл температури по висоті приміщення, комфортної для людини, яка відрізняється від звичайної стінової, підлогової та стельової радіаційних систем опалення тим, що за висотою стінова система ділиться на окремі зони, із включенням підлогової та стельової систем з різною температурою нагрівальних елементів, що відповідає розподілу температури по висоті приміщення, комфортної для людини.

Одна з можливих технологій облаштування систем поверхневого опалення та охолодження – це використання капілярно-трубчастих матів (КТМ) або використання полімерних трубопроводів, які вбудовуються в конструкцію підлоги, стін, стелі (рис. 4.6) [113]. Площа тепловіддачі або теплопоглинання поверхневими системами нагріву і охолодження велика. Тому поверхневі системи нагріву і охолодження досягають високої теплопродуктивності при економних, тобто низьких температурах опалення – 27–35 °С і високих температурах охолодження – 16–18 °С.

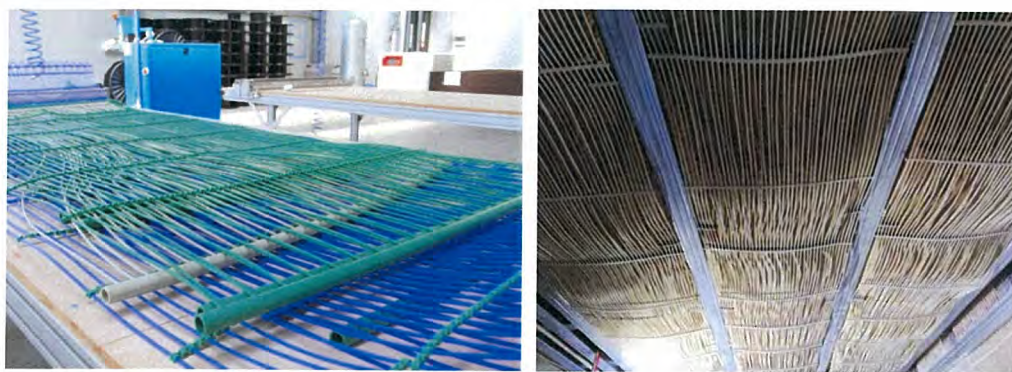


Рисунок 4.6 – Створення поверхні нагріву і охолодження капілярними матами [113]

Капілярно-трубчасті або полімерні трубопроводи монтуються: у цементній стяжці – для підлоги; в ангідритній стяжці – для підлоги; у різних видах штукатурки (цемент, гіпс, вапно, глина) – для стін і стелі; за

гіпсокартонною панеллю – для стін і стелі; у конструкції підвісної та підшивної стелі.

Теплопродуктивність поверхневими системами нагріву і охолодження при 27/32 °С температури води в системі: підлога – 100 Вт/м², стіна – 85 Вт/м², стеля – 68 Вт/м².

Холодопродуктивність поверхневими системами нагрівання та охолодження при 14/18 °С температури води в системі: підлога – 35 Вт/м², стіна – 68 Вт/м², стеля – 85 Вт/м². Теплова або холодильна продуктивність системи визначається температурою води в контурі, а також матеріалом поверхонь, у які інтегровані капілярно-трубчасті мати або трубопроводи.

На поверхні будівельної конструкції, в якій розташовані капілярні мати або полімерні трубопроводи, температура залежить від теплофізичних властивостей матеріалів стіни і конструкції огорожі.

Зазвичай температура води регулюється за допомогою термодатчика для контролю температури в приміщенні. Термодатчик безпосередньо активізує для цієї зони регулятор з термічним сервоприводом, коли фактична температура падає або піднімається нижче або вище заданої позначки, і, таким чином, потік холодної або теплої води переривається. Пристрій контролю над температурою встановлюється в тому місці, де немає доступу прямих сонячних променів, на висоті приблизно 1.5 м.

Щоб уникнути конденсації (при охолодженні) на поверхні або всередині конструкції, яка захищає, температура подачі повинна бути встановлена вище точки роси в приміщенні (зазвичай достатньо 16 °С). Тільки за цієї умови досягається високий рівень захисту від конденсації зовнішнього повітря в наших широтах. Для забезпечення додаткової безпеки в найхолоднішому місці приміщення встановлюється сенсор для визначення вологості повітря.

Якщо раптом виникне інша кліматична ситуація, з рівнем вологості вище очікуваного, можна запустити в приміщення сухе повітря. Кількість повітря, що надходить, вимірюється відповідно до вологості, яку необхідно видалити. Таким чином, потрібно враховувати температуру повітря, який

надходить, і його швидкість. Система контролю над вологістю – це ще один шлях підтримувати оптимальну температуру потоку в системі охолодження, а також звертаючи увагу на контроль над точкою роси. При цьому встановлюється постійний обсяг подачі охолодженої води і регулятор обчислює температуру точки роси з виміряної вологості в приміщенні і попередньо встановленої кімнатної температури в приладі контролю. Приклад схеми приєднання стель, що гріють і охолоджують, наведено на рис. 4.7.

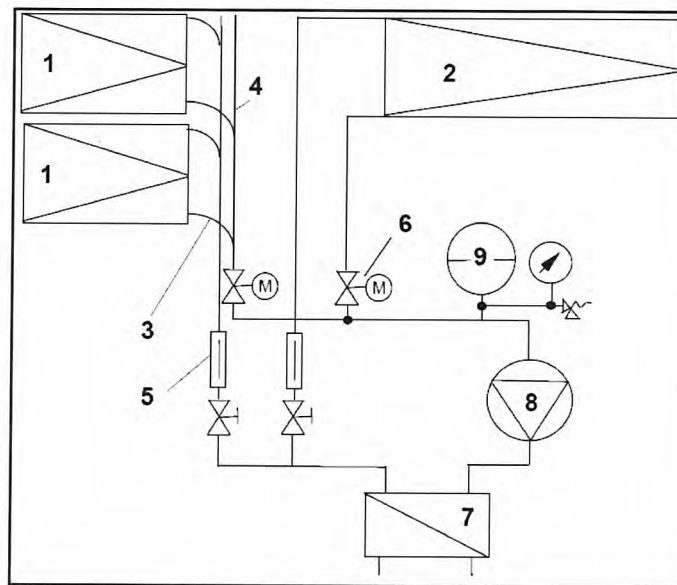


Рисунок 4.7 – Схема регуляції стельовою системою опалення та охолодження з капілярно-трубчастих матів: 1, 2 – капілярно-трубчасті мати для оштукатуреної стелі; 3 – гнучкий з'єднувальний шланг; 4 – трубопровід подачі; 5 – регулятор витрати теплоносія; 6 – регулятор витрати з сервоприводом; 7 – теплообмінник; 8 – циркуляційний насос контуру опалення або охолодження; 9 – розширювальний бак

4.4. Моделювання параметрів мікроклімату в приміщеннях будівлі

4.4.1. Моделювання температури і руху повітря в приміщенні з капілярно-трубчастими матами в режимі охолодження

Комп'ютерне імітаційне моделювання належить до ефективних методів дослідження складних систем. Для моделювання температури і руху повітря в приміщенні з капілярно-трубчастими матами була створена віртуальна модель будинку за допомогою CAD-програми. Було застосовано імітаційне моделювання, тому комп'ютерна модель максимально наближено копіює габарити та властивості фізичної моделі. Імітаційне моделювання температури і швидкості переміщення повітря всередині приміщень будинку проведено в літній період року. За планами першого поверху будинку була розроблена тривимірна модель вітальні (рис. 4.8).

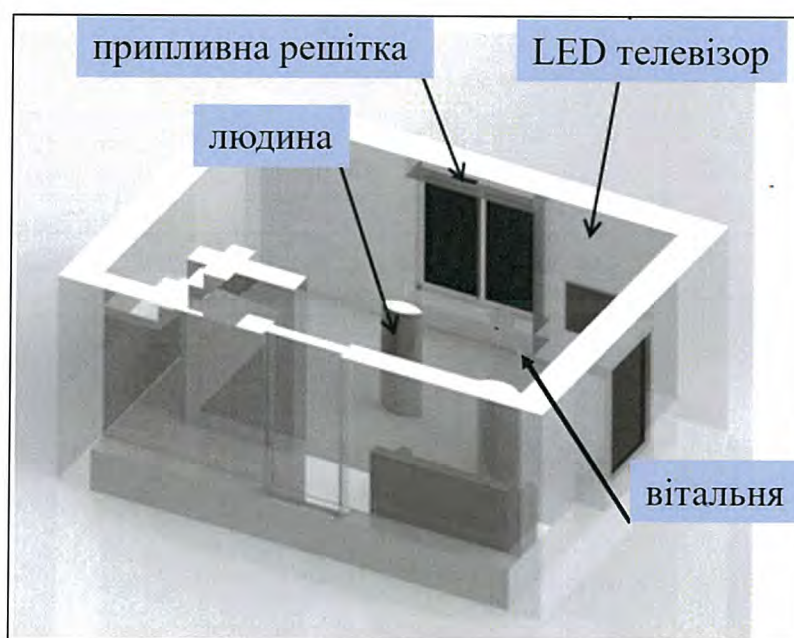


Рисунок 4.8 – Тривимірний вигляд вітальні

Розрахунки виконано в середовищі Flow Simulation із застосуванням методу скінченних елементів [114]. Моделювання руху та теплообміну текучого середовища здійснювалося на основі нестационарних рівнянь Нав'є–Стокса (збереження маси, імпульсу та енергії). Додатково враховано рівняння стану та температурні залежності в'язкості й теплопровідності; для неньютонівських рідин – залежність в'язкості від швидкості зсуву і температури, для стисливих – залежність густини від тиску. Проведено серію

розрахунків температурних полів і повітряних потоків у вітальні з капілярно-трубчастими матами (КТМ).

Початкові умови.

Розрахунок відбувався в замкнутому приміщенні при температурі внутрішнього повітря $t_{\text{вн}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ця температура задавалася з урахуванням різниці температур між зовнішнім і внутрішнім повітрям $6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, отже зовнішня температура дорівнює $t_z = 31 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Тиск в приміщенні був виставлений як атмосферний і дорівнює $P = 101325 \text{ Па}$. Вологість повітря в приміщенні прийнята $\phi = 60 \text{ \%}$. Температура падаючого повітря $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, об'ємні витрати дорівнюють $0,0466 \text{ м}^3/\text{с}$, витрати встановлені з урахуванням перебування в кімнаті до 4 людей одночасно і вологістю $\phi = 60 \text{ \%}$. Температура поверхонь стін, на яких не передбачено встановлення капілярно-трубчастих матів (КТМ) нагріті на $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, стіни в яких передбачається встановлення капілярно-трубчастих матів (КТМ), нагріті на $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура скла у віконних отворах задана як зовнішня температура $31 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Об'єкти тепловиділення.

До джерел тепловиділення віднесено людей і побутові прилади. У приміщенні змодельовано 2 осіб із температурою поверхні $36,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (одна – у центрі кімнати, друга – біля дивана) та один прилад – телевізор із температурою передньої і задньої поверхонь $45 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Об'єкти теплопоглинання.

До об'єктів теплопоглинання відносяться капілярно-трубчасті мати (КТМ), які розташовані в приміщенні. У вітальні прийнято таке розміщення капілярно-трубчастих матів (КТМ): покрита вся площа стелі і кут стіни, що розташований на південний схід.

Результати.

Розподіл температури і швидкості потоків повітря в тривимірному об'ємі приміщення показані на рис. 4.9, 4.10.

Результати моделювання показали, що температура повітря в приміщенні не перевищує $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а швидкість повітряних потоків – $0,5 \text{ м/с}$, що

менше граничного значення 0,6 м/с, регламентованого [47]. Отже, капілярно-трубчасті мати забезпечують ефективне охолодження приміщення в літній період.

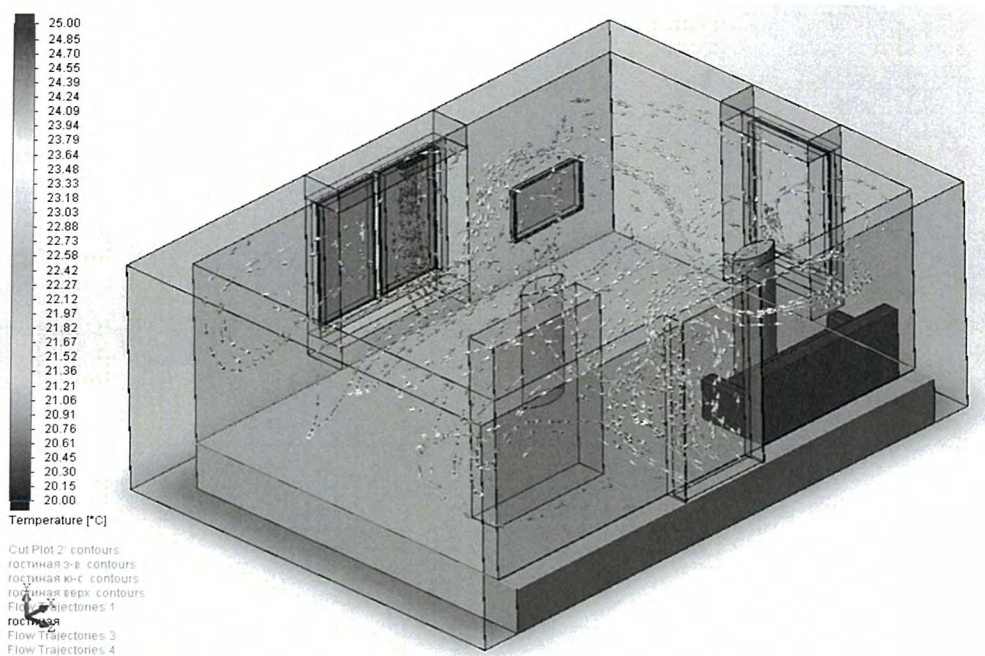


Рисунок 4.9 – Розподіл температури потоків повітря у вітальні

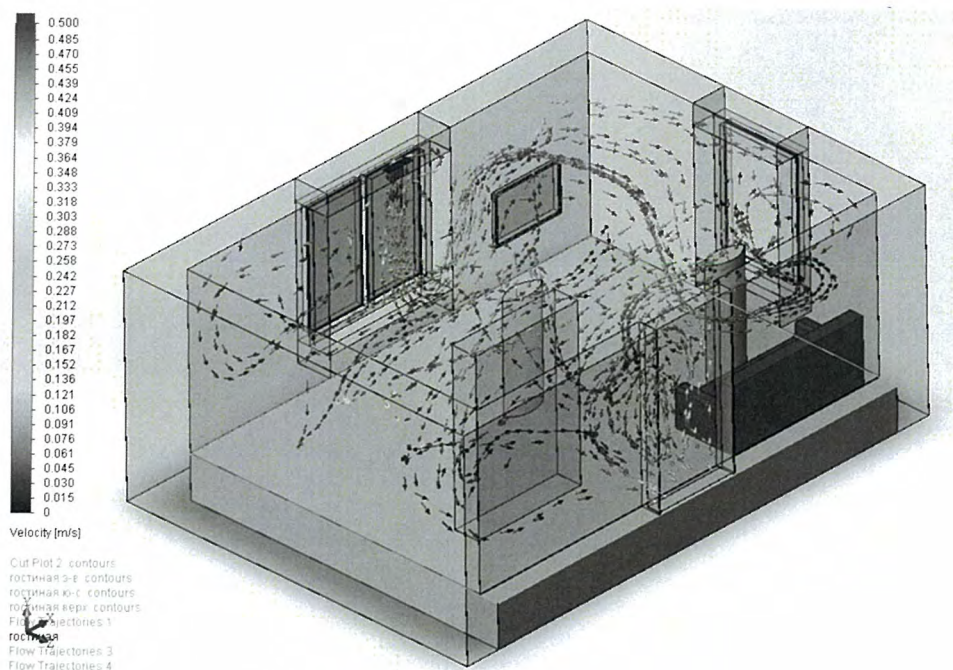


Рисунок 4.10 – Розподіл швидкості потоків повітря у вітальні

4.4.2. Моделювання поверхневих систем опалення в приміщенні малоповерхового будинку

На наступному етапі моделювались поверхневі системи опалення в приміщенні малоповерхового будинку (рис. 4.11). Перетин вимірювань параметрів в приміщенні наведений на рис. 4.12, розрахункова сітка моделі – на рис. 4.13.

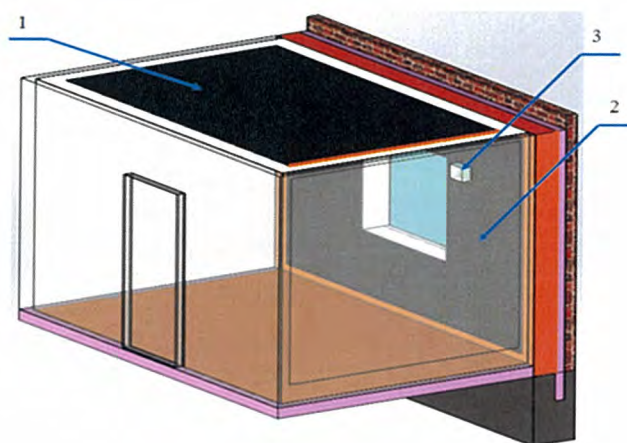


Рисунок 4.11 – Розташування об'єктів теплонадходжень в приміщенні:

1 – стельові системи опалення, 2 – настінні системи опалення,
3 – децентралізована припливно-витяжна вентиляція

Рисунок 4.12 – Перетин вимірювань параметрів в приміщенні	Рисунок 4.13 – Розрахункова сітка моделі

Умови для моделювання.

– Температурна взаємодія із суміжними приміщеннями за допомогою внутрішніх стін замінено на віртуальні умови на зовнішніх поверхнях внутрішніх стін і дверей;

– Зовнішнє середовище виконано у вигляді температурних умов, прикладених до зовнішніх стін і вікон. Прийнято температурні умови (для кліматичних умов широти м. Дніпро): температура зовнішнього повітря $t_{\text{ext}} = -24\text{ }^{\circ}\text{C}$, швидкість вітру $v = 5,5\text{ м/с}$;

– Імітується робота децентралізованої припливно-витяжної вентиляції, облаштованої в стіні біля вікна. Обсяг подаючого повітря $v_{\text{inc}} = 25\text{ м}^3/\text{год}$ у співвідношенні до площі 2 м^3 на 1 м^2 . Температура припливного повітря $t_{\text{inc}} = 16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Подача повітря проводиться безперервно протягом усього експерименту;

– Імітується робота системи панельного опалення, поверхня випромінювання – гіпсокартон. У ході моделювання розміщення і температура системи панельного опалення змінювалися: у стельовому розташуванні системи панельного опалення температура стелі $t_{\text{shs}} = 28,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в разі настінного варіанту розташування системи панельного опалення температура зовнішньої стіни $t_{\text{shs}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Моделювання роботи стельової системи опалення.

