

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ННІ «ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА
АРХІТЕКТУРИ»



СПИРИДОНЕНКОВ ВІТАЛІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 624.01:728:697.7–049.34

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМФОРТУ І ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Дніпро – 2026

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Савицький Микола Васильович,
Український державний університет
науки і технологій, ННІ «Придніпровська
державна академія будівництва та
архітектури», проректор з науково-
педагогічної роботи, міжнародної
діяльності та інноваційного розвитку,
професор кафедри залізобетонних та
кам'яних конструкцій.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Фаренюк Геннадій Григорович**, Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», директор;

доктор технічних наук, професор **Філоненко Олена Іванівна**, Національний університет «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка», професор кафедри будівництва та цивільної інженерії.

Захист відбудеться «17» квітня 2026 р. о 12³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.084.08 з присудження наукового ступеня доктора наук при Українському державному університеті науки і технологій ННІ ПДАБА за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Архітектора Олега Петрова, 24а, ауд. 202

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці УДУНТ ННІ ПДАБА (м. Дніпро, вул. Архітектора Олега Петрова, 24а) та на сайті <https://pgasa.dp.ua/dissertation/>.

Автореферат розіслано «13» березня 2026 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 08.084.08, д.т.н., проф., акад. АБУ

 Сергій СЛОБОДЯНЮК

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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

Мета і 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 проектуванні житлових малоповерхових будівель за адресою: м. Київ, вул. Кільцева дорога, 12; м. Дніпро, вул. Чаплінська, 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 проектування;

- 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, представлено новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію основних результатів дисертації, кількість публікацій, структуру та обсяг роботи.

У **першому** розділі проведено огляд публікацій за темою дисертації. Відзначається, що концепція сталого розвитку суспільства передбачає створення комфортних умов життєдіяльності людей без завдання шкоди оточуючому середовищу. Це забезпечується, насамперед, впровадженням у будівельний сектор економіки України енергоефективних смарттехнологій. Тому дослідження в цьому напрямі є актуальними і важливими для економіки України.

Питанням дослідження і нормування параметрів комфорту і енергоефективності будівель різноманітного призначення присвячені роботи

українських дослідників: Фаренюка Г. Г., Могилата О. Н., Філоненко О. І., Сергейчука О. В., Савицького М. В., Данішевського В. В., Плоского В. О., Сухого К. М., Саницького М. А., Нікіфорової Т. Д., Шехоркіної С. Є., Фаренюка Є. Г., Бабенко М. М., Бордун М. В., Адегова О. В., Перегінця І. І., Тимофєєва М. В. та інших, а також закордонних авторів, таких як Parsons K., Fanger P., Kreith F., Rabenseifer R., Khatib H., Anagnostopoulos F., Angel J., Artola I., Bennis S., Bouzarovski S., González-Eguino M., Halff A., Jacobson M., Karekezi S., Milne G., Politt H., Telfar-Barnard L., Cornelis M. і інш.

Проведені узагальнення нормативних вимог (ЄС і України) до параметрів мікроклімату житлових будівель, що визначають комфортні умови для людини. Приведені також нормативні вимоги до показників енергоефективності житлових будівель. Наведені дані з недостатньо розроблених питань щодо інженерно-технічних систем і рішень на основі смарттехнологій, направлених на забезпечення параметрів комфорту і енергоефективності житлових будівель. З урахуванням стану досліджень сформульована мета дослідження і задачі дослідження, розроблена блок-схему досліджень (рис. 1).



Рисунок 1 – Блок-схема досліджень

У другому розділі приведені дані теоретичних і натурних досліджень енергетичних потреб і структури витрат енергії малоповерхових житлових будівель.

Для нормального функціонування будинку і забезпечення комфортних умов життєдіяльності людей, які проживають у ньому, необхідно витрачати електричну енергію на виконання різноманітних функцій. Розрахунок електроспоживання

домогосподарства на побутові потреби включає визначення енергії, яку споживають побутові прилади, освітлення та інші електропристрої 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:

$$E_i = P_i t_i, \quad (1)$$

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:

$$E_{tot} = \sum E_i. \quad (2)$$

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. За результатами розрахунку середнє місячне споживання електроенергії середньостатистичним домогосподарством (на побутові потреби) складає 217 кВт·год.