Початкові умови:

- Взаємодія з суміжними приміщеннями – адіабатична стіна;
- Температурні умови прикладені до зовнішніх стін і вікон (температура зовнішнього повітря $t_{\text{ext}} = -24\text{ }^{\circ}\text{C}$, швидкість вітру $v = 5,5\text{ м/с}$);
- Робота децентралізованої припливно-витяжної вентиляції (обсяг подаючого повітря $v_{\text{inc}} = 25\text{ м}^3/\text{год}$, температура припливного повітря $t_{\text{inc}} = 16\text{ }^{\circ}\text{C}$);

– Розташування системи панельного опалення – стеля (площа стелі $A_{sel} = 9,12 \text{ m}^2$, температура $t_{sel} = 28,5 \text{ }^\circ\text{C}$).

Результати моделювання роботи стельової системи опалення, які наведені на рис. 4.14–4.17, засвідчують, що параметри комфорту задовольняють нормативні вимоги.

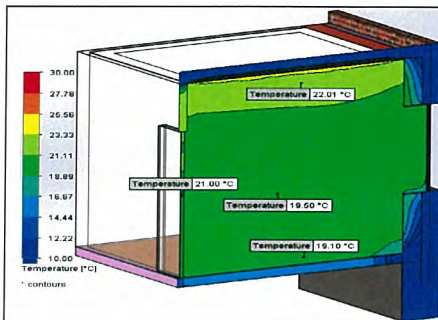


Рисунок 4.14 – Розподіл температур повітря при стельовій системі опалення

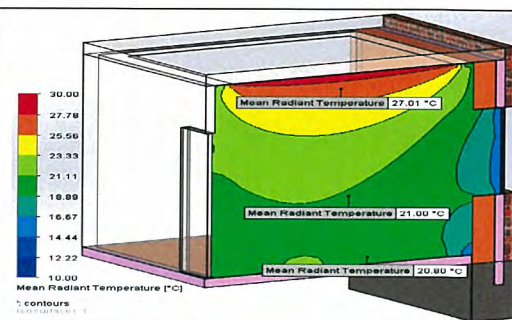


Рисунок 4.15 – Розподіл радіаційної температури при стельовій системі опалення

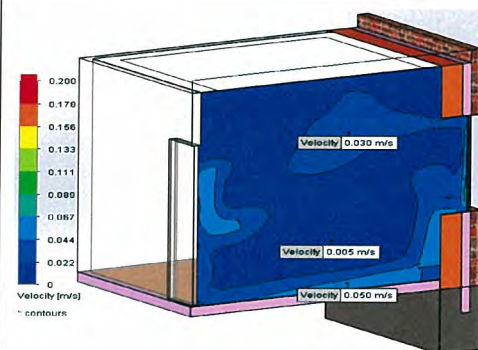


Рисунок 4.16 – Розподіл швидкості повітря при стельовій системі опалення

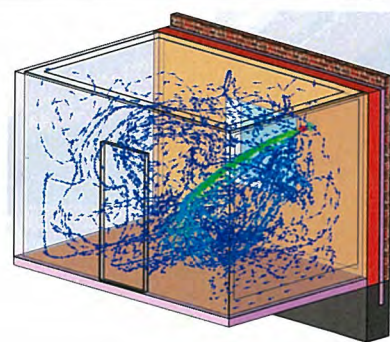


Рисунок 4.17 – Розподіл потоків повітря при стельовій системі опалення

Моделювання роботи стінової системи опалення

Початкові умови:

– Взаємодія з суміжними приміщеннями – адіабатична стіна;

– Температурні умови прикладені до зовнішніх стін і вікон (температура зовнішнього повітря $t_{\text{ext}} = -24\text{ }^{\circ}\text{C}$, швидкість вітру $v = 5,5\text{ м/с}$);

– Робота децентралізованої припливно-витяжної вентиляції (обсяг подаючого повітря $v_{\text{inc}} = 25\text{ м}^3/\text{год}$, температура припливного повітря $t_{\text{inc}} = 16\text{ }^{\circ}\text{C}$);

– Розташування системи панельного опалення – зовнішня стіна (площа зовнішньої стіни $A_{\text{wall}} = 10,2\text{ м}^2$, температура $t_{\text{wall}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Результати моделювання роботи настінної системи опалення наведені на рис. 4.18–4.21.

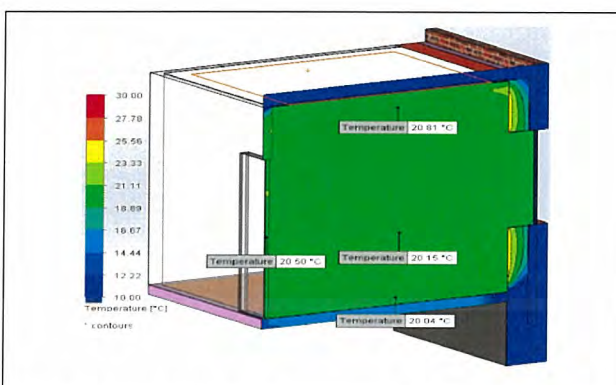


Рисунок 4.18 – Розподіл температур повітря при стіновій системі опалення

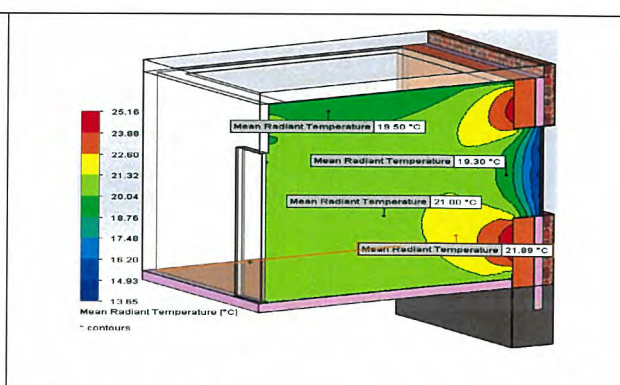


Рисунок 4.19 – Розподіл радіаційної температури при стіновій системі опалення

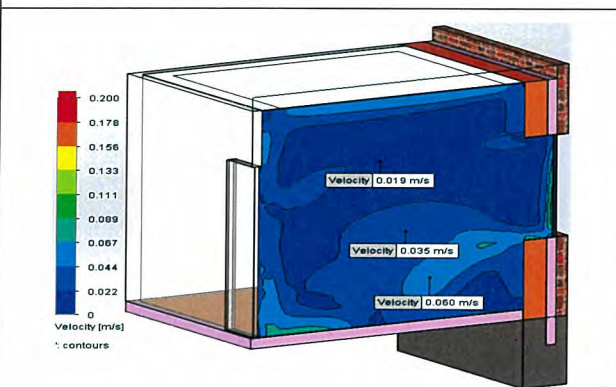


Рисунок 4.20 – Розподіл швидкості повітря при стіновій системі опалення

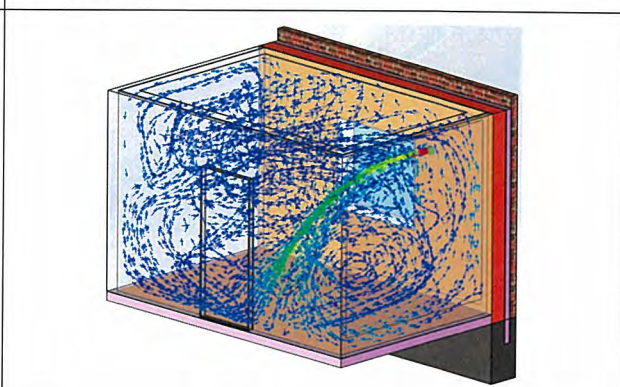


Рисунок 4.21 – Розподіл потоків повітря при стіновій системі опалення

Результати моделювання роботи стінової системи опалення, які наведені на рис. 4.18–4.21, засвідчують, що параметри комфорту задовольняють нормативні вимоги.

4.5. Висновки до розділу 4

1. Запропоновано метод розрахунку тепловтрат приміщення та визначення товщини утеплювального шару огорожувальної конструкції з теплообмінними елементами. Розрахунок тепловтрат у холодний період здійснюється у два етапи. Перший етап полягає в розрахунку тепловтрат через стінові огороження, в яких не вбудовані теплообмінні елементи, з опором теплопередачі згідно з нормованими значеннями. Другий етап полягає у визначенні тепловтрат і розрахунку товщини утеплювального шару стінового огороження, в якому влаштовані теплообмінні елементи.

2. Узагальнення наявних результатів досліджень систем опалення свідчить, що найбільш сприятливий температурний режим у приміщеннях досягається за умови застосування стінових і підлогово-стельових систем. Використання таких рішень дає змогу зменшити нерівномірність теплового опромінення та інтенсивність теплообміну між тілом людини і навколишнім середовищем під час перебування в приміщенні. Крім того, завдяки розвиненій теплообмінній поверхні ці системи допускають використання низькотемпературних теплоносіїв. Поверхневі системи нагріву і охолодження досягають високої теплопродуктивності при економних, тобто низьких температурах опалення – 27–35 °С і високих температурах охолодження – 16–18 °С. Це визначає доцільність використання термогенеруючих установок, таких, як конденсаційні котли і теплові насоси, сонячні колектори, і зумовлює їх високий рівень енергетичної ефективності.

3. Запропоновані способи конструювання панелі стінового поверхнево-розвиненого обігріву, виходячи з «ідеальної» кривої розподілу температури по висоті приміщення для забезпечення комфортних умов. Перший спосіб

пов'язаний зі схемою подачі теплоносія до нагрівальних трубопроводів, за якої теплоносії надходить знизу, що дає змогу забезпечити більш рівномірний розподіл температури по висоті приміщення.

Другий спосіб базується на аналогічному принципі подачі теплоносія, однак передбачає додаткове регулювання щільності укладання витків змійовика. За такої організації теплопостачання теплоносії також подається знизу з вищою температурою та відводиться у верхній частині системи охолодження; при цьому в нижній зоні системи крок між витками є меншим, ніж у верхній її частині.

Третій спосіб конструювання панелі стінового поверхнево-розвиненого обігріву ґрунтується на забезпеченні диференціації температури по висоті приміщення на три характерні зони. У такій системі можна регулювати кількість тепла, яке буде віддаватися кожною окремою зоною декількома способами: спосіб 3.1 – кількістю витків при певних умовах теплоносія на подачі; спосіб 3.2 – кількістю теплоносія, що подається в кожен контур; спосіб 3.3 – температурою теплоносія.

4. Для частішої диференціації температури по висоті житлового приміщення, що наближається до «ідеальної» кривої розподілу комфортних температур для людини, сформульована формула винаходу на корисну модель: система опалення та охолодження, що складається з капілярних трубок, об'єднаних у мати або трубок, у яких циркулює рідина (найчастіше вода) як термоагент, що забезпечує розподіл температури по висоті приміщення за рахунок температури термоагента або його кількості, комфортний для людини, яка відрізняється від звичайних настінних, підлогових і стельових систем радіаційного опалення та охолодження тим, що настінна система розділена на окремі зони по висоті, з включенням підлогових і стельових систем з різною температурою термоагента, які відповідають комфортній для людини температурі.

5. Сформульована формула винаходу на корисну модель при виборі нагрівальних елементів поверхневих систем опалення: система опалення, що

складається з електричних нагрівальних елементів: або нагрівальних матів, або кабелів, або інфрачервоної плівки, або електропровідного нагрівального бетону, що забезпечує розподіл температури по висоті приміщення, комфортної для людини, яка відрізняється від звичайної стінової, підлогової та стельової радіаційних систем опалення тим, що за висотою стінова система ділиться на окремі зони, із включенням підлогової та стельової систем з різною температурою нагрівальних елементів, що відповідає розподілу температури по висоті приміщення, комфортної для людини.

6. З використанням програмного продукту Flow Simulation проведене імітаційне моделювання температури і швидкості переміщення повітря всередині приміщень будинку в літній період року при його охолодженні капілярно-трубчастими матами. Результати чисельного моделювання засвідчують, що капілярно-трубчасті мати ефективно охолоджують приміщення в літній період.

7. Проведене чисельне моделювання поверхневих систем опалення в приміщеннях малоповерхового будинку. У процесі моделювання опалення приміщення за допомогою стельового і настінного опалення було отримано, що температура повітря на 1,5–2,0 °C нижче радіаційної температури у функціональній зоні приміщення. При цьому температура, що забезпечується стельовою системою опалення, вища, ніж настінною системою опалення, на 3,5 °C.

4.6. Список використаних джерел у розділі 4

У розділі 4 використані [108...114] літературні джерела. Їх найменування наведені в загальному списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 5. СМАРТТЕХНОЛОГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМФОРТУ І ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

5.1. Дослідження параметрів мікроклімату в малоповерховій будівлі з опаленням твердопаливним котлом

Питання підтримки оптимальних параметрів мікроклімату є одним із найважливіших для комфортних умов проживання. Тип системи опалення, як фактор, що впливає на мікроклімат будівлі, відіграє значну роль. Досліджувалися ключові параметри мікроклімату, такі як температура і вологість у житловому будинку з опаленням твердопаливним котлом і, частково, підлоговою і настінною електричними системами опалення.

Вказані параметри мікроклімату досліджувалися в заглибленій будівлі по вул. Горіховій, 13, у с. Єгорине, Царичанського району, Дніпропетровської області. Будинок експериментального будівництва, у якому досліджуються параметри комфорту, енергоефективності і екологічності. План і загальний вигляд будинку наведений на рис. 5.1, 5.2. Будинок обладнаний сонячною електростанцією потужністю 6 кВт з акумуляторними батареями, системою очищення питної води, автономною каналізацією, теплою стіною в кімнаті і теплими полами в туалеті, вегетарієм з ґрунтовим накопичувачем тепла, інтернет-модемом, системою відеоспостереження. Заміський будинок має твердопаливну систему опалення – двоконфорна плита приєднана до груби. Постійних мешканців немає, будинок призначений для тимчасового перебування мешканців на відпочинку. Зазвичай на відпочинку перебувають дві дорослі особи.

Дослідження проводилися у весняний опалювальний період 2024 року протягом 8 діб. Досліджувалися такі характеристики мікроклімату: температура повітря в приміщенні, відносна вологість. Для постійного моніторингу цих характеристик використовувалися цифрові датчики Tinytag

Ultra 2 TGU-4500 [115] (рис. 5.3). Датчик був встановлений на столі в точці т. 1 (рис. 5.1).

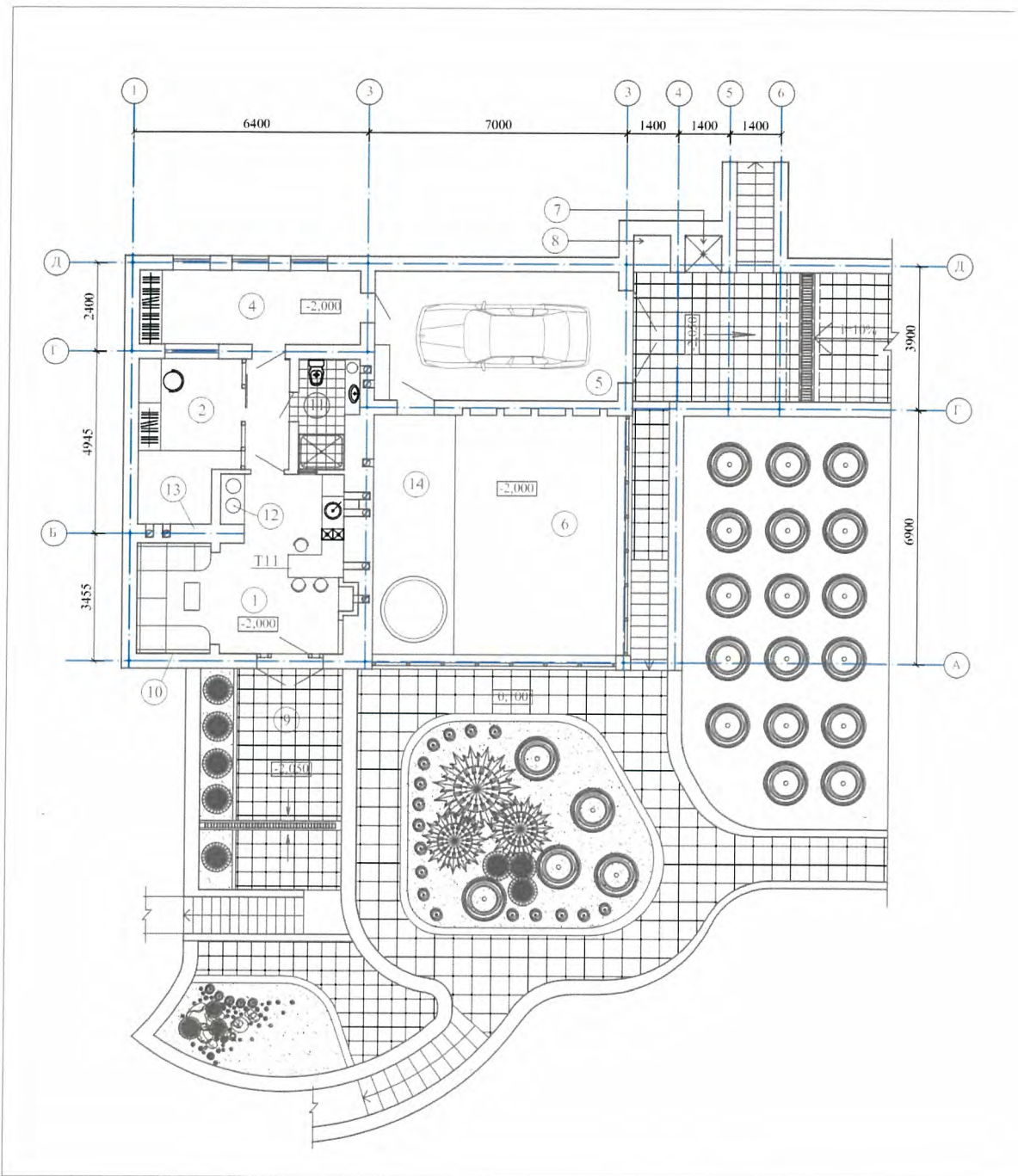


Рисунок 5.1 – План заглибленого будинку:

1 – житлова кімната, 2 – спальня, 3 – туалет, 4 – коридор, 5 – гараж,
6 – вегетарій, 7 – кладова, 8 – літній душ, 9 – патіо, 10 – тепла стіна,
11 – теплий пол, 12 – твердопаливний котел (плита), 13 – груба, 14 – чан на
дровах; т.1 – місце розміщення цифрового датчика Tinytag



Рисунок 5.2 – Заглиблений будинок:

а) – південний фасад; б) – інтер'єр вітальні



Рисунок 5.3 – Реєстратор даних Tinytag Ultra 2 [115]

Результати моніторингу параметрів мікроклімату будинку наведені на рис. 5.4. Результати засвідчують, що за відсутності мешканців і опалення температура в приміщенні не знижується менше 12°C . Це засвідчує високу теплоізоляційну здатність ґрунту.

Температура у приміщенні змінюється нерівномірно і залежить від роботи твердопаливної системи опалення у складі плити і груби.

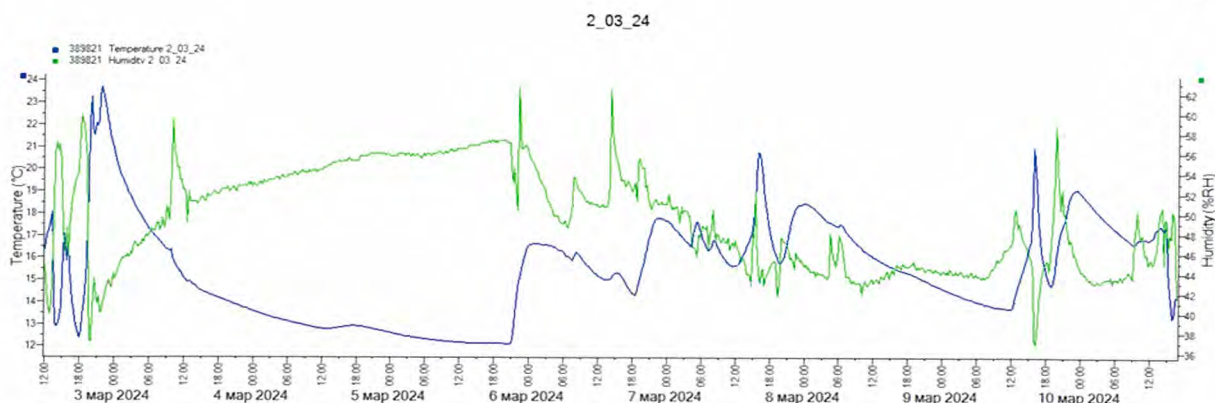


Рисунок 5.4 – Параметри мікроклімату будинку за результатами моніторингу

Підйом температури до 21 °С 7.03.2024 і 9.03.2024 з 12 до 18 годин можна пояснити дією сонячної радіації, оскільки південна орієнтація панорамного скління будівлі надає таку можливість. Згідно з метеорологічними даними у ці дні спостерігалася сонячна погода з температурою зовнішнього повітря близько 14 °С.

Відносна вологість у приміщенні знаходиться, в основному, в межах допустимих значень 40–60 % відносної вологості. Для досягнення стабільного теплового режиму у приміщенні необхідно підтримувати стабільний режим опалення.

5.2. Система проактивного менеджменту житлових будівель на основі смарттехнологій

Метою цього розділу роботи є розробка та обґрунтування технічного рішення системи проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання та концепції Інтернету речей (IoT). Тестування запропонованого рішення в реальних умовах пілотного об'єкта надає можливість підвищити рівень обізнаності щодо переваг використання системи серед потенційних стейкхолдерів шляхом демонстрації результатів моніторингу та аналізу параметрів споживання і мікроклімату, а також

можливість запропонувати потенційні сценарії зниження витрат на енергоресурси при забезпеченні комфортних умов у приміщеннях.

Були поставлені наступні задачі:

- розробити технічне рішення системи проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання;
- провести тестування запропонованого рішення в реальних умовах пілотного об'єкта.

Об'єктом дослідження є система проактивного управління житловими будівлями, що ґрунтується на використанні смартобладнання та концепції Інтернету речей (IoT). Створення й упровадження такої системи на локальному рівні будівлі дає можливість отримувати об'єктивні дані щодо функціонування систем опалення, вентиляції, кондиціонування та побутових електроприладів, оптимізувати та узгоджувати їхню роботу. У результаті це сприяє зниженню експлуатаційних витрат за одночасного забезпечення необхідного рівня комфорту мешканців. Зазначене положення прийнято як робочу гіпотезу даного розділу роботи.

Споживання енергоресурсів потенційно може бути зведено до мінімуму. Разом із тим просте зниження енергоспоживання будівлі не матиме сенсу, якщо при цьому не забезпечені комфортні параметри мікроклімату приміщень. За умов недостатнього рівня комфорту люди, як правило, вдаються до дій, спрямованих на його підвищення, що може призводити до нівелювання заходів з енергозбереження, зокрема у системах опалення, охолодження, освітлення та забезпечення побутових потреб. Застосування системи проактивного менеджменту має сприяти більш раціональному споживанню електричної та теплової енергії при дотриманні вимог щодо якості мікроклімату приміщення. Найбільше значення для відчуття комфорту мають такі фактори повітряного середовища, як температура, вологість та якість повітря (концентрація вуглекислого газу CO₂).

Критеріями функціональної ефективності розроблюваної системи проактивного менеджменту житлових будівель є здатність забезпечувати

безперервний моніторинг і контроль параметрів внутрішнього середовища, збір та обробку даних у режимі реального часу, накопичення й передачу інформації до хмарних сервісів, а також управління енергоспоживанням з метою зниження енерговитрат і підтримання комфортних умов для мешканців. Водночас система управління будівлею за своєю архітектурою має бути функціонально гнучкою та забезпечувати належний рівень захисту отриманих даних.

Основою технічного рішення, яке розроблялося в межах даної роботи, є інтелектуальна система смартбудинку. Структурною одиницею системи є фізичні пристрої («речі»), які в сукупності формують мережу Інтернету речей (IoT). Підключення фізичних пристроїв до мережі та передача даних забезпечується протоколом зв'язку. Обраний протокол забезпечує стандартизований зв'язок між пристроями в мережі, забезпечуючи сумісність та безперебійну передачу даних. Системний інтегратор з відповідним програмним забезпеченням відповідає за отримання, зберігання та обробку даних, що генеруються пристроями. Інтерфейс користувача дозволяє візуалізувати параметри моніторингу та здійснювати управління й оптимізацію роботи обладнання, побутової техніки та систем у режимі реального часу. У підсумку отримана єдина багаторівнева структура моніторингу та управління енергоспоживанням і параметрами мікроклімату житлової будівлі.

5.2.1. Пілотний об'єкт впровадження результатів

Дослідження проводилися в рамках виконання міжнародного проєкту PRECEPT [116] на пілотному об'єкті – житловому комплексі «Панорама», що розташований в Україні, у м. Дніпро (рис. 5.5).

Комплекс «Панорама» розташований у м. Дніпро в центральній частині України (кліматична зона Північно-Східної Європи), кліматичні умови для систем опалення такі: середня температура найхолоднішої п'ятиденки, $t_{\text{зима}}^0 =$

$-24\text{ }^{\circ}\text{C}$; середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період (з 15 жовтня по 15 квітня), $t_{\text{середня}} = -0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$; тривалість опалювального періоду, $n = 175$ днів; середня швидкість руху повітря за найхолодніший місяць, $V = 5,2$ м/с; теплоносії для системи опалення – гаряча вода; охолодження: $t_{\text{літо}}^0 = 30\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Рисунок 5.5 – Пілотний об'єкт – житловий комплекс «Панорама»

Конструкція будівель – із монолітного залізобетону. Зовнішні стінові конструкції покриті мінеральною ізоляцією товщиною 10 см. Особливу увагу було приділено дахам, які були ізольовані кам'яною ватою з гідроізоляційним покриттям. Віконні конструкції оснащено двокамерним склінням з коефіцієнтом теплопередачі у межах $0,85\text{--}2,42\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, що залежить від габаритних розмірів і кількості віконних панелей.

Технічні рішення будинків комплексу «Панорама» включають вентилявані енергоощадні фасади; енергоощадне панорамне скління; алюмінієві вітражі; чистові стяжки зі звукоізоляційним шаром; дахову

котельню; ліфти; металеві, протипожежні та ударостійкі входні двері; пожежну сигналізацію, димовидалення та систему пожежогасіння.

Житловий комплекс «Панорама» включає п'ять багатоквартирних житлових будинків, серед яких два будинки мають висоту 19 поверхів і три – 24 поверхи; завершення будівництва комплексу відбулося у 2017 році. Квартирний фонд комплексу представлений помешканнями з різною кількістю кімнат і площею, розрахованими на різну кількість мешканців. Загалом комплекс налічує 1008 одно-, дво- та трикімнатних квартир і обладнаний трирівневим паркінгом. Площа пілотних квартир становить від 46,3 до 121 м²; планування квартир є вільним і передбачає можливість їх комбінування.

Оскільки дані з датчиків передаються безперервно у режимі реального часу, що призводить до формування великого масиву даних, для спрощення подальшого аналізу у межах даної роботи для встановлення смартобладнання було обрано типові квартири площею 120 м².

Доступні комунальні послуги включають електрику, опалення та водопостачання. У кожній квартирі є телевізор, холодильник, водонагрівач, мікрохвильова піч, посудомийна машина, пральна машина та сушарка. Квартири мають різні рівні енергоспоживання відповідно до встановленого обладнання: електроенергія; гаряча вода для гарячого водопостачання; гаряча вода для систем опалення; холодна вода. Гаряче водопостачання (ГВП) подається централізовано від газової котельні на даху будівлі; індивідуальне опалення здійснюється електричним котлом або тепловим насосом з електричним підігрівом до температури, що перевищує температуру гарячої води – 55 °С. Система опалення централізована від газової котельні на даху; індивідуальна (поквартирна) система – від електричних котлів або теплових насосів. Система охолодження включає окремі кондиціонери, що працюють від електрики або теплових насосів.

5.2.2. Результати досліджень системи проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання

Розроблене технічне рішення системи проактивного менеджменту квартир житлового комплексу забезпечує моніторинг та управління споживанням теплової та електричної енергії, параметрів мікроклімату (температура та вологість) та якості повітря (рівень вуглекислого газу).

У межах кожної квартири, обраної для тестування, встановлене таке смартобладнання: smartлічильник споживання електроенергії (встановлено в поверховій розподільчій шафі); smartлічильник споживання теплової енергії (встановлено у камері теплолічильників); бездротові мультисенсори в спальних кімнатах для вимірювання температури та вологості повітря; бездротовий мультисенсор у кімнаті загального користування (поєднана кухня, вітальня та зона відпочинку) для вимірювання температури, вологості повітря та рівня CO₂; smartрозетки з функцією моніторингу потужності для вимірювання та управління споживанням електроенергії побутових приладів (холодильник, бойлер та циркуляційний насос).

Схема встановлення смартобладнання в типовій квартирі житлового комплексу наведена на рис. 5.6.

Принцип функціонування системи полягає у такому. Мультисенсорні пристрої для вимірювання концентрації CO₂, температури та відносної вологості повітря в приміщеннях реалізовані у вигляді модулів моніторингу параметрів повітря 7bit AirPoint-Q, які здійснюють передачу зібраних даних радіоканалом LoRa з робочою частотою 868 МГц і потужністю передавача 25 мВт. Для прийому даних з модуля моніторингу в системі використано бездротовий комунікаційний шлюз 7bit AirGate. Цей модуль приймає та пересилає отримані радіоканалом дані моніторингу в систему верхнього рівня з використанням мережевого протоколу MQTT через локальну мережу або Інтернет у режимі прозорого мосту. Модулі 7bit AirPoint/AirGate мають

невеликі розміри (70 × 70 мм) та акуратний вигляд, що дає можливість гармонійно інтегрувати пристрої в загальний інтер'єр приміщення.



Рисунок 5.6 – Схема встановлення смартобладнання в типовій квартирі житлового комплексу

Моніторинг споживання теплової та електроенергії реалізується за допомогою смартлічильників з вбудованими інтерфейсами передачі даних за комунікаційним протоколом Modbus RTU (RS-485) / M-Bus через послідовні лінії зв'язку. Зчитування даних пристроєм верхнього рівня по RS-485 відбувається напряму, а для M-Bus використовується конвертер 7bit USB–M-Bus. Смартрозетки приєднуються до системи керування через IEEE 802.11n (Wi-Fi).

Усі модулі збору даних та смартрозетки інтегруються в єдину систему за допомогою інтеграційного контролера, який у режимі реального часу забезпечує збір інформації про параметри моніторингу, її обробку,

візуалізацію та архівування, а також надає користувачеві можливість віддаленого доступу до отриманих даних. Крім цього, інтеграційний контролер експортує дані для систем аналітики або енергоменеджменту за протоколом MQTT або з використанням API. У запропонованому рішенні було застосовано апаратний пристрій WebHMI, який являє собою повноцінну SCADA-систему з вбудованим вебсервером [117]. Контролер має вбудовану підтримку більшості популярних промислових протоколів обміну даними, а також дозволяє легко додавати нестандартні пристрої за допомогою функції «Custom protocol». Функція «Multiprotocol» дозволяє під'єднувати в одну шину пристрої з різними комунікаційними протоколами та надає користувачеві практично необмежені можливості зв'язку через вбудовані порти RS-485, USB, Ethernet LAN та WAN.

Принципова схема технічного рішення системи проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання наведена на рис. 5.7.

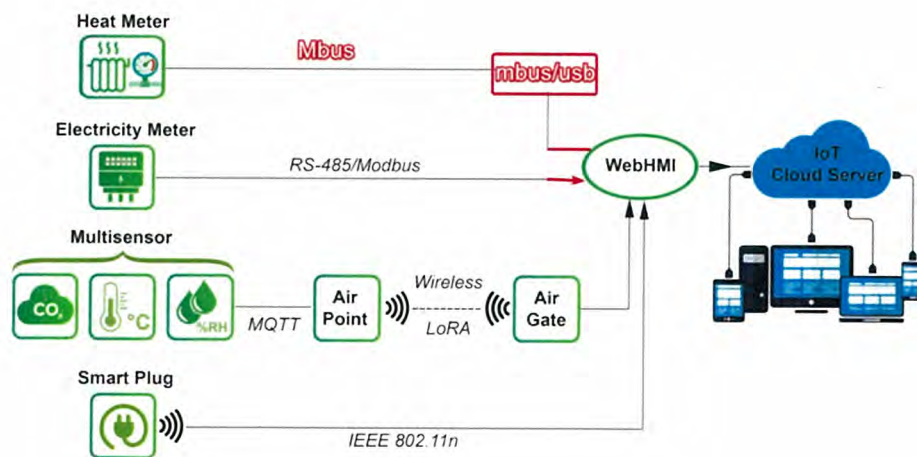


Рисунок 5.7 – Принципова схема технічного рішення системи проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання

Зібрані дані групуються і перетворюються у необхідний формат за допомогою вбудованої в WebHMI мови скриптів Lua, а потім надсилаються за протоколом MQTT до системи аналітики (рис. 5.8).

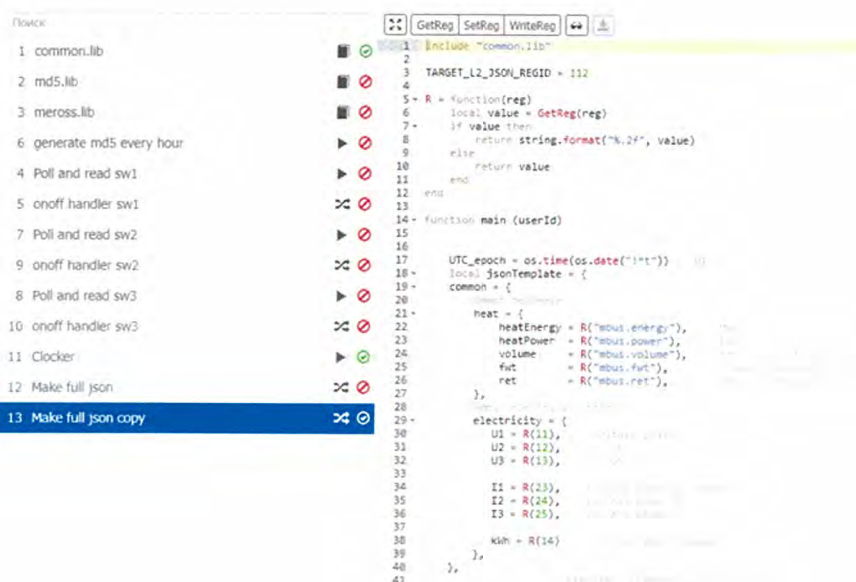


Рисунок 5.8 – Скрипт збору та обробки даних

Взаємодія користувача із системою проактивного менеджменту здійснюється через вебінтерфейс WebHMI – як для експлуатації, так і для налаштування. Сторінки конфігуруються в режимі «Drag&Drop» із негайним відображенням змін після збереження. Увесь функціонал реалізовано на базі вбудованого ПЗ через веббраузер; робота подібна до персонального кабінету вебзастосунку. Гнучке керування ролями забезпечує одночасний доступ кількох користувачів із відображенням лише дозволених розділів системи.

Доступ до персонального кабінету здійснюється шляхом входу через браузер на WebHMI (як у локальній мережі, так і віддалено через VPN) за допомогою логіна та пароля, при цьому система підтримує роботу з будь-якими електронними пристроями, що мають підключення до Інтернету (комп'ютер, ноутбук, планшет або смартфон). Загальний вигляд стартової сторінки персонального кабінету користувача системи проактивного

менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання наведено на рис. 5.9.