Для визначення фактичного енергоспоживання домогосподарством проводилися дослідження в умовах міста Дніпро. Будинок – двоповерховий з мансардним поверхом. Житлова площа – 133,4 м²; загальна площа – 238,4 м², в тому числі гараж – 24,4 м²; опалювальна площа – 160,2 м². Проєкт будинку був розроблений для використання в умовах м. Дніпро з врахуванням діючих на 1999 рік норм опору теплопередачі огорожувальних конструкцій.

Будівля забезпечена електроенергією, газом, централізованою холодною водою і каналізацією. Опалення і гаряче водопостачання – від двоконтурного газового котла фірми «Vaillant» потужністю 24 кВт. Побутові прилади: газова чотириконтурна

плита з електродуховкою, кухонна витяжка, холодильник і морозильна камера, пральна машина, праска, електрочайник, мультиварка, кухонний комбайн, телевізор, 4 персональних комп'ютери, роутер, освітлювальні лампи в будинку – 35 шт., зовні – 4 шт. Для аналізу енергоспоживання домогосподарством використовувалися фактичні дані зафіксовані лічильниками газу, води, електроенергії. Період дослідження – з 2017 по 2023 рік (7 років). В будинку в різні періоди проживали 5 людей (2 дорослих, 3 дітей) (2017–2021 роки), а також 1 доросла людина (з 2023 року). Як приклад, на рис. 2 приведені дані про кінцеве споживання енергії домогосподарством за 2020 рік.

Середнє річне кінцеве споживання енергії в домогосподарстві за 5 років (2017 – 2021) на одного мешканця склало 4957 кВт·год/(рік·люд.), що на 12 % більше ніж за результати статистичних досліджень Eurostat (4443 кВт·год/(рік·люд.)). Середнє місячне споживання домогосподарством електричної енергії складає 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 складає, в середньому 378 кВт·год/міс. Загальні середні місячні енергозатрати на побутові потреби, підігрів гарячої води та приготування їжі складають 630 кВт·год/міс.

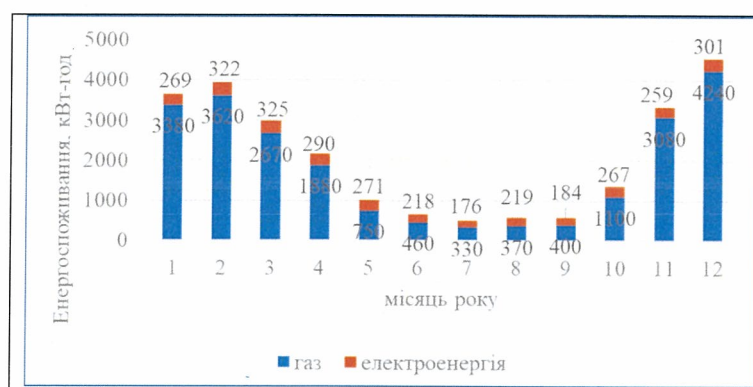


Рисунок 2 – Кінцеве споживання енергії домогосподарством: голубий – опалення, приготування гарячої води і їжі; помаранчевий – електроенергія на побутові потреби (2020 рік)

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

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

У **третьому** розділі досліджується питання забезпечення потреб енергії домогосподарства відновлювальними джерелами енергії. Виконані дослідження ефективності використання електричної енергії від сонячної електростанції для умов середньоевропейської зони (м. Дніпро: 48° 27' північної широти, 34° 59' східної довготи). Визначено відносну ефективність виробітку електроенергії сонячними панелями в залежності від азимуту розташування (схід, південний схід, південь, південний захід, захід) і кута нахилу до горизонту (від 0° до 90°) (рис. 3).