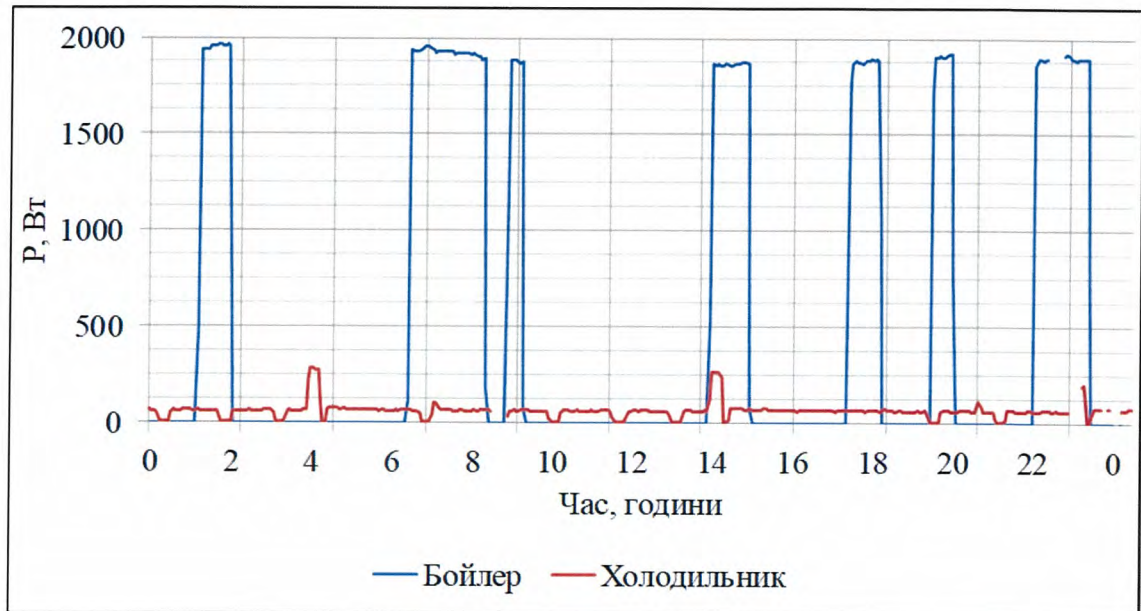


Рисунок 5.9 – Загальний вигляд стартової сторінки персонального кабінету користувача системи проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання

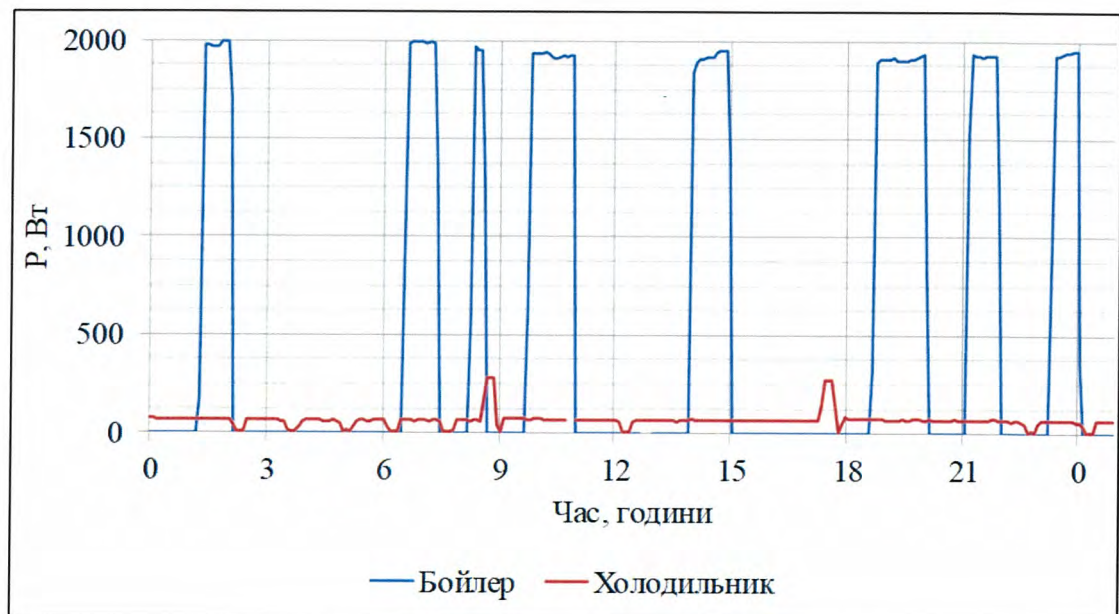
У результаті тестування запропонованої системи проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання отримано масиви даних щодо щоденного енергоспоживання та зміни параметрів мікроклімату приміщень.

Для ілюстрації й аналізу даних моніторингу були сформовані відповідні графіки, характерні для робочого та вихідного дня, для таких параметрів: струму споживання зі смартрозеток (рис. 5.10); зміни потужності опалення (рис. 5.11); температури в приміщеннях (рис. 5.12); рівня CO₂ в приміщенні загального користування (рис. 5.13); відносної вологості у приміщеннях (рис. 5.14).

На графіку зміни потужності споживання зі смартрозеток (рис. 5.10) наведено дані для холодильника та бойлера, оскільки моніторинг показав, що циркуляційний насос працює безперервно з практично сталою потужністю $P \approx 6$ Вт.

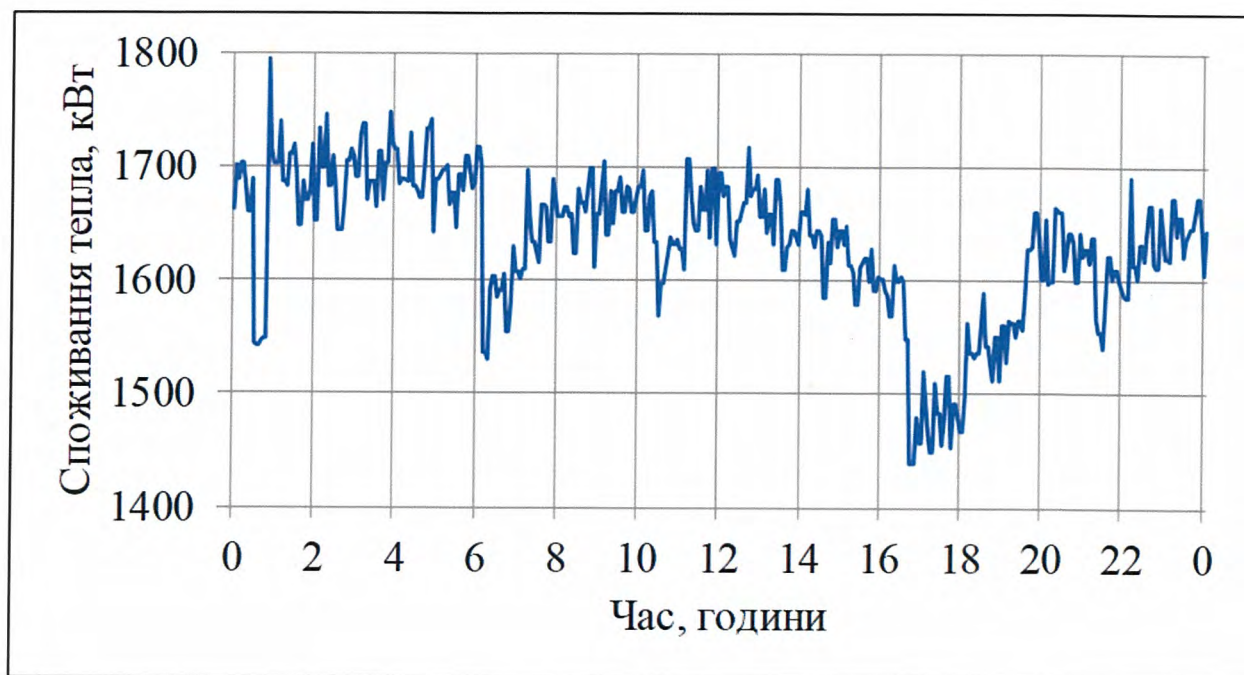


а)

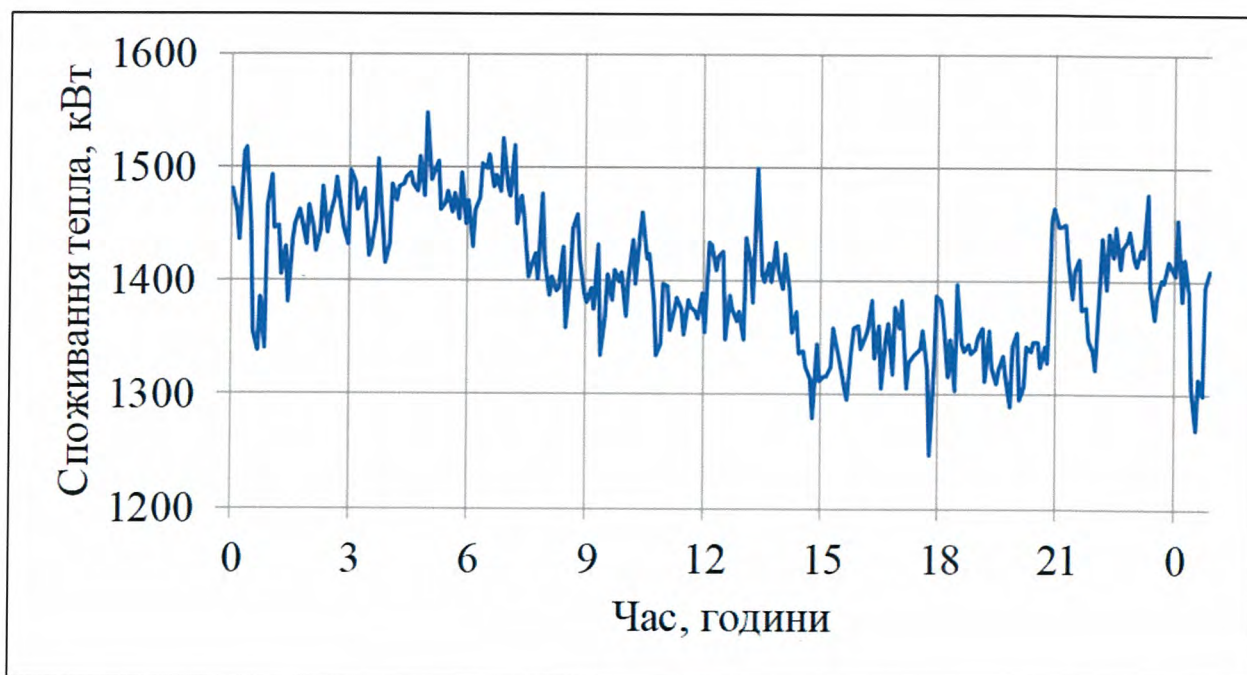


б)

Рисунок 5.10 – Зміна потужності споживання електричної енергії зі смартрозеток (P , Вт): а) робочий день; б) вихідний день



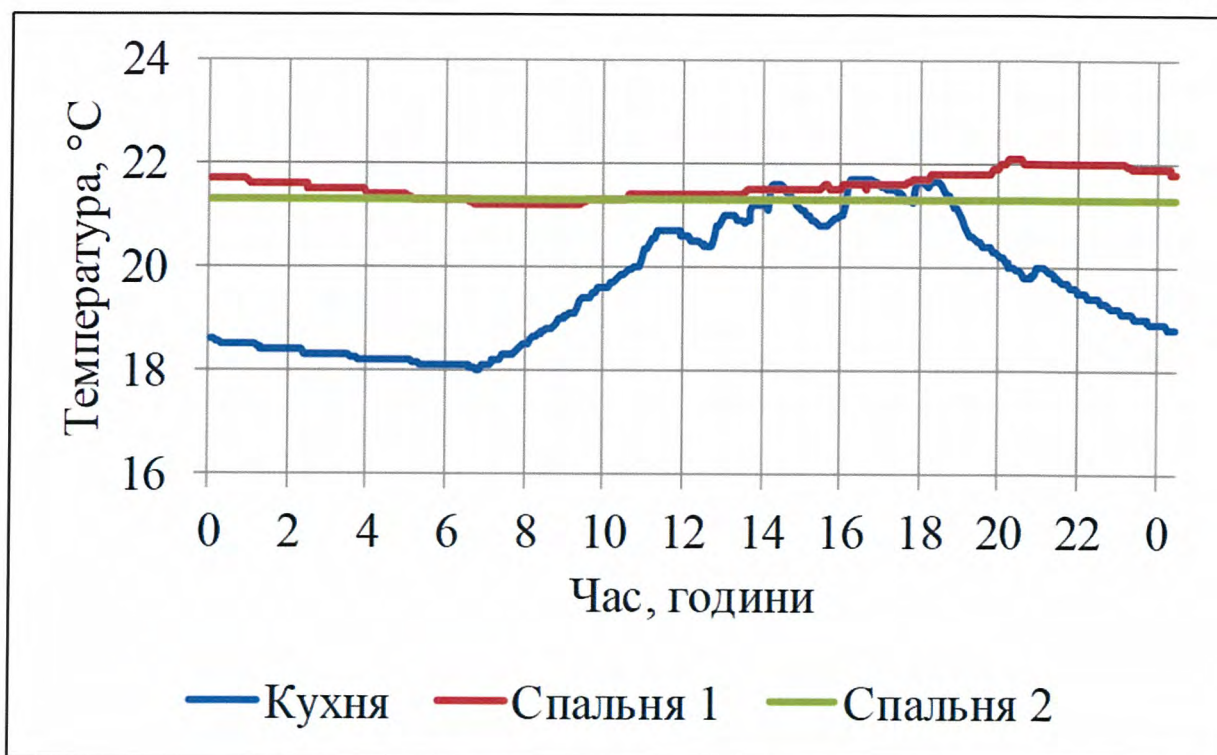
а)



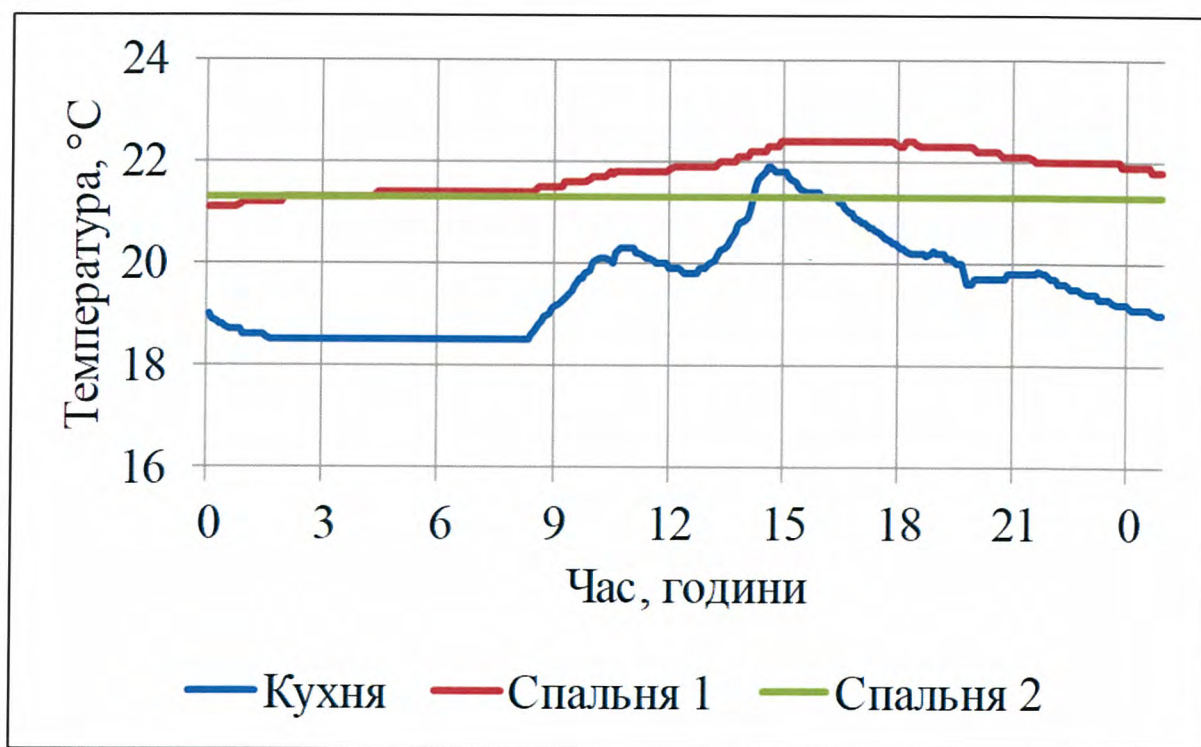
б)

Рисунок 5.11 – Зміна потужності опалення:

а) робочий день; б) вихідний день



а)



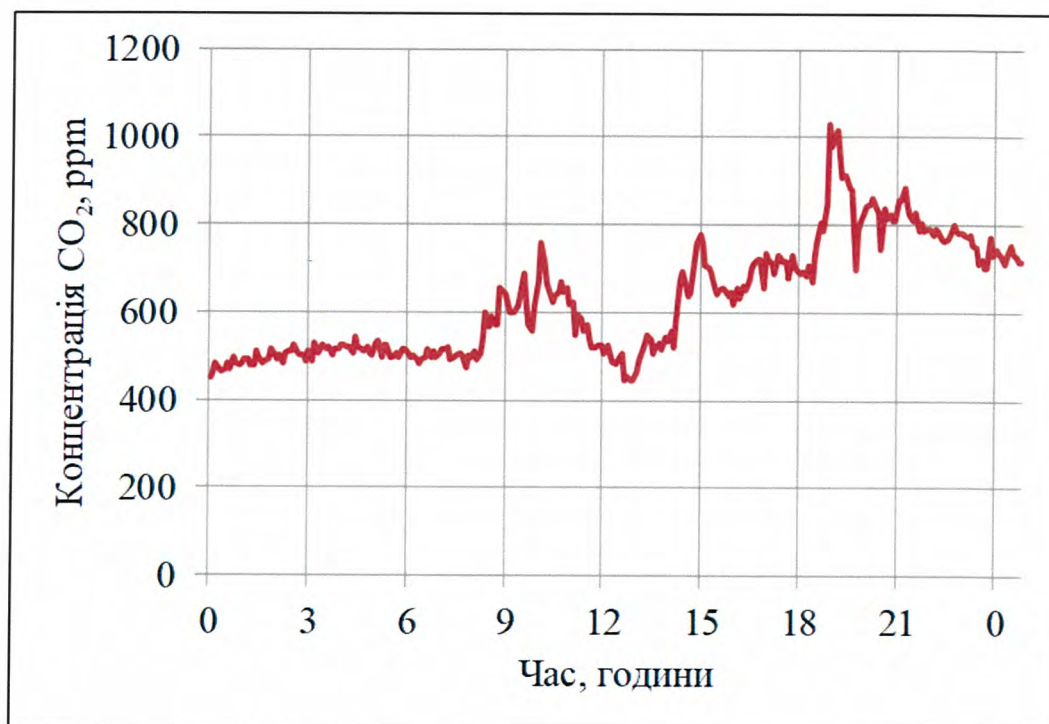
б)

Рисунок 5.12 – Температура повітря в приміщеннях:

а) робочий день; б) вихідний день

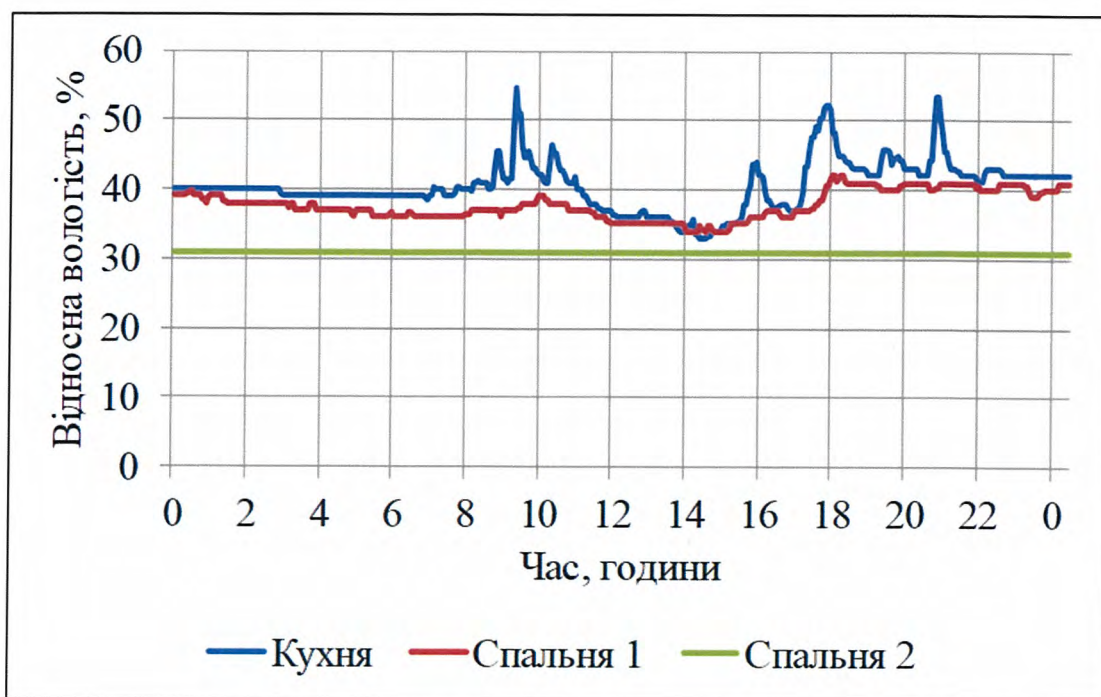


а)

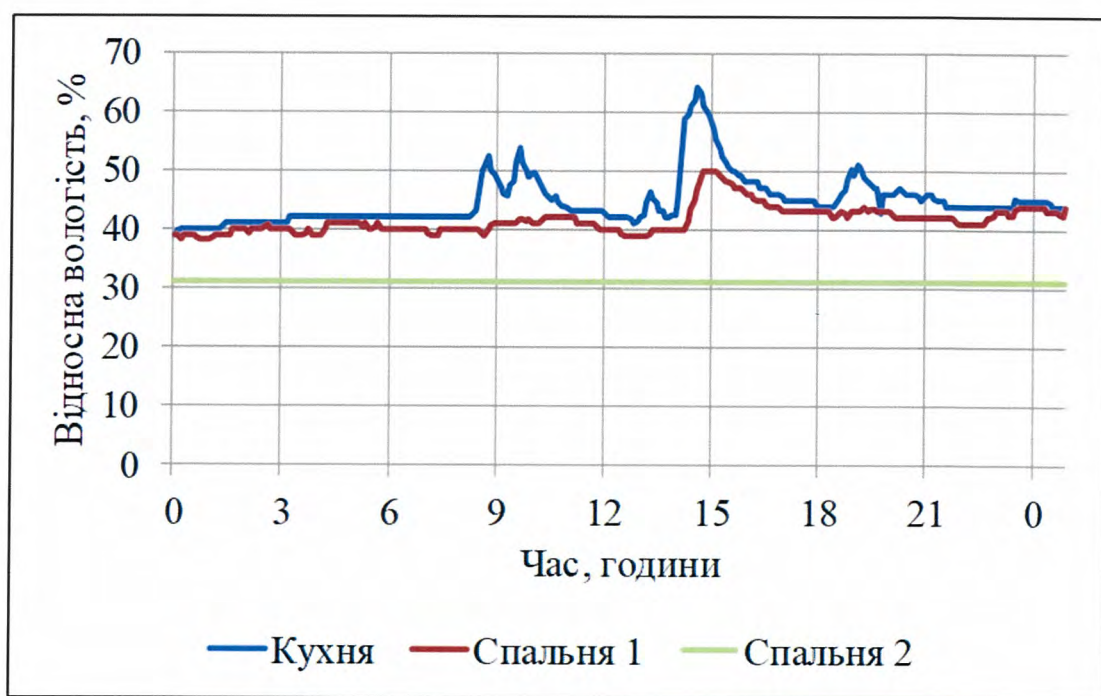


б)

Рисунок 5.13 – Концентрація CO₂ в приміщенні загального користування: а) робочий день; б) вихідний день



а)



б)

Рисунок 5.14 – Відносна вологість в приміщеннях:

а) робочий день; б) вихідний день

Результати тестування запропонованого технічного рішення проактивної системи менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання та концепції Інтернету речей (IoT) показали стабільність роботи та безперебійну передачу даних про параметри енергоспоживання, мікроклімату та якості повітря до системи аналітики. Користувачі можуть отримувати доступ до свого споживання енергії через візуальне представлення сукупного споживання разом із внутрішніми умовами помешкання (температура, вологість, CO₂). Вони можуть перевіряти та контролювати своє споживання, переглядаючи загальний огляд, що складається з легкого для розуміння підсумку споживання. Користувачі можуть вибирати різні рівні деталізації (день, тиждень, місяць або довільні періоди) для перевірки, орієнтуватися в споживанні за різні періоди, вибравши початкову та кінцеву дати й час. Користувачі можуть отримувати дані про споживання енергії кожним пристроєм. Дезагредована інформація про споживання надається користувачеві в зручній для використання формі (наприклад, у детальній візуалізації споживання енергії).

На відміну від існуючих, система виконує збір та обробку даних не лише щодо споживання електричної та теплової енергії, але й одночасно щодо ключових параметрів мікроклімату житлових приміщень (температури, вологості та рівня вуглекислого газу). Це дозволяє виконувати моніторинг та управління енергоспоживанням і водночас забезпечувати необхідний рівень комфорту мешканців [120...126].

Запропонована система моніторингу є гнучкою. За потреби можна розширювати або поглиблювати систему шляхом додавання додаткових приладів (датчиків, смартобладнання) для більш уточненого моніторингу, а також додавання аналогічних систем, наприклад, для інших квартир з метою масштабування рішення.

Усі елементи запропонованої системи базуються на стандартних протоколах роботи. Аналогічні елементи від відомих брендів, наприклад, Siemens або Schneider, мають ті самі протоколи виготовлення і роботи, що й

елементи, застосовані в запропонованій системі, тому вони є взаємозамінними. Встановлені елементи системи (прилади і датчики) мають тривалий термін доступності, тобто будь-який компонент системи випускається виробниками протягом тривалого часу (10 і більше років). Тому за потреби навіть через 5 років можна замінити один елемент іншим. Наприклад, контролер, який встановлено в запропонованій системі, випускається з 2012 року і найближчим часом його виробництво буде продовжуватися.

Аналіз графіків мікроклімату пілотного об'єкта показав, що температура повітря, відносна вологість і концентрація CO₂ відповідають нормативним вимогам та забезпечують комфортні умови.

У робочі дні температура в спальнях стабільно підтримується на рівні 22 °C протягом доби. На кухні з 22:00 до 8:00 вона становить близько 18 °C, далі зростає з піком о 14:00–16:00 та знижується до 18 °C до 22:00; аналогічна динаміка спостерігається у вихідні. Це свідчить, що в спальнях температуру підтримує система опалення, а підвищення на кухні зумовлене зовнішніми чинниками, зокрема сонячними теплонадходженнями через світлопрозорі огороження, що підтверджується подібністю графіків у різні дні та орієнтацією будівлі. У цей період зменшується подача тепла. Зростання CO₂ і вологості після 15:00 вказує на присутність мешканців; до 15:00 у робочі дні рівень CO₂ стабільний (~400 ppm). Вплив перебування або діяльності людини на підвищення температури в спальнях є незначним, на що вказують коливання температури в межах 1 °C.

З огляду на викладене, для пілотного об'єкта доцільно рекомендувати врахування зовнішніх чинників (зокрема сонячних теплонадходжень) і режиму перебування мешканців з метою зниження енергоспоживання. Підтримання температури 22 °C у періоди відсутності мешканців є недоцільним. За ясної погоди сонячні теплонадходження підвищують температуру в приміщенні приблизно на 4 °C, що дозволяє зменшити витрати теплоносія в цей період.

Слід передбачити автоматичні системи вентиляції для забезпечення припливу свіжого повітря в періоди активної діяльності мешканців пілотного об'єкта, зокрема з 17:00 до 22:00 у робочі дні, коли рівень CO₂ у приміщеннях сягає 800 ppm, а також протягом дня у вихідні дні, коли рівень CO₂ перебуває в межах 700–800 ppm і в окремі періоди досягає 1000 ppm.

Обмеженням технічного рішення, що тестується на пілотному об'єкті ЖК «Панорама», є функціонування лише в режимі моніторингу та збору даних (енерго- і теплоспоживання, параметри мікроклімату) без автоматичного регулювання температури за відсутності мешканців. Водночас інтерактивна візуалізація споживання енергії та параметрів мікроклімату стимулює проактивну поведінку користувачів: мешканці можуть самостійно коригувати режим на підставі даних моніторингу. Очікується, що підвищення обізнаності та свідоме ставлення до енергозбереження забезпечать позитивний ефект від упровадження рішення на цьому етапі.

5.3. Висновки до розділу 5

1. За результатами інструментального моніторингу параметрів мікроклімату приміщень житлового малоповерхового будинку, а саме температури і відносної вологості, визначено вплив пічної і, частково, електричної поверхневої (стінної і підлогової) системи опалення на мікроклімат будівлі та факторів, що негативно впливають на мікроклімат. Запропоновано заходи для підтримки параметрів мікроклімату на нормованому рівні.

2. Розроблена архітектура мережі Інтернету речей для технічного рішення системи проактивного управління житловими будинками на основі смартобладнання. Рішення складається з мультисенсорних датчиків, що вимірюють CO₂, температуру та вологість у приміщенні, смартлічильників споживання тепла та електроенергії, а також смартрозеток, які об'єднані в одну систему за допомогою інтеграційного контролера. Система у режимі

реального часу здійснює збір інформації щодо параметрів моніторингу, її обробку, візуалізацію та зберігання, а також забезпечує віддалений доступ користувачів до отриманих даних через інтерактивний вебінтерфейс.

3. Результати тестування запропонованого технічного рішення в умовах пілотного об'єкта показали стабільність роботи та безперебійну передачу даних про параметри енергоспоживання, мікроклімату та якості повітря до системи аналітики. Аналіз отриманих масивів даних про добове споживання енергоресурсів та зміни параметрів мікроклімату дозволив запропонувати рекомендації щодо зниження енергоспоживання для пілотного об'єкта. Температура та відносна вологість повітря перебувають на належному рівні, у межах нормативних вимог. Проте немає необхідності підтримувати температуру у приміщеннях на рівні 22 °С, коли в них не перебувають люди (робочий час). Для зменшення енергоспоживання під час експлуатації пілотного об'єкта необхідно враховувати такі зовнішні фактори: надходження сонячного тепла та звички (періоди активної діяльності, відсутності тощо) мешканців. Погодні умови також слід враховувати при регулюванні подачі тепла у приміщення. У періоди активної діяльності мешканців пілотного будинку (з 17:00 до 22:00 у робочі дні та вдень у вихідні) рівень CO₂ у приміщеннях становить 700–800 ppm і навіть у окремі періоди досягає 1000 ppm. З огляду на це, у приміщеннях повинні бути передбачені автоматичні системи вентиляції для забезпечення притоку свіжого повітря.

5.4. Список використаних джерел у розділі 5

У розділі 5 використані [115...117, 120...126] літературні джерела. Їх найменування наведені в загальному списку використаних джерел.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення та нове вирішення актуальної науково-практичної задачі, що полягає в дослідженні та розробці наукових та методологічних положень, методів розрахунку та проектування параметрів комфорту і енергоефективності житлових будівель з використанням смарттехнологій. Виконані дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. Отримано дані про енергетичні потреби і структуру витрат енергії (річних, середньомісячних, на душу населення) на опалення, гаряче водопостачання, приготування їжі, електропостачання для побутових потреб малоповерхових житлових будинків домогосподарств в Україні. У результаті моделювання енергоспоживання житлового будинку площею 150 м² зі стандартним набором побутових приладів визначено середнє місячне споживання електроенергії на побутові потреби на рівні 217 кВт·год. Фактичні багаторічні вимірювання (2017–2023 рр.) у домогосподарстві з 5 мешканцями свідчать про середнє річне кінцеве споживання енергії – 4957 кВт·год на одного мешканця, що на 12 % перевищує показники Eurostat для типових європейських домогосподарств.

Середнє місячне електроспоживання становить 249 кВт·год, що на 13 % більше, ніж результати моделювання. Сумарні середні місячні витрати енергії на побутові потреби, нагрів гарячої води та приготування їжі становлять 630 кВт·год. Побудована структура кінцевого енергоспоживання домогосподарства: найбільшу частку становить опалення (70 %), далі – гаряча вода та процеси приготування їжі (18 %), а також електроенергія для приладів та обладнання (12 %). Питоме річне енергоспоживання будівлі – 155 кВт·год/м²·рік – відповідає характеристикам «нових» будівель, споруджених у період 1970–2002 рр. Отримані результати дають змогу визначити реальний профіль споживання енергії та використовувати його для раціонального планування систем автономного енергопостачання.

2. Обґрунтована можливість забезпечення потреб енергії домогосподарством відновлювальними джерелами енергії, зокрема за допомогою СЕС в умовах Центральної України. Розрахунки ефективності сонячної електростанції (СЕС) у кліматичних умовах м. Дніпро підтвердили, що оптимальним є кут нахилу сонячних панелей 35° з орієнтацією на південь. Відхилення від оптимального азимуту суттєво впливає на генерацію: орієнтація на схід знижує продуктивність на 12 %, на захід – на 22 %, а вертикальна установка панелей – на 43–61 %. Допустимими для північних широт є напрямки від південного сходу до південного заходу з кутами нахилу $25\text{--}65^\circ$, що забезпечують втрати ефективності менші ніж 10 %.

На основі детального аналізу добового й річного навантаження встановлено раціональну потужність СЕС для домогосподарства – 6,3 кВт, що забезпечує річну генерацію 7528 кВт·год і покриває середньомісячні витрати на рівні 630 кВт·год. Це доводить можливість повного автономного енергозабезпечення побутових потреб та ГВП у середньоєвропейській кліматичній зоні України.

Паралельно виконано оцінку теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій та визначено залежності між приведеним опором теплопередачі та річними витратами теплоти на опалення. Установлено раціональне значення приведенного опору теплопередачі $R \approx 3,5 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, за якого витрати на опалення знижуються до 70 кВт·год/м²·рік, а подальше збільшення R дає мінімальний додатковий ефект.

Результати підтверджують доцільність комплексного підходу: одночасне підвищення теплоізоляції та оптимізація СЕС забезпечують найвищу ефективність автономного енергопостачання.

3. Обґрунтовані системи опалення будівель відновлювальними джерелами енергії на основі сонячних колекторів та теплового насоса з вертикальним ґрунтовим колектором тепла. Виконані розрахунки систем сонячного опалення з використанням середньомісячних кліматичних даних дали змогу визначити параметри сонячних колекторів, необхідних для

забезпечення часткового покриття потреб опалення протягом опалювального періоду. Запропоновані залежності місячного коефіцієнта заміщення палива дають змогу оцінювати ефективність системи на будь-якому етапі проєктування.

На основі аналізу теплового режиму різних типів ґрунтових колекторів визначено ефективний лінійний опір теплопередачі, який узгоджується з результатами попередніх чисельних досліджень нестационарного теплообміну в ґрунті. Виконано розрахунок системи опалення з тепловим насосом (ТН) та вертикальним ґрунтовим теплообмінником.

Порівняння сонячних колекторів і теплового насоса показало, що ТН забезпечує значно вищий і стабільніший рівень заміщення палива протягом року. Основний недолік ТН – залежність від електропостачання та його вартість; для СК – обмежена теплопродуктивність і сильна залежність від метеорологічних умов. Комплексний аналіз свідчить, що найбільш ефективним є комбінування систем, де ТН забезпечує базове теплоспоживання, а СК – сезонне зниження навантаження на основне енергоджерело.

4. Досліджено та обґрунтовано енергоефективні поверхневі системи нагріву й охолодження житлових приміщень у холодний і теплий періоди року. Запропоновано методику розрахунку тепловтрат і визначення необхідної товщини утеплювача для огороджувальних конструкцій із вбудованими теплообмінними елементами.

Показано, що настінні та підлогово-стельові системи забезпечують найбільш рівномірний температурний режим, дають змогу застосовувати низькотемпературні теплоносії та підвищують енергоефективність у поєднанні з тепловими насосами, конденсаційними котлами й сонячними колекторами.

Розроблено способи конструктивного формування панелей поверхневого обігріву з оптимальним розподілом температури за висотою приміщення: подача теплоносія знизу, регулювання кроку укладання

трубопроводів та зонування панелей. Сформульовано корисні моделі для систем водяного та електричного опалення з вертикальним зонуванням і інтеграцією підлогових та стельових елементів.

Імітаційне моделювання (Flow Simulation) підтвердило ефективність капілярно-трубчастих матів для літнього охолодження. Чисельні дослідження опалення засвідчили, що при стельових і настінних системах температура повітря у функціональній зоні на 1,5–2 °C нижча за радіаційну, а стельове опалення забезпечує температуру на 3,5 °C вищу порівняно з настінним опаленням.

5. Проведено дослідження та отримано дані про зміни параметрів мікроклімату (температури, відносної вологості) в малоповерховій заглибленій будівлі з комбінованою системою опалення – пічною та, частково, електричною поверхневою (підлоговою і стіною) залежно від визначальних факторів. Розроблено архітектуру системи проактивного управління будинком на базі Інтернету речей (IoT), що включає мультисенсорні датчики CO₂, температури, вологості, розумні лічильники та керовані розетки, об'єднані інтеграційним контролером. Система забезпечує збір, обробку, візуалізацію та зберігання даних у режимі реального часу з можливістю дистанційного доступу.