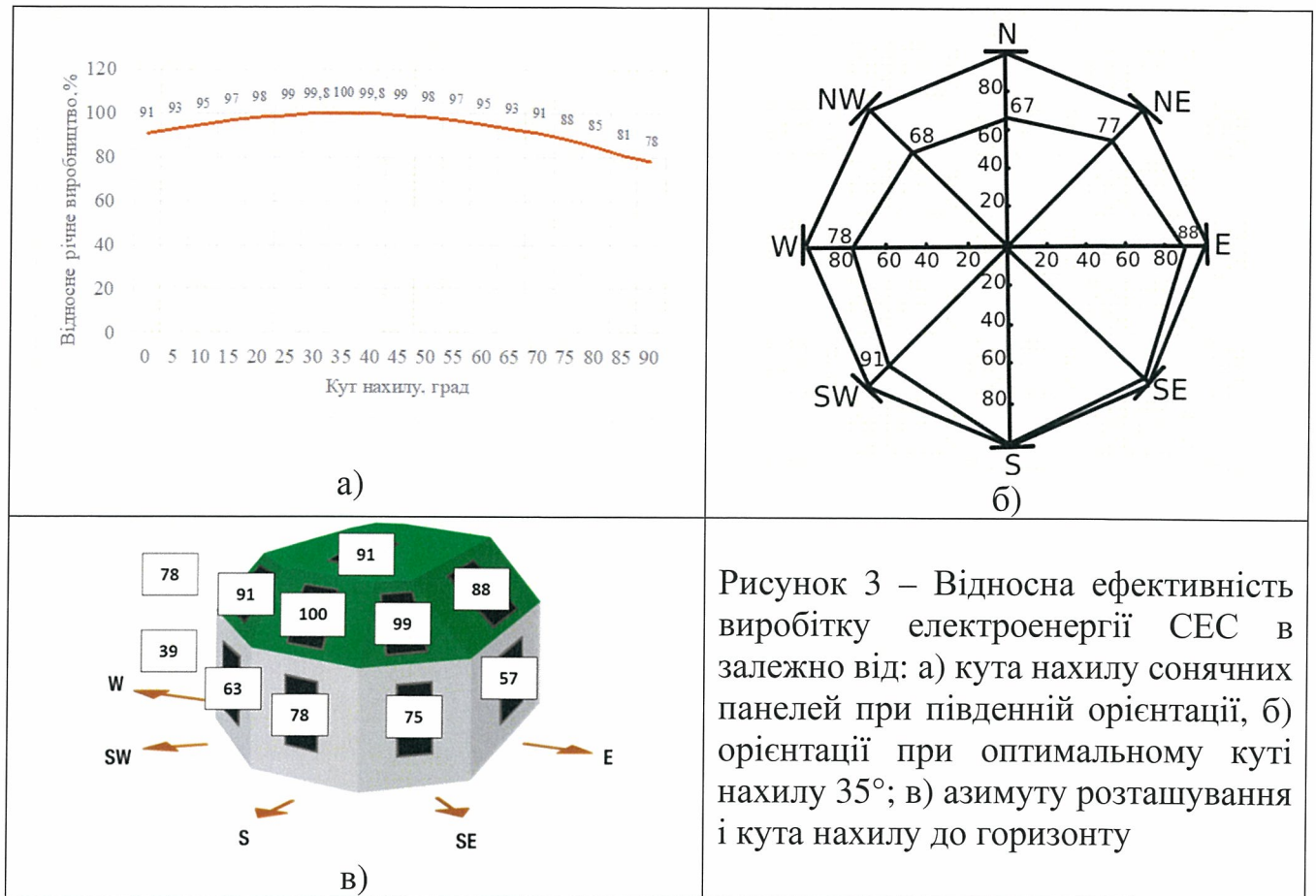


Рисунок 3 – Відносна ефективність виробітку електроенергії СЕС в залежно від: а) кута нахилу сонячних панелей при південній орієнтації, б) орієнтації при оптимальному куті нахилу 35°; в) азимуту розташування і кута нахилу до горизонту

Дані розрахунків показують, що кут нахилу 35° від горизонтальної площини на південь забезпечує найкращі передумови отримання електричної енергії від сонячної електростанції в умовах м. Дніпро. Сонячні панелі з однаковим кутом нахилу 35° знижують ефективність: при орієнтації на схід – на 12 %, при орієнтації на захід – на 22 %. Сонячні колектори, які розміщені вертикально, що орієнтовані на схід або захід, втратять ефективність, відповідно, на 43 % і 61 % порівняно з оптимальним розміщенням. У північних широтах відхилення в ефективності буде менше 10 %, якщо сонячні колектори встановлені в напрямку між південним сходом (азимут – «мінус» 45°) і південним заходом (азимут – «плюс» 45°) з кутом нахилу від 25° до 65° відносно горизонтальної площини.