Тестування у пілотному будинку підтвердило стабільну роботу системи та дало змогу зменшити енергоспоживання. Встановлено, що підтримання 22 °C під час відсутності мешканців є неефективним, тому режими опалення слід коригувати з урахуванням поведінки людей, сонячних тепловиділень і погоди. Концентрації CO₂ на рівні 700–1000 ppm під час активності мешканців вказують на необхідність автоматизованої вентиляції для стабільного повітрообміну. Отримані результати доводять ефективність IoT-технологій у підвищенні енергоефективності та комфорту житлових будівель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фаренюк Г. Г. Наукові основи нормативного забезпечення енергоефективності будівельних об'єктів. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*, 2010. Вип. 14. С. 52–60. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/votp_2010_14_9 (дата звернення: 12.09.2025).
2. Фаренюк Г. Г. Структура та методичні положення нормативної бази з питань енергоефективності будівель. *Наука та будівництво*. 2017. № 3(13). С. 4–15. URL: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v13i3.82> (дата звернення: 12.09.2025).
3. Фаренюк Г. Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. Київ : Гама-Принт, 2009. 216 с.
4. Farenjuk G. The determination of the thermal reliability criterion for building envelope structures. *Technical Journal*. 2019. Vol. 13, no. 2. P. 129–133. URL: <https://doi.org/10.31803/tg-20181123111226> (дата звернення: 12.09.2025).
5. Фаренюк Г. Г., Фаренюк Є. Г. Методика оцінки мінімальних вимог до показників енергоефективності житлових та громадських будівель. *Наука та будівництво*. 2022. № 1(31). С. 3–12. URL: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2024-1> (дата звернення: 12.09.2025).
6. Фаренюк Г. Г., Фаренюк Є. Г. Методичні основи нового покоління будівельних норм з енергоефективності будівель. *Наука та будівництво*. 2023. № 3–4 (33–34). С. 16–25. URL: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-34-2022-2> (дата звернення: 12.09.2025).
7. Філоненко О. І. Оцінка розрахункових мікрокліматичних параметрів приміщень за показниками комфорту. *BUILDING INNOVATIONS – 2021. Збірник наукових праць за матеріалами IV Міжнародної українсько-азербайджанської науково-практичної конференції 20–21 травня 2021*. Полтава ; Баку, 2021. С. 300–303. URL: https://www.academia.edu/89075263/ORTA_%C6%8FSR_AB%C5%9EEERON_QALALARI (дата звернення: 12.09.2025).

8. Сергейчук О. В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків : дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.01 / О. В. Сергейчук ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. Київ, 2008. 425 с.

9. Sergeychuk O., Martynov V. The definition of the optimal energy-efficient form of the building. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. Vol. 7, no. 3.2. P. 667–671. URL: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14611> (дата звернення: 15.09.2025).

10. Сергейчук О. В. Вимоги норм ЄС – основа розроблення комплексу нормативних документів з природного та штучного освітлення. *Сучасні проблеми технічного регулювання у будівництві* : зб. наук. пр. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури ; гол. ред. В. О. Плоский. Київ, 2015. № 1. С. 79–85. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/items/698d75ee-3e32-44e4-9937-f4a78921a8f0> (дата звернення: 15.09.2025).

11. Сергейчук О. В., Рейцен Е. О., Громадський Ю. С. Врахування задач енергозбереження у новій редакції ДБН В.2.5-28 «Природне і штучне освітлення». *Енергоефективність в будівництві та архітектурі* : наук.-техн. зб. Вип. 7. Київ : КНУБА, 2015. С. 282–288. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/21/2015_7.pdf (дата звернення: 15.09.2025).

12. Эффективное управление энергозберігаючими проектами житлових та громадських будівель на основі пошуку оптимальних архітектурно-конструктивних технічних рішень / Юрченко Є. Л., Савицький М. В., Могилат О. Н., Баташева К. В. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування* : зб. наук. пр. Дн-ськ., 2003. Вип. 25. С. 54–59.

13. Савицький М. В., Бабенко М. М. Показники енергоефективності екологічного малоповерхового будинку з місцевих матеріалів. *Строительство, материаловедение, машиностроение* : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 77. С. 168–172. (Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения). URL: <http://smm.pgasa.dp.ua/article/view/58947> (дата звернення: 15.09.2025).

14. Сучасний стан та шляхи вирішення проблеми підвищення енергоефективності будівель і споруд в Україні / Савицький М. В., Юрченко Є. Л., Коваль О. О. та ін. *Строительство, материаловедение, машиностроение* : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. Дн-ск, 2014. Вып. 74. С. 92–97. (Стародубовские чтения 2014). URL: <http://smm.pgasa.dp.ua/article/view/97891> (дата звернення: 15.09.2025).

15. Савицький М. В., Нікіфорова Т. Д., Бабенко М. М. Оцінка і моніторинг якості мікроклімату приміщень навчальних закладів. *Тези доповідей III міжнародної конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд»*, 26–28 вересня 2019 року, м. Одеса / Одес. держ. акад. буд-ва та архітектури. Одеса : ОДАБА, 2019. С. 135. URL: https://odaba.edu.ua/upload/files/Zbirnie_tez_maket.pdf (дата звернення: 15.09.2025).

16. Savytskyi M., Danishevskyy V., Bordun M. Accumulation of solar energy to heat greenhouses. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 985. 15th International Scientific and Technical Conference "Problems of the railway transport mechanics" (PRTM 2020) 27–29 May 2020, Dnipro, Ukraine. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012013> (дата звернення: 15.09.2025).

17. Increasing Energy Efficiency of Social Building / Savytskyi M., Dukat S., Bordun M. etc. *Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектури* : тези XIX міжнар. наук.-практ. конф., (19–22 верес. 2021 р., м. Чернігів). Дніпро : ДВНЗ ПДАБА, 2021. С. 64–66. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/xmlui/handle/123456789/9896> (дата звернення: 15.09.2025).

18. How Much Is Needed? Discussion on Benchmarks for Primary Energy Input and Global Warming Potential Caused by Building Construction / Rabenseifer R., Kalivodová M., Kononets Y. etc. *Energies*. 2025. Vol. 18, iss. 5. Article no. 1166. URL: <https://doi.org/10.3390/en18051166> (дата звернення: 15.09.2025).

19. Визначення приведенного опору теплопередачі архітектурно-конструктивних вузлів огорожувальних конструкцій на основі

геометричного моделювання температурних полів / Плоский В., Безус В., Скочко В., Шамілов П. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2024. № 106, т. 1. С. 262–277. URL: <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2024.106.262-277> (дата звернення: 15.09.2025).

20. Данішевський В. В., Савицький М. В., Юрченко Є. Л. Енергетичні показники малоповерхового житлового будинку з матеріалів органічного походження. *Строительство, материаловедение, машиностроение* : сб. науч. тр. / Приднєпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. Дн-ск, 2015. Вып. 81. С. 85–92. (Создание высокотехнологических экомплєксов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития). URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/handle/123456789/3372> (дата звернення: 15.09.2025).

21. Andrianov I. V.; Topol H.; Danishevsky V. V. Asymptotic analysis of heat transfer in composite materials with nonlinear thermal properties. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2017. Vol. 111. P. 736–754 URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.03.124> (дата звернення: 15.09.2025).

22. Сонячний колектор : пат. 122906 Україна : МПК F24J2/00, F24J2/02, F24J2/04, F24J2/05, F24J2/16, F24J2/46 / Сухий К. М., Беяновська О. А., Сухий М. П., Литовченко Р. Д., Томило В. І. ; заявник та патентовласник ДВНЗ "Укр. держ. хіміко-технолог. ун-т". № u201709430. заявл. 26.09.2017 ; опубл. 25.01.2018. Бюл. № 2. 3 с. URL: <https://ua.patents.su/5-122906-sonyachnijj-kolektor.html> (дата звернення: 16.09.2025).

23. Тимофєєв М. В., Прищенко А. М. Забезпечення міцності і жорсткості підрізок в монолітних стінах з енергозберігаючими конструкціями вузлів. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі* : наук.-техн. зб. Вип. 7. Київ : КНУБА, 2015. С. 296–302. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/21/2015_7.pdf (дата звернення: 15.09.2025).

24. Parsons K. Human Thermal Environments: The effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance, London, CRC Press, 560 p. URL: <https://doi.org/10.1201/b16750> (дата звернення: 16.09.2025).

25. Fanger P. O. Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering, Copenhagen, Denmark : Danish technical press, 1970. 244 p.

26. Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy / ed. by D. Yogi Goswami, Frank Kreith. Boca Raton : CRC Press, 2007. 1560 p. URL: <https://doi.org/10.1201/9781420003482> (дата звернення: 16.09.2025).

27. Hisham Khatib. Energy Efficiency and Electrical Power Generation. *Energy Efficiency – A Bridge to Low Carbon Economy*. 2012. URL: <https://doi.org/10.5772/38173> (дата звернення: 16.09.2025).

28. Anagnostopoulos F., De Groote M. Energy Performance of the Housing Stock. *Energy Poverty Handbook* / ed. by Katalin Csiba. Brussels : European Union, 2016. P. 59–78. URL: <https://bpie.eu/wp-content/uploads/2016/11/energypovertyhandbook-online.pdf> (дата звернення: 16.09.2025).

29. Angel J. Towards Energy Democracy. Discussions and outcomes from an international workshop Amsterdam, 11-12 Feb. 2016 URL: https://www.tni.org/files/publication-downloads/energy_democracy_workshop_report_for_web-2.pdf (дата звернення: 16.09.2025).

30. Boosting Building Renovation: What Potential and Value for Europe? Study / Artola I., Rademaekers K., Williams R., Yearwood J. European Parliament, 2016. 66 p. URL: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/587326/IPOL_STU\(2016\)587326_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/587326/IPOL_STU(2016)587326_EN.pdf) (дата звернення: 16.09.2025).

31. La précarité énergétique en Europe. Des approches et des dispositifs variés, mar. 2019. IAU IdF. URL: <http://www.fnau.org/fr/publication/la-precarite-energetique-en-europe-des-approches-et-des-dispositifs-varies/> (дата звернення: 16.09.2025).

32. Bouzarovski S., Petrova S. A Global Perspective on Domestic Energy Deprivation: Overcoming the Energy Poverty-Fuel Poverty Binary. *Energy Research & Social Science*. 2015. Vol. 10. P. 31–40. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221462961500078X> (дата звернення: 16.09.2025).

33. González-Eguino M. Energy Poverty: An Overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 47. P. 377–385. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.013> (дата звернення: 16.09.2025).

34. Energy Poverty: Global Challenges and Local Solutions / eds.: Halff A., Sovacool B. K., Rozhon J. Oxford : Oxford University Press, 2014. 459 p. URL: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199682362.001.0001> (дата звернення: 16.09.2025).

35. 100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World / Jacobson M. Z., Delucchi M., Bauer Z. etx. *Joule*. 2017. Vol. 1, no. 1, P. 108–121. URL: <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/CountriesWWS.pdf> (дата звернення: 16.09.2025).

36. Energy, Poverty and Development / Karekezi S., Mcdade S., Boardman B., Kimani J. *Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future*. Cambridge : Cambridge University Press, 2012. P. 151–190. URL: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511793677.008> (дата звернення: 16.09.2025).

37. Milne G., Boardman B. Making Cold Homes Warmer: The Effect of Energy Efficiency Improvements in Low-Income Homes. A Report to the Energy Action Grants Agency Charitable Trust. *Energy Policy*. Amsterdam : Elsevier, 2000. Vol. 28, iss. 6–7. P. 411–424. URL: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00019-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00019-7) (дата звернення: 16.09.2025).

38. The Macro-Level and Sectoral Impacts of Energy Efficiency Policies / Politt H., Alexandri E., Anagnostopoulos F. etx. *European Commission*. 2017. URL: https://energy.ec.europa.eu/publications/macro-level-and-sectoral-impacts-energy-efficiency-policies_en (дата звернення: 16.09.2025).

39. The Impact of Retrofitted Insulation and New Heaters on Health Services Utilisation and Costs, Pharmaceutical Costs and Mortality. Evaluation of Warm Up New Zealand: Heat Smart. Report to the Ministry of Economic Development / Telfar-Barnard L., Preval N., Howden-Chapman P. etc. 2011. URL: <https://surl.li/ceciiu> (дата звернення: 16.09.2025).

40. Cornelis M. Energy efficiency, The overlooked climate Emergency solution. *Ekonomicheskaya Politika*. Vol. 2, P. 48–67 URL: <https://doi.org/10.18288/1994-5124-2020-2-48-67> (дата звернення: 16.09.2025).

41. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики. (EN 15251:2007, IDT). [Чинний з 2013-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2012. 71 с. URL: https://dnaop.com/html/60951/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%D0%91_EN_15251_2011 (дата звернення: 16.09.2025).

42. ДСТУ Б EN ISO 7730:2011. Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту. (EN ISO 7730:2005, IDT). [Чинний з 01.07.2013]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2012. 74 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28002 (дата звернення: 16.09.2025).

43. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy : ANSI/ASHRAE Standard 55-2020. [Institute on june 30, 2021]. URL: <https://ru.scribd.com/document/785376311/55-2020-e-20210630> (дата звернення: 16.09.2025).

44. Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria : ISO 7730:2005(E). URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/39155/9632a0563ca742209edb45856ff69296/ISO-7730-2005.pdf> (дата звернення: 16.09.2025).

45. ДБН В.2.2-15:2019. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення із Зміною № 1. [Чинний з 01.09.2022]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2022. 15 с. URL: https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/3022089359080818669/2023-01-24/1f8b6bd6-d57b-40af-81d1-7ba8444ccefc.pdf (дата звернення: 16.09.2025).

46. EN 12464-1:2011. Light and lighting – Lighting of work places Part 1: Indoor work places. [And comes into effect on: 09.06.2011]. URL: <https://surl.li/ghctuo> (дата звернення: 16.09.2025).

47. EN 16798-1:2019. Energy performance of buildings – Ventilation for buildings Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Module M1-6. [Effective Date 08.05.2019]. URL: <https://surl.lt/bziypg> (дата звернення: 16.09.2025).

48. ISO 16283-1:2014. Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation. URL: <https://www.iso.org/standard/55997.html> (дата звернення: 17.09.2025).

49. SDG 7 – Affordable and clean energy. Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all. *Statistics Explained* / Eurostat. ISSN 2443-8219. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=SDG_7_-_Affordable_and_clean_energy (дата звернення: 17.09.2025).

50. Завгородня С. П. Доступність енергії для населення: проблеми та перспективи: аналіт. доповідь. Київ : НІСД, 2020. 66 с. URL: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2021-09/analytrep_04_2021.pdf (дата звернення: 17.09.2025).

51. CalcProfi. Онлайн калькулятор. URL: <https://uk.calcprofi.com/Tonna-Naftovoho-Ekvivalenta.html> (дата звернення: 17.09.2025).

52. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинний з 2019-03-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 137 с. URL: https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/3021958029097567993/2023-01-23/af44e6ba-3076-4c59-a754-d9319b6eb80d.pdf (дата звернення: 17.09.2025).

53. ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. [Чинний з 2014-06-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 85 с. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3083626778627933844?doc_type=2 (дата звернення: 17.09.2025).

54. Shaqour A., Hagishima A. Systematic Review on Deep Reinforcement Learning-Based Energy Management for Different Building Types. *Energies*.

Vol. 15, iss. 22. Article 8663. URL: <https://doi.org/10.3390/en15228663> (дата звернення: 17.09.2025).

55. Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast) (Text with EEA relevance) / European Parliament, Council of the European Union. *EUR-Lex. Access to European Union law*. 2023. 111 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791> (дата звернення: 17.09.2025).

56. Пасивне будівництво. Презентація / Шевчук А. С., Микитин М. Б. URL: <https://findslide.org/ekologiya/pasivne-budvinitstvo/pdf> (дата звернення: 17.09.2025).

57. Passive House Planning Package (PHPP). *Passive House School*. URL: <https://passivehouseschool.com/resources/software/passive-house-planning-package-phpp/> (дата звернення: 17.09.2025).

58. Пасивний будинок. Будинок нуль енергії. URL: <http://nkkep.com/wp-content/uploads/2020/05/26.05-P-12-Pry-roda-I.pdf> (дата звернення: 17.09.2025).

59. Mariottini F., Arcipowska A. Nearly zero energy buildings definitions across Europe. URL: https://www.researchgate.net/publication/314152024_Nearly_Zero_Energy_Buildings_Definitions_across_Europe (дата звернення: 17.09.2025).

60. Energy performance of buildings (until 2026). *EUR-Lex. Access to European Union law*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/LSU/?uri=celex:32010L0031> (дата звернення: 17.09.2025).

61. ISO 52016-1:2017. Energy performance of buildings – Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads Part 1: Calculation procedures. URL: <https://www.iso.org/standard/65696.html> (дата звернення: 17.09.2025).

62. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast) (Text with EEA relevance.) / European Parliament, Council of the European Union. *EUR-Lex. Access to European Union law*. [Date of effect: 2018-12-24] URL:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX: 32018L2001>
(дата звернення: 17.09.2025).

63. EN 15804:2012+A2:2019 (Main). Sustainability of construction works - Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products. *ITEH Standards*. [Effective Date: 2019-07-10]. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/c98127b4-8dc2-48a4-9338-3e1366b16669/en-15804-2012a2-2019> (дата звернення: 17.09.2025).

64. Kalogirou S. A. Solar Energy Engineering: Processes and Systems: Second Edition. Academic Press., 2014. URL: https://library.uniteddiversity.coop/Energy/Solar/Solar_Energy_Engineering-Processes_and_Systems.pdf (дата звернення: 17.09.2025).

65. Dunlop J. P. Photovoltaic Systems / James P. Dunlop; National Joint Apprenticeship and Training. 2nd. Ed. Amer Technical Pub, 2009. 490 p. URL: <https://www.amazon.com/Photovoltaic-Systems-Jams-P-Dunlop/dp/0826913083>
(дата звернення: 17.09.2025).

66. Comparison of heating systems in a residential building / Jeroen Van der Veken, Leen Peeters, Hugo Hens, K. U. Leuven. *Ninth International IBPSA Conference*, Montréal, Canada 16-18 Aug., 2005. P. 1277–1284. URL: https://publications.ibpsa.org/proceedings/bs/2005/papers/bs2005_1277_1284.pdf
(дата звернення: 17.09.2025).

67. Development of design calculations for radiant ceiling panels incorporating phase change materials (PCMs) / E. Švarcová, J. Shinoda, D. I. Bogatu etc. *Journal of Physics: Conference Series*, 2023. Vol. 2600. Article 062002. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/6/062002> (дата звернення: 17.09.2025).

68. Web-Based Design and Implementation of Smart Home Appliances Control System / Bimenyimana S., Ishimwe A., Asemota G. N. etc. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 168, Article 012017. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/168/1/012017> (дата звернення: 17.09.2025).

69. Design of Power Monitoring and Electrical Control Systems to Support Energy Conservation: Design Power Monitoring and Electrical Control Systems / Limpraptono F. Y., Nurcahyo E., Ashari M. I. etc. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: A. Physical and Computational Sciences*, 2021. Vol. 58. Spec. Iss. : Innovation in Electrical Engineering, Information Technology and Renewable Energy for Welfare. P. 1–7. URL: [https://doi.org/10.53560/PPASA\(58-sp1\)726](https://doi.org/10.53560/PPASA(58-sp1)726) (дата звернення: 17.09.2025).

70. An innovative Home and Building Automation design tool for Nanogrids Applications / Paolillo A., Carnì D. L., Kermani M. etc. *2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, 11-14 June 2019. P. 1–5. URL: <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2019.8783878> (дата звернення: 17.09.2025).

71. Intelligent energy management based on SCADA system in a real Microgrid for smart building applications / Kermani M., Adelmanesh B., Shirdare E. etc. *Renewable Energy*. 2021. Vol. 171. P. 1115–1127. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.008> (дата звернення: 17.09.2025).

72. Cooperative energy management of a community of smart-buildings: A Blockchain approach / Cutsem O. V., Dac D. H., Boudou P., Kayal M. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2020. Vol. 117. Article 105643. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105643> (дата звернення: 18.09.2025).

73. Decision support methodologies on the energy efficiency and energy management in buildings / Kolokotsa D., Diakaki C., Grigoroudis E. etc. *Advances in Building Energy Research*. 2009. Vol. 3, iss. 1. P. 121–146. URL: <https://doi.org/10.3763/aber.2009.0305> (дата звернення: 18.09.2025).

74. Using Fuzzy Control Methods for Increasing the Energy Efficiency of Buildings / Mpelogianni V., Groumpos P. *International Journal of Monitoring and Surveillance Technologies Research*. 2015. Vol. 3, iss. 4. P. 1–22. URL: <https://doi.org/10.4018/IJMSTR.2015100101> (дата звернення: 18.09.2025).

75. Proactive Building Energy Management Methods based on Fuzzy Logic and Expert Intelligence / Mpelogianni V., Giannousakis K., Kontouras E. etc. *IFAC-PapersOnLine*. 2019. Vol. 52, iss. 25. P. 519–522. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.597> (дата звернення: 18.09.2025).

76. Renewable energy sources and energy efficiency for building's greening: From traditional village houses via high-rise residential building's BPS and RES powered co- and tri-generation towards net ZEBuildings and Cities / Todorović M. S., Ećim Djurić O., Matinović I., Ličina D. *2011 IEEE 3rd International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources (EXPRES)*, 11–12 Mar. 2011, Subotica, Serbia. 2011. P. 29–37. URL: <https://doi.org/10.1109/EXPRES.2011.5741812> (дата звернення: 18.09.2025).

77. Modelling of hybrid energy system. Part I: Problem formulation and model development / Gupta A., Saini R. P., Sharma M. P. *Renewable Energy*. 2011. Vol. 36, iss. 2. P. 459–465. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.06.035> (дата звернення: 18.09.2025).

78. Demand dispatch: using real-time control of demand to help balance generation and load / Brooks A., Lu E., Reicher D. etc. *IEEE Power and Energy Magazine*. 2010. Vol. 8, iss. 3. P. 20–29. URL: <https://doi.org/10.1109/MPE.2010.936349> (дата звернення: 18.09.2025).

79. Proactive management for smart buildings resource management strategy / Prodanovic M., Molina M. B. T., Gallo A., Gonzalez-Aguilar J. *SMARTGREENS 2013 – Proceedings of the 2nd International Conference on Smart Grids and Green IT Systems*, Aachen, Germany, 9–10 May, 2013. 2013. P. 165–170. URL: https://www.researchgate.net/publication/289404106_Proactive_management_for_smart_buildings_resource_management_strategy (дата звернення: 18.09.2025).

80. Suyang Zhou. Design and Development of Energy Management System for Smart Homes & Buildings. Thesis. University of Birmingham, 2014. 161 p. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/33528026.pdf> (дата звернення: 18.09.2025).

81. Аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду використання енергозберігаючих технологій у галузі будівництва. Методичні рекомендації щодо практики застосування міжнародного та вітчизняного досвіду використання енергозберігаючих технологій у галузі будівництва на теренах Львівщини / авт. кол.: Саницький М. А. та інш. ; під. ред. Саницького М. А., Позняка О. Р. Львів, 2008. 134 с. URL: <https://ru.scribd.com/document/635759412/Untitled> (дата звернення: 18.09.2025)
82. Географічні координати Дніпро, Україна. *Dateandtime.info*. URL: https://dateandtime.info/uk/citycoordinates.php?id=709930#google_vignette (дата звернення: 18.09.2025).
83. Енергія сонця: Сонячна радіація в містах України. *Blogger*. URL: <http://solnechniysvet.blogspot.com/p/blog-page.html> (дата звернення: 18.09.2025).
84. Solar-Tech. Альтернативні джерела енергії. URL: <http://solar-tech.com.ua/solar-electricity/> (дата звернення: 18.09.2025).
85. Розрахунок сонячних батарей. Онлайн калькулятор сонячних панелей (батарей). URL: <https://alternative24.com.ua/ru/calc/?srsltid=AfmBOoqm992tHfWgHK1kZtzV-W5lDEJvu5wWPxAU3BHmLZf6mB8zHe2t> (дата звернення: 18.09.2025).
86. What is Net Billing for Solar Homeowners? / Bartle D., Chouhan K. *Enact. Solar*. URL: <https://enact.solar/what-is-net-billing-for-solar-homeowners/> (дата звернення: 18.09.2025).
87. Сонячна електростанція. *Правильне електроживлення*. URL: <https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-power-plants/> (дата звернення: 18.09.2025).
88. Maxeon solar panels. *MAXEON*. URL: <https://www.maxeon.com/maxeon-solar-panels> (дата звернення: 18.09.2025).
89. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель / Держ. н.-д. ін-т будівельн. констр. [Чинний з 01.09.2022]. Вид. офіц. Київ :

Мінрегіон України, 2022. 22 с. URL: https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2022/08/DBN-V_2_6-31-2021.pdf (дата звернення: 18.09.2025).

90. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування- К.: Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України / Укр. н-д ін-т спец. будівельних робіт, [Чинний з 01.01.2013]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2013. 113 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50154 (дата звернення: 19.09.2025).

91. Методика визначення енергетичної ефективності будівель. Київ: Мін-во регіон. розвитку, буд-ва та житлово-комунального господарства України. 2018. 43 с. URL: <https://surl.li/gaawen> (дата звернення: 19.09.2025).

92. Гібридний інвертор в Києві. *Zakupka.com*. URL: <https://zakupka.com/uk/k/f-gibridnyy-invertor/> (дата звернення: 19.09.2025).

93. OPzV акумулятори. *Solar. Альтернативні джерела енергії*. URL: <https://solar.kiev.ua/ua/akkumulyatory/opzv-akkumulyatory/> (дата звернення: 19.09.2025).

94. Контролер Morningstar TriStar-MPPT 60. *Генерація* URL: <https://generacia.energy/product/kontroler-morningstar-tristar-mppt-60/> (дата звернення: 19.09.2025).

95. Котли електричні в Запоріжжі. *Zakupka.com*. URL: <https://zakupka.com/uk/zaporozhye/t/kotly-elektricheskie-3782/> (дата звернення: 19.09.2025).

96. ДСТУ-Н Б В.2.5-43:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Настанова з улаштування систем сонячного теплопостачання в будинках житлового і громадського призначення. [Чинний від 2011-07-01]. Не є офіц. вид. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 42 с. (Національний стандарт України). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50154 (дата звернення: 19.09.2025).

97. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна

кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Не є офіц. вид. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с. (Національний стандарт України). URL: <https://surl.li/gfmdoe> (дата звернення: 19.09.2025).

98. Каталог опалювальної техніки Buderus 2024. Розділ 6. Геліосистеми Logasol https://www.buderus.com/ua/media/country-pool/professional/catalogues-and-brochures/buderus_2024_6.pdf (дата звернення: 21.09.2025).

99. Каталог опалювальної техніки Buderus 2024. Розділ 7. Теплові насоси Compress. https://www.buderus.com/ua/media/country-pool/professional/catalogues-and-brochures/buderus_2024_7_web.pdf (дата звернення: 21.09.2025).

100. Посібник для систем опалення з тепловими насосами Bosch. Bosch Home Comfort. 2024. 115 с. https://www.buderus.com/ua/media/country-pool/professional/design-docs/posibnyk-opalennya_2024_print.pdf (дата звернення: 21.09.2025).

101. VDI 4650. Blatt 1 Berichtigung : 2024-08. Calculation of the seasonal coefficient of performance of heat pumps – Electric heat pumps for space heating and domestic hot water – Corrigendum concerning standard VDI 4650 Part 1:2024-02. Berlin: Beuth Verlag, 2024. 64 p. URL: <https://www.dinmedia.de/en/technical-rule/vdi-4650-blatt-1/373887667> (дата звернення: 21.09.2025).

102. VDI 4640. Blatt 2 : 2019-06. Thermal use of the underground – Ground source heat pump systems. Berlin: Beuth Verlag, 2019. 139 p. URL: <https://www.dinmedia.de/en/technical-rule/vdi-4640-blatt-2/301691451> (дата звернення: 21.09.2025).

103. Большаков В. И., Данишевский В. В., Кушнеров Е. А. Теплотехническое моделирование вертикальных грунтовых коллекторов тепловых насосов методом конечных разностей. *Строительство, материаловедение, машиностроение* : сб. науч. тр. Дн-ск : ПГАСА, 2010. Вып. 53. С. 85–99. URL: <http://smm.pgasa.dp.ua/article/view/58535> (дата звернення: 21.09.2025).

104. Савицкий Н. В., Данишевский В. В., Калга И. П. Энергоэффективные системы отопления жилого дома на основе солнечных

коллекторов и тепловых насосов. *Строительство, материаловедение, машиностроение* : сб. науч. тр. Дн-ск : ПГАСА, 2011. Вып. 58. С. 596–603. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmssc_2011_58_92 (дата звернення: 21.09.2025).

105. Heinrich Günter; Najork Helmut; Nestler Walter. Wärmepumpen für Industrie, Landwirtschaft und Gesellschaftsbau. Berlin : VEB Verlag Technik, 1978. 202 s. (Reihe Luft- und Kältetechnik). URL: <https://sclib.svkk.sk/sck01/Record/000176012> (дата звернення: 19.09.2025)

106. Reay D. A., Macmicheal D. B. A. Heat Pumps: Design and Applications : a Practical Handbook for Plant Managers, Engineers, Architects, and Designers. Oxford ; New York : Pergamon Press, 1979. 302 p.

107. 2024 ASHRAE. Heating, Ventilating, and Air-Conditionin. systems and equipment : Handbook. SI Edition. Georgia, 2024. 1006 p. URL: <https://dokumen.pub/ashrae-handbook-heating-ventilating-and-air-conditioning-systems-and-equipment-9781955516846.html> (дата звернення: 22.09.2025).

108. Mills A. M., Coimbra C. F. M. Basic Heat and Mass Transfer. Third Edition. San Diego : Temporal Publishing. LLC, 2015. 65 p. URL: <https://ms.z-library.sk/book/17218699/1e9e54/basic-heat-and-mass-transfer-third-edition.html> (дата звернення: 21.09.2025).

109. Thermal equilibrium as a predictor of growth efficiency in preterm infants / Heiter J, Konow J, Koch J. etc. *Frontiers Pediatrics*. 2024. Vol. 12. Article 1469724. 5 p. URL: <https://doi.org/10.3389/fped.2024.1469724> (дата звернення: 21.09.2025).

110. Енергоефективні технології в будівництві : навч. Посібник / М. А. Саницький, У. Д. Марущак, О. Р. Позняк. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2024. 156 с.

111. Mortal D. How do we achieve Ideal Heating Curve for your Comfort? *Premier Energy USA*. Ideal Heating Curve. URL: <https://premierenergyusa.com/ideal-heating-curve/> (дата звернення: 22.09.2025).

112. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy : How ANSI/ASHRAE Standard 55-2020 Can Benefit Occupants. URL: <https://mississippivalleyashrae.org/docs/ASHRAE-55.pdf> (дата звернення: 22.09.2025).

113. Hydrokapillare – energy-efficient water capillary mat system solutions for heating, cooling, and dehumidification. *Hydrokapillare* / SIA Hydrokapillar Tech. URL: <https://hydrokapillare.eu/home/> (дата звернення: 22.09.2025).

114. SolidWorks Flow Simulation 2012. Technical Reference. 2012. 178 p. URL: https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/files/18565/SW_CFD_technical_reference.pdf?1361897013 (дата звернення: 22.09.2025).

115. Реєстратори даних Tinytag Ultra 2 - ТГУ-4500. URL : <https://www.geminidataloggers.com/data-loggers/tinytag-ultra-2/tgu-4500> (дата звернення: 22.09.2025).

116. Precept Project. Less Energy – Smarter Buildings. *Enlit* / Synergy BV. URL: <https://www.enlit.world/projects/precept/> (дата звернення: 22.09.2025).

117. WebHMI Documentation. WebHMI. URL: <https://docs.webhmi.com.ua/> (дата звернення: 22.09.2025).

118. Енергоефективність впровадження проєктів підвищення теплового захисту існуючих великопанельних житлових будинків / Савицький М. В., Нікіфорова Т. Д., Дуднік А. В. та ін. *Міжнародна науково-технічна конференція "Енергоефективність-2003"* : тези доп. : супут. заходи: семінар для представників місц. органів виконав. влади; круглий стіл "Взаємодія підприємств та організацій в сфері енергозбереження" / Держ. ком. України з енергозбереження, НАН України ; ред.: д-р фіз.-мат. наук В. А. Жовтянський, акад. НАН України, д-р техн. наук Б. С. Стогній. Київ : [б. в.], 2003.

119. Енергоефективність заглиблених протизсувних споруд / Савицький М. В., Куліченко І. І., Нікіфорова Т. Д. та ін. *Міжнародна науково-технічна конференція "Енергоефективність-2003"* : тези доп. : супут. заходи: семінар для представників місц. органів виконав. влади; круглий стіл "Взаємодія підприємств та організацій в сфері енергозбереження" / Держ. ком.

України з енергозбереження, НАН України ; ред.: д-р фіз.-мат. наук В. А. Жовтянський, акад. НАН України, д-р техн. наук Б. С. Стогній. Київ : [б. в.], 2003.

120. Савицький О. М., Спиридоненков В. А., Циганкова С. Г. Інноваційна система енергоменеджменту ЖК «ПАНОРАМА» у м. Дніпро. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2024. № 1(19). С. 130–142. URL: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.270224.130.1033> (дата звернення: 22.09.2025).

121. Design of proactive management system for residential buildings by using smart equipment / Savytskyi M., Shekhorkina S., Bordun M. etc, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024, № 8 (128), vol. 2. P. 16–25. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.301882> (дата звернення: 22.09.2025).

122. Implementation of smart building management systems for residential complex “PANORAMA” / Oleksandr Savytskyi, Vitalii Spyrydonenkov, Svitlana Tsyhankova, Maryna Babenko. *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 534 : International Scientific and Practical Conference Innovations in Construction and Smart Building Technologies for Comfortable, Energy Efficient and Sustainable Lifestyle (ICSBT 2024). Article № 01020. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453401020> (дата звернення: 22.09.2025).

123. Savytskyi O. M., Spyrydonenkov V. A., Tsyhankova S. H. Residential building energy management system. *Матеріали V науково-практичної конференції молодих вчених «Інтелектуальна власність та просування енергоефективності в Україні: проблеми та перспективи розвитку в інформаційному суспільстві»*, 12 груд. 2023 р., м. Дніпро / Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури. Дніпро : ПДАБА, 2023. С. 5–7. URL: <https://pgasa.dp.ua/wp-content/uploads/2024/02/zbirnyk-V-npk-Intelektualna-vlasnist-12.12.2023-SAJT-1.pdf> (дата звернення: 22.09.2025).

124. Савицький О. М., Спиридоненков В. А., Циганкова С. Г. Деякі проблеми впровадження інтелектуальних систем управління будівлями на

прикладі ЖК «ПАНОРАМА». *Просування енергоефективності та підготовка фахівців для відбудови України* : мат-ли наук.-практ. конф., Дніпро, 13 берез. 2024 р. : зб. тез / ред.: Микола Савицький, Костянтин Сухий, Владислав Данішевський та ін. Дніпро : Енерго-інновац. хаб ПДАБА, 2024. С. 106–110. URL: <https://surl.lt/pedvff> (дата звернення: 22.09.2025).

125. Савицький О. М., Спиридоненков В. А., Циганкова С. Г. Впровадження інтелектуальних систем управління будівлями в ЖК «ПАНОРАМА». *Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології забезпечення параметрів комфорту, енергоефективності і екологічності житлових будівель на основі смарттехнологій»* (м. Дніпро, 20–21 лют. 2024 р.). Дніпро : ПДАБА, 2024. С. 150–153. URL: <https://surl.li/fpywzr> (дата звернення: 22.09.2025).

126. Proactive smart residential houses in the green building concept / Savytskyi O. M., Spyrydonenkov V. A., Tsyhankova S. H. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction»*, 16–17 квіт. 2024 р., Київ : Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури, 2024. С. 300–303. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyyj-4.pdf (дата звернення: 22.09.2025).

127. Savytskiy M., Babenko M., Spyrydjnenkov V. Ukrainian national eco-certification system of the buildings. 6-й Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» : зб. мат-лів. Львів : Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2020. С. 42–43. URL: <https://surl.li/fprjqo> (дата звернення: 22.09.2025).

128. Shibko Oksana, Spyrydonenkov Vitalii, Sokolova Kateryna. Selection of indicators for research into life cycle processes of construction enterprises. *Sustainable housing and human settlement* : monograph / under the general edit. Savytskyi M. Dnipro : SHHE “Prydnipr. State Acad. of Civil Eng. and Architecture”; Bratislava : Slovak Univ. of Techn. in Bratislava, 2018. P. 229–234.

URL: <https://crust.ust.edu.ua/items/f9aebd3c-d02e-47eb-8fbf-096fc0d5be24> (дата звернення: 22.09.2025).