Визначено раціональну потужність СЕС для середньостатистичного домогосподарства в умовах м. Дніпро із умови покриття енергозатрат на побутові потреби, підігрів гарячої води та приготування їжі, які складають, в середньому, 630 кВт·год/міс. Найбільш раціональною при даних річних витрат енергії 7560 кВт·год є СЕС потужністю 6,3 кВт з річною генерацією 7528 кВт·год (різниця 0,4%). Результати проведених досліджень засвідчують, що в середньоєвропейській зоні України в умовах м. Дніпро є можливість забезпечити автономне енергозабезпечення малоповерхового житлового будинку на побутові потреби, приготування гарячої води та їжі.

На основі розрахунків річних витрат теплової енергії на опалення виконано аналіз енергетичних показників малоповерхової будівлі з визначенням класу її енергоефективності в залежності від приведенного опору теплопередачі

огороджуючих конструкцій. Виявлені залежності часток витрат теплової енергії через огорожувальні конструкції і на нагрівання вентиляційного повітря у загальному теплоспоживанні від приведенного опору теплопередачі огорожень. Встановлено раціональний приведений опір теплопередачі огороджуючих конструкцій після якого його збільшення недоцільне.

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

Виконано розрахунки системи сонячного опалення на основі сонячних колекторів за середньомісячними показниками. При цьому площу поверхні та кількість секцій сонячних колекторів (СК) визначали за даними останнього повного місяця опалювального періоду (березень). Запропоновані залежності для визначення місячного ступеня заміщення палива (доля сонячної енергії в покритті витрат теплової енергії на опалення).

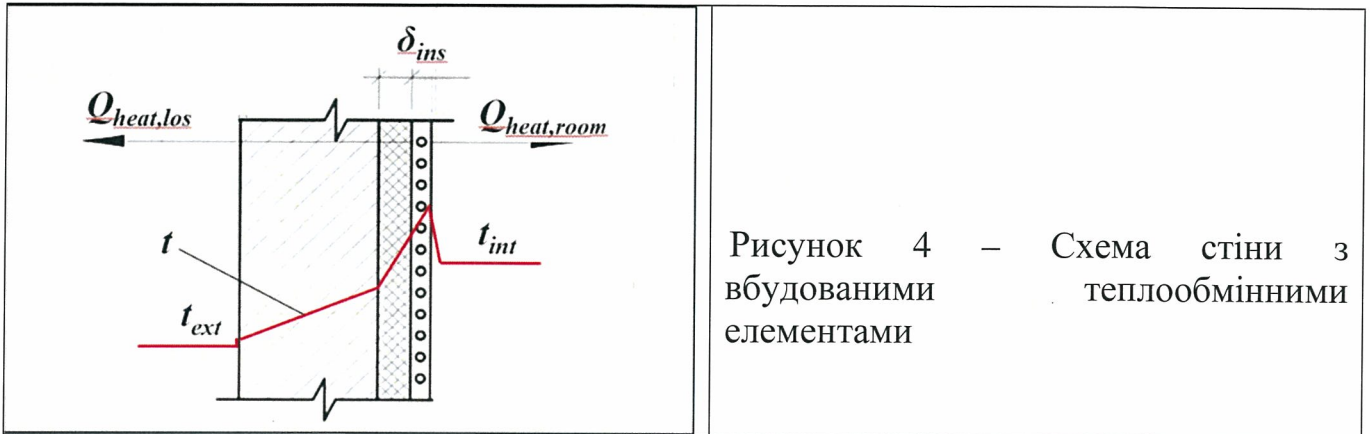
На основі аналізу відомих даних щодо теплової потужності колекторів отримано значення ефективного лінійного опору теплопередачі колектора для різних видів порід. Ці дані добре узгоджуються з результатами раніше виконаного чисельного моделювання процесів нестационарного ґрунтового теплообміну. Виконано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

На основі розрахунку коефіцієнта заміщення палива для систем опалення на основі сонячного колектора (СК) і теплового насосу (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.

У **четвертому** розділі досліджуються питання забезпечення комфортних температурних умов в приміщеннях житлових будівель. Здоров'я і працездатність людини здебільшого залежать від санітарно-гігієнічних умов, зокрема, мікроклімату і параметрів повітряного середовища всередині приміщень житлових будівель. Мікроклімат приміщення – стан внутрішнього середовища приміщення, що чинить вплив на людину, який характеризується показниками температури повітря і огорожувальних конструкцій, вологістю і рухливістю повітря, концентрацією вуглекислого газу. Комфортними вважаються такі умови, за яких людина, перебуваючи в робочій або обслуговуваній зоні приміщення, не відчуває дискомфорту (перегріву або переохолодження). Стан комфорту – це суб'єктивне відчуття, що виникає у людей під впливом комплексного впливу параметрів мікроклімату. З технічного погляду підтримання умов мікроклімату, важливими є параметри, які можливо змінювати системами життєзабезпечення цілий рік. Зокрема, інтерес представляють фактори, пов'язані з тепловідчуттям. Системи

життєзабезпечення будівель дають змогу регулювати температуру, відносну вологість і рухливість внутрішнього повітря, підтримання параметрів мікроклімату необхідних для проживання і високої продуктивності праці на робочих місцях.

Запропоновано метод розрахунку тепловтрат приміщення та визначення товщини утеплювального шару огорожувальної конструкції з теплообмінними елементами (рис. 4).



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 нормованих значень. Другий етап полягає у визначенні тепловтрат і розрахунку товщини шару утеплювального шару стінового огороження, в якому влаштовані теплообмінні елементи.

Наявні дані досліджень про системи опалення засвідчують, що найкращий температурний режим в приміщенні забезпечується при використанні стінових і підлогово - стельових систем. Використання цих систем дозволяє знизити нерівномірність теплового опромінення і тепловіддачу тілом людини при його знаходженні в приміщенні. За рахунок розгалуженої поверхні можливе застосування низькотемпературних теплоносіїв. Поверхневі системи нагріву і охолодження досягають високої теплопродуктивності при економних, тобто низьких температурах опалення – $27^{\circ}\text{C} \div 35^{\circ}\text{C}$ і високих температурах охолодження – $16^{\circ}\text{C} \div 18^{\circ}\text{C}$. Це визначає доцільність використання термогенеруючих установок таких як конденсаційні котли і теплові насоси, сонячні колектори і обумовлює їх високий рівень енергетичної ефективності.

Запропоновані способи конструювання панелі стінового поверхнево-розвиненого обігріву, виходячи з «ідеальної» кривої розподілу температури по висоті приміщення для забезпечення комфортних умов. Перший спосіб відноситься до способу подачі теплоносія в гріючі трубопроводи. При такому способі теплоносій подається знизу і при цьому можливо домогтися більш рівномірного розподілу температури по висоті приміщення. Другий спосіб відноситься до такого ж способу подачі теплоносія, але вводиться регулювання щільності розкладки витків змієвика. При такому способі організації теплоподачі теплоносій також подається знизу більш гарячий, а зверху виходить охолодженим; в нижній частині системи крок між витками менший, 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.

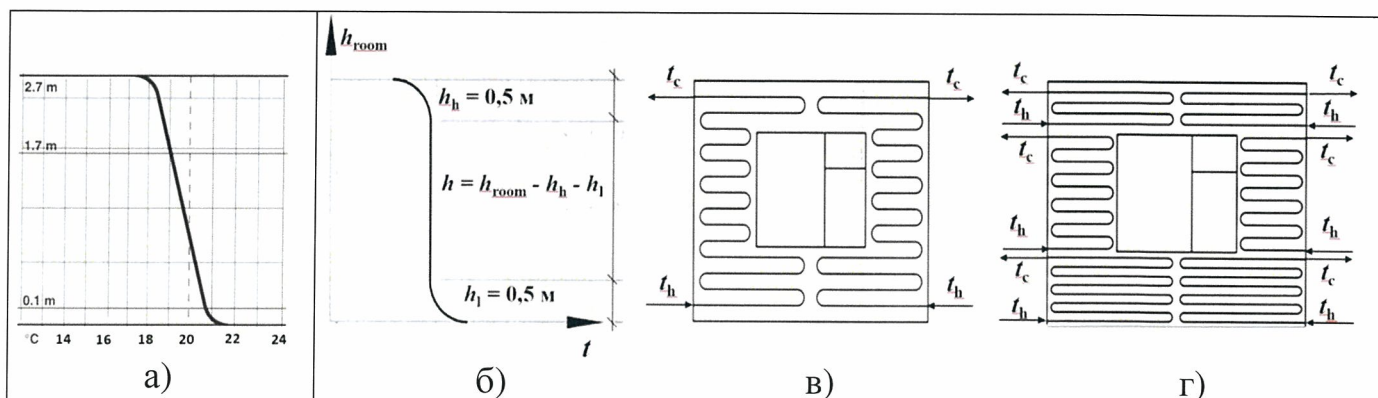


Рисунок 5 – Графік розподілу температури по висоті приміщення : а) «ідеальна» крива, б) наближення до «ідеальної» кривої; в), г) схеми розкладки і подачі теплоносія в грюючі елементи зовнішньої грюючої панелі

Для більшої 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 в мати або трубки, в 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 (рис. 6).

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 (рис. 6).

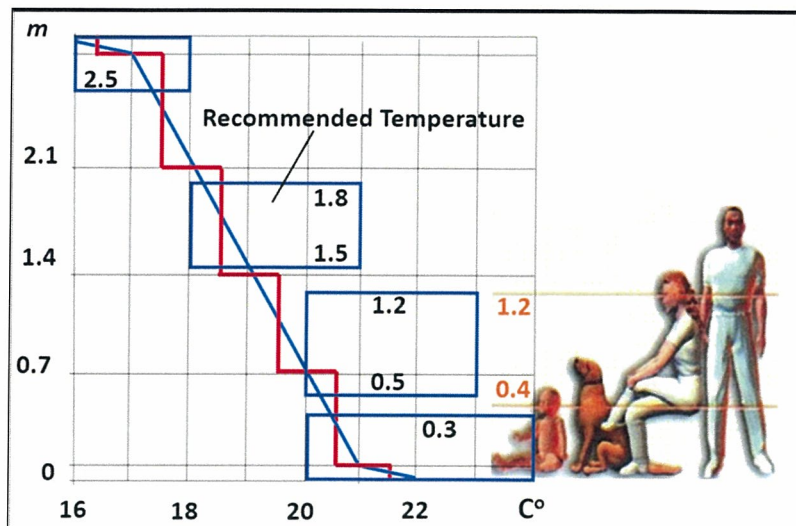


Рисунок 6 – Розподіл температури по висоті приміщення для забезпечення комфортних умов

З використанням програмного продукту Flow Simulation проведено 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.

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

Як приклад, на рис. 7...рис. 10 приведені результати чисельного моделювання параметрів мікроклімату, що визначають комфортні умови, для стінової системи опалення.

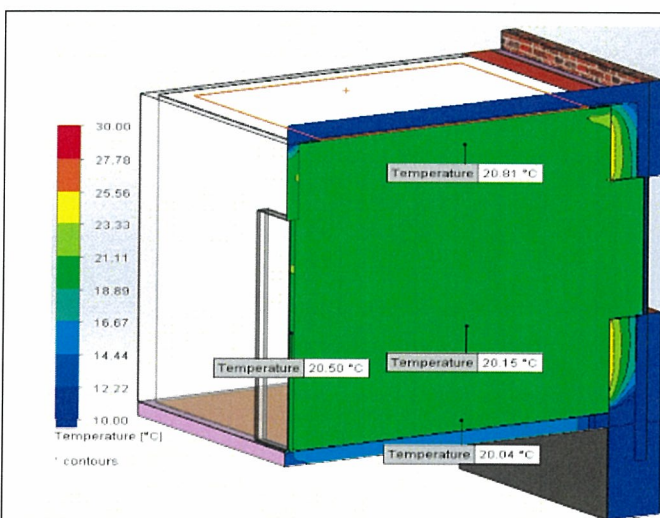


Рисунок 7 – Розподіл температур повітря при стіновій системі опалення

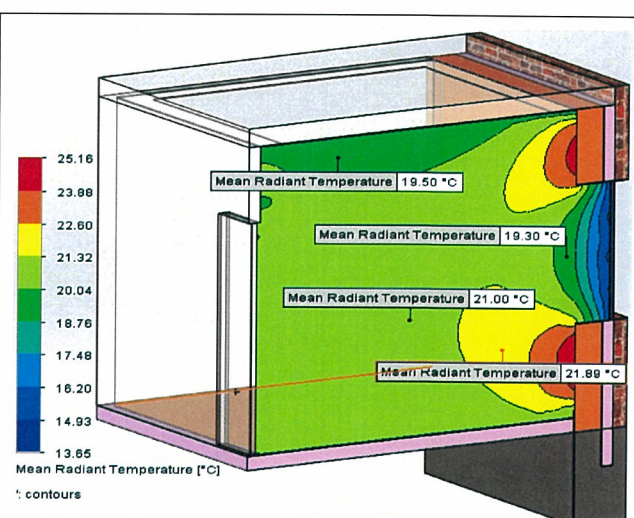


Рисунок 8 – Розподіл радіаційної температури при стіновій системі опалення

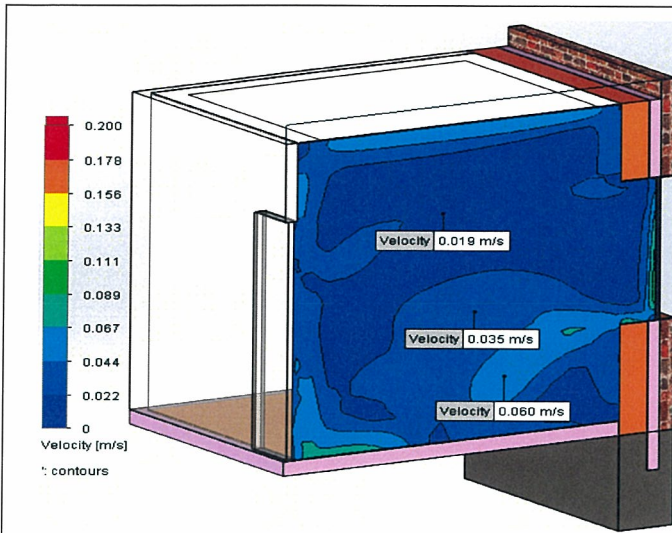


Рисунок 9 – Розподіл швидкості повітря при стіновій системі опалення

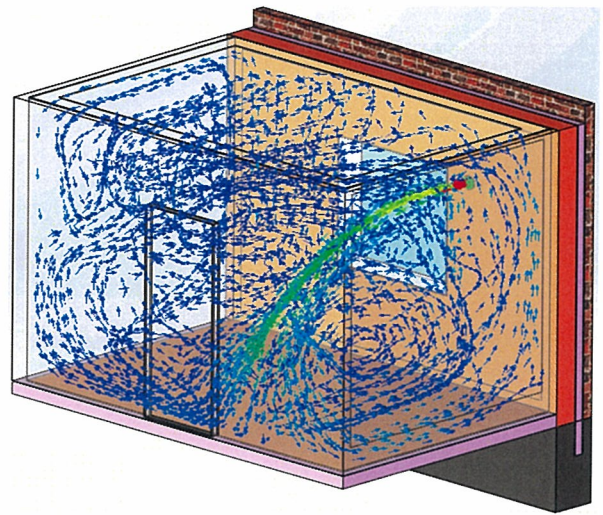


Рисунок 10 – Розподіл потоків повітря при стіновій системі опалення

У п'ятому розділі розробляються і досліджуються смарттехнології забезпечення параметрів комфорту і енергоефективності житлових будівель.

Питання підтримки оптимальних параметрів мікроклімату є одним з найважливіших для комфортних умов проживання. Тип системи опалення, як фактор, що впливає на мікроклімат будівлі, відіграє значну роль.

Досліджувались ключові параметри мікроклімату, такі як температура і вологість у житловому будинку з опаленням твердопаливним котлом і, частково, підлоговою і стіною електричними системами опалення. Вказані параметри мікроклімату досліджувалися в заглибленій будівлі по вул. Горіховій, 13, в с. Єгорине, Царичанського р-ну, Дніпропетровської області. Будинок експериментального будівництва, де досліджуються параметри комфорту, енергоефективності і екологічності. Будинок обладнаний сонячною електростанцією потужністю 6 кВт з акумуляторними батареями, системою очистки 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. Будинок призначений для тимчасового перебування мешканців на відпочинку. Дослідження проводилися у весняний опалювальний період 2024 року протягом 8 діб. Досліджувались такі характеристики мікроклімату: температура повітря в приміщенні, відносна вологість. Для постійного моніторингу