129. Зелені будівлі для сталого розвитку житлового будівництва : монографія / Бабенко М. М., Бордун М. В., Савицький М. В. та ін. Дніпро : ФОП Удовиченко О. М., 2018. 99 с. URL: https://pgasa.dp.ua/wp-content/uploads/2023/04/Monografyya_Zeleni-budivli.pdf (дата звернення: 22.09.2025).

130. Системи генерації, накопичення та трансформації сонячної енергії для ефективного енергозабезпечення будівель і споруд : кол. моногр. / Савицький М., Шехоркіна С., Бордун М. та ін. ; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. М. Савицького. Дніпро : ФОП Удовиченко О. М., 2021. 356 с. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/xmlui/handle/123456789/10129> (дата звернення: 22.09.2025).

131. Савицький О. М., Спиридоненков В. А., Шинкаренко І. В. Сучасні індустріальні архітектурно-конструктивні технологічні системи малоповерхових будівель на основі елементів НВЕ. Інтелектуальні конструкції та інноваційні будівельні матеріали : зб. наук. пр. Вип. 5. Херсон : ХДАЕУ, 2024. С. 84–87. URL: https://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/2024/06/mater_07_06_24.pdf (дата звернення: 22.09.2025).

132. How Much Is Needed? Discussion on Benchmarks for Primary Energy Input and Global Warming Potential Caused by Building Construction / Rabenseifer R.; Kalivodová M.; Kononets Y. etc. *Energies*. 2025. Vol. 18, iss. 5. Article 1166. URL: <https://doi.org/10.3390/en18051166> (дата звернення: 22.09.2025).

133. Numerical thermal analysis of wall structure for sustainable buildings / Maryna Babenko, Mykola Savytskyi, Boris Bielek etc. *Proceedings of the enviBUILD 2019 : Buildings and Environment*. Bratislava, 7 Nov. 2019 / zost. Jozef Hraška, Peter Hanuliak, Peter Hartman. Warsaw : De Gruyter Poland, 2020. P. 7–12. URL: <https://content.sciendo.com/view/book/9788395669699/10.2478/9788395669699-002.xml> (дата звернення: 22.09.2025).

134. Savytskyi M., Danishevskyy V., Bordun M. Accumulation of solar energy to heat greenhouses. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 985 : 15th International Scientific and Technical Conference "Problems of the railway transport mechanics" (PRTM 2020), 27–29 May 2020, Dnipro, Ukraine. Iss. 1. Article 012013. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/985/1/012013/pdf> (дата звернення: 22.09.2025).

135. Адегов О. В., Колохов В. В., Василенко І. С. Інженерні системи для доступного житла як визначальний чинник життєвого циклу будівлі. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*: зб. наук. праць. Вип. 81 / Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури. Дн-ськ, 2015. С. 31–36. URL: <http://smm.pgasa.dp.ua/issue/view/3387> (дата звернення: 22.09.2025).

136. Перегінець І. І. Основи організації будівництва будівель з позитивним енергобалансом за критеріями товарних одиниць. *Просторовий розвиток = Spatial Development* : наук. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури ; [голов. ред. О. І. Шкуратов]. Київ : КНУБА, 2025. Вип. 11. С. 489–509. URL: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.11.489-509> (дата звернення: 22.09.2025).

ДОДАТОК А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, у яких опубліковані основні результати дисертації:

1. Зелені будівлі для сталого розвитку житлового будівництва : монографія / Бабенко М. М., Савицький М. В., Шехоркіна С. Є., Кузьменко О. М., Бондаренко О. І., Бордун М. В., Котов М. А., Спиридоненков В. А., Єлісеєва М. О. Дніпро : Удовиченко О. М., 2018. 99 с. URL: https://pgasa.dp.ua/wp-content/uploads/2023/04/Monografyya_Zeleni-budivli.pdf (дата звернення: 11.09.2025).
2. Системи генерації, накопичення та трансформації сонячної енергії для ефективного енергозабезпечення будівель і споруд : колективна монографія / Савицький М., Шехоркіна С., Бордун М., Спиридоненков В. та ін.; за заг. ред. М. Савицького. Дніпро : ФОП Удовиченко О. М., 2021. 356 с. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/handle/123456789/10129> (дата звернення: 12.09.2025).
3. Savytskyi M., Bordun M., Spirydonenkov V. The Sustainable Design of the Greenhouse by Criteria of Heat Losses and Solar Heat Gains. *Proceedings of EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, 16–18 Sept., Lviv, 2020 / ed. Zinoviy Blikharskyu. Springer, Cham, 2020. Vol. 100. P. 393–401. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_48 (дата звернення: 10.09.2025) (Scopus).
4. Савицький О. М., Спиридоненков В. А., Циганкова С. Г. Інноваційна система енергоменеджменту ЖК «ПАНОРАМА» у м. Дніпро. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2024. № 1(19). С. 130–142. URL: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.270224.130.1033> (дата звернення: 10.09.2025).
5. Design of proactive management system for residential buildings by using smart equipment / Savytskyi M., Shekhorkina S., Bordun M., Babenko M., Tsyhankova S., Spirydonenkov V., Savytskyi O., Rabenseifer R. *Eastern-*

European Journal of Enterprise Technologies. 2024. № 8 (128), vol. 2. P. 16–25.
URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.301882> (дата звернення: 10.09.2025) (Scopus).

6. Implementation of smart building management systems for residential complex “PANORAMA” / Savytskyi O., Spyrydonenkov V., Tsyhankova S., Babenko M. *E3S Web of Conferences*. Vol. 534 : International Scientific and Practical Conference Innovations in Construction and Smart Building Technologies for Comfortable, Energy Efficient and Sustainable Lifestyle (ICSBT 2024), 20–21 Feb., Dnipro, Ukraine, 2024 / eds.: J. Awrejcewicz, V. Danishevskyy, B. Markert). Art. no 01020. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453401020> (дата звернення: 10.09.2025) (Scopus).

7. Scalability and Replicability Analysis for an Intelligent Building Management System / Shekhorkina, S., Babenko, M., Spyrydonenkov, V., Shevchenko, T. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2024. P. 483–495. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-67576-8_44 (дата звернення: 10.09.2025) (Scopus).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Agro-building clusters for solution critical challenges of sustainable development / Babenko M., Nikiforova T., Spyrydonenkov V., Savytskyi O., Andrukh S., Schmidt M. *EnviBUILD 2019. Proceedings of the 14th International conference on buildings and environment, 7 nov 2019, Bratislava, Slovakia* / ed. Hraška Jozef. Sciendo, 2020, P. 1–6. URL: https://www.academia.edu/124902242/Agro_Building_Clusters_for_Solution_Critical_Challenges_of_Sustainable_Development (дата звернення: 10.09.2025).

9. Savytskiy M., Babenko M., Spyrydonenkov V. Ukrainian National Eco-certification System of the BUILDINGS. 6-й Міжнародний молодіжний конгрес “Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування”, 23–25 верес. 2020 р., м. Львів : збірник мат-лів / Нац. ун-т «Львів. політех.». Львів : ЗУКЦ, 2020. С. 42–43.

URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2021/jan/23053/youthcongressproceedings2021.pdf> (дата звернення: 11.09.2025).

10. Особливості інженерно-технічних рішень конструкцій тепличних модулів для місячної бази / Бордун М. В., Савицький М. В., Спиридоненков В. А., Куліченко Н. В. *Тези XIX міжнародної науково-практичної конференції "Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектури"*, 19–22 верес. 2021 р., м. Чернігів, Україна / упоряд.: М. Савицький та ін. ; Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури та ін. Дніпро : ПДАБА, 2021. С. 118–120. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/handle/123456789/7310> (дата звернення: 11.09.2025).

11. Savytskyi A. M., Spyrydonenkov V. A., Tsyhankova S. H. Residential building energy management system. *Матеріали V науково-практичної конференції молодих вчених "Інтелектуальна власність та просування енергоефективності в Україні: проблеми та перспективи розвитку в інформаційному суспільстві"*, 12 груд. 2023 р., м. Дніпро / [редкол. В. В. Данішевський та ін. ; уклад.: Г. П. Євсєєва, В. А. Бабенко] ; Придніпр. акад. буд-ва та архітектури, Каф. українознав., документознав. та інформ. діяльності, Енерго-інновац. хаб м. Дніпро. Дніпро : Вахмістров О. Є., 2023. С. 5–7. URL: <https://pgasa.dp.ua/wp-content/uploads/2024/02/zbirnyk-V-npk-Intelektualna-vlasnist-12.12.2023-SAJT-1.pdf> (дата звернення: 11.09.2025).

12. Савицький О. М., Спиридоненков В. А., Циганкова С. Г. Впровадження інтелектуальних систем управління будівлями в ЖК «Панорама». *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології забезпечення параметрів комфорту, енергоефективності і екологічності житлових будівель на основі smartтехнологій»*, м. Дніпро, 20–21 лют. 2024 р. : зб. тез / ред.: Микола Савицький та ін. Дніпро : ПДАБА, 2024. С. 150–153. URL: <https://publish.pdaba.edu.ua/catalog/view/515/776/3548> (дата звернення: 11.09.2025).

13. Савицький О. М., Спиридоненков В. А., Циганкова С. Г. Деякі проблеми впровадження інтелектуальних систем управління будівлями на прикладі ЖК «Панорама». *Матеріали науково-практичної конференції «Просування енергоефективності та підготовка фахівців для відбудови України»*, 13 берез. 2024 р., м. Дніпро : зб. тез. Дніпро, 2024. С. 106–110. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/handle/123456789/12432> (дата звернення: 11.09.2025).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

14. Formation of the structure of a polymer cement plaster solution with high crack resistance and durability / Paruta V., Brynzin Y., Koval O., Yurchenko Y., Spyrydonenkov V. *Innovative lifecycle technologies of housing, industrial and transportation objects* : monograph / eds : S. Nikolaienko etc. ; under the general ed. of M. Savytskyi. Dnipro : SHEE “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture” ; Bratislava : Slovak University of Technology in Bratislava. 2018. P. 54–60. URL: http://srd.pgasa.dp.ua:8080/bitstream/123456789/1380/1/Volchuk_Inn_Tech_2018.pdf (дата звернення: 11.09.2025).

15. Shibko O., Spyrydonenkov V., Sokolova K. Selection of indicators for research into life cycle processes of construction enterprises. *Sustainable housing and human settlement* : monograph / eds. : S. Nikolaienko, P. Kulikov, O. Pshinko etc. ; under the general ed. M. Savytskyi ; SHEE “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Slovak University of Technology in Bratislava. Dnipro ; Bratislava, 2018. P. 229–234. URL: <https://crust.ust.edu.ua/items/f9aebd3c-d02e-47eb-8fbf-096fc0d5be24> (дата звернення: 11.09.2025).

16. Архітектурно-конструктивно-технологічна система 3д-друку будівельних об'єктів : кол. монографія / Савицький М., Айріх Ш., Халаф І. З., Спиридоненков В. А. та ін. ; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. М. Савицького, Дніпро : ФОП Удовиченко О. М., 2019. 233 с. URL: https://pgasa.dp.ua/wp-content/uploads/2023/04/Monografyya_fynal_polnaya.pdf (дата звернення: 11.09.2025).

17. Construction Technologies for the Creation of Living and Industrial Modular Settlement of Lunar Base : monograph / Savytskyi M. Shekhorkina S., Bordun M., Spyrydonenkov V. etc. ; According to the general edition Prof., Doctor of Science (Tech.) M. Savytskyi. Dnipro : Udovychenko O. M., 2021. 91 p. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/handle/123456789/10126> (дата звернення: 11.09.2025).

18. Альбом технічних рішень застосування конструкцій із блоків автоклавного газобетону при проектуванні житлових та громадських будинків в районах сейсмічністю 6, 7 та 8 балів / укл. : Бринзін Є. В., Сиротін О. В., Парута В. А., Немчинов Ю. І., Марєнков М. Г., Петраш С. В., Шеховцов В. І., Шеховцов І. В., Савицький М. В., Нікіфорова Т. Д., Спиридоненков В. А. Харків : Факт, 2021. 180 с. URL: <https://drive.google.com/file/d/1ZmUNroLG9VXD1xA0G5-NyDLqX5D1A25b/view?pli=1> (дата звернення: 12.09.2025).

19. Теплиця з багатошаровим теплоаккумулятором : пат. 137026 Україна : МПК A01G 9/14 (2006.01) / Савицький М. В., Бордун М. В., Бабенко М. М., Спиридоненков В. А. ; заявник та патентовласник ДВНЗ «Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури». № u201902967 ; заявл. 26.03.2019; опубл. 25.09.2019, Бюл. № 18. 3 с. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1375335/> (дата звернення: 12.09.2025).

20. Savytskyi O. M., Spyrydonenkov V. A., Tsyhankova S. H. Proactive smart residential houses in the green building concept. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»)*, 16–17 квіт. 2024 р. Київ : Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури, 2024. С. 300–303. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf (дата звернення: 12.09.2025).

21. Савицький О. М., Спиридоненков В. А., Шинкаренко І. В. Сучасні індустріальні архітектурно-конструктивні технологічні системи малоповерхових будівель на основі елементів НВЕ. *Інтелектуальні конструкції та інноваційні будівельні матеріали: зб. наук. пр. Вип. 5 / Херсон.*

держ. аграрно-економ. ун-т ; ред. кол.: Чеканович М. Г., Желуденко К. В. Кропивницький, 2024. С. 84–87. URL: https://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/2024/06/mater_07_06_24.pdf (дата звернення: 12.09.2025).

22. Регенеративний дизайн повоєнного відновлення і розвитку України : колективна монографія / Савицький М., Бевз М., Радкевич А., Спиридоненков В. та ін. ; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. М. Савицького. Дніпро : ФОП Скрипець О. М., 2024. 124 с. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/handle/123456789/15520> (дата звернення: 12.09.2025).

ДОДАТОК Б.**ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Міжнародна науково-практична конференція «Sustainable housing and human settlement (SHHS 2018)», трав. 2018 р., м. Братислава.
2. II міжнародна наукова конференція «Ecomcomfort and Current Issues of Civil Engineering», 16–18 вересня, 2020 р., м. Львів.
3. 6-й Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», 23–25 верес. 2020 р., м. Львів.
4. XIX міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології в будівництві, цивільній інженерії та архітектурі», 19–22 верес. 2021 р., м. Чернігів, Україна.
5. V науково-практична конференція молодих вчених «Інтелектуальна власність та просування енергоефективності в Україні: проблеми та перспективи розвитку в інформаційному суспільстві», 12 груд. 2023 р., м. Дніпро.
6. Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології забезпечення параметрів комфорту, енергоефективності і екологічності житлових будівель на основі смарттехнологій», 20–21 лют. 2024 р., м. Дніпро.
7. Науково-практична конференція «Просування енергоефективності та підготовка фахівців для відбудови України», 13 берез. 2024 р., м. Дніпро.
8. III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»), 16–17 квіт. 2024 р., м. Київ.
9. V Міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні конструкції та інноваційні будівельні матеріали», 22–23 трав. 2024 р., м. Кропивницький.
10. IV міжнародній науковій конференції «Ecomcomfort and current issues of civil engineering», 11–13 вересня, 2024 р., м. Львів.

ДОДАТОК В. АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

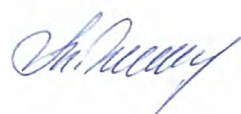
ЗАТВЕРДЖУЮ:


Директор
ННІ «ПДАБА» УДУНТ
д.т.н., професор
Владислав ДАНІШЕВСЬКИЙ
10 жовтня 2025 р.

ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ

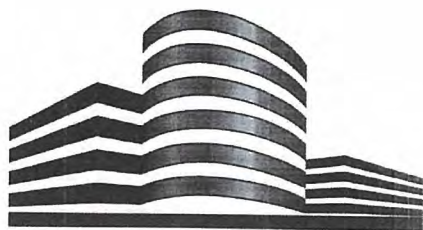
Результати наукових досліджень, що викладені у дисертаційній роботі: «Забезпечення параметрів комфорту і енергоефективності житлових будівель» Спиридоненкова В.А. використовуються в навчальному процесі Навчально-наукового інституту «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій при підготовці здобувачів вищої освіти за напрямком 192 Будівництво та цивільна інженерія спеціальність «Промислове та цивільне будівництво» при викладанні навчальних курсів «Основи енергоефективності в будівництві», «Енергоаудит та енергоменеджмент будівель».

декан будівельного факультету
ННІ «ПДАБА» УДУНТ
д.т.н., професор

 Тетяна НІКІФОРОВА

Завідувач кафедри залізобетонних
та кам'яних конструкцій
ННІ «ПДАБА» УДУНТ
к.т.н., доцент

 Олександр КОНОПЛЯНИК



“СТРОІТЕЛЬ-П”
приватне будівельно-монтажне
підприємство

Юридична адреса: Україна, 49089, м. Дніпро, вул. Будівельників, 45-А тел / факс: (056) 719-91-10, (056) 719-91-09
 Фактична адреса: Україна, 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2-К тел / факс: (056) 719-91-10, (056) 719-91-09

Вих. № 254/БД від 12 Квітня 2024 р.

В.о директора
 ННІ “ Придніпровська державна
 академія будівництва та архітектури”
 д.т.н., професору
 Данишевському В.В.

Довідка
 про впровадження

Дирекція ПБМП “Строитель-П” повідомляє, що результати дисертаційної роботи здобувача кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ДВНЗ “ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури” Спиридоненкова Віталія Анатолійовича на тему “Забезпечення параметрів комфорту і енергоефективності житлових будівель” на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, використані при вдосконаленні енергоефективності будинків ЖК “Панорама” у місті Дніпро.

Робота була виконана в рамках міжнародного проекту PRECEPT - “Децентралізована бездротова проактивна концепція підвищення енергоефективності та якості життя в житлових будинках” у рамках програми досліджень та інновацій Європейського Союзу Horizon 2020.

З повагою,
 Директор ПБМП «Строитель-П»



Савицький О.М.

**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ ФІРМА
«Рівер Таун Девелопмент»**

49000, м. Дніпро, пр. Богдана Хмельницького, 249, код в ЄДРПОУ 40242736

09.04.2024 №01-09/04/2024

В.о директора ННІ ПДАБА
д.т.н., професору
Данішевському В.В.

Довідка
про впровадження

Дирекція ТОВ «Рівер Таун Девелопмент» повідомляє, що результати дисертаційної роботи здобувача кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Спиридоненкова Віталія Анатолійовича на тему «Забезпечення параметрів комфорту і енергоефективності житлових будівель» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, використані при спорудженні наступного об'єкту «Нове будівництво спортивного комплексу по вул. Набережна Перемоги, в районі будинку 9-Б м. Дніпро».

З повагою,
Директор



Шинкаренко І.В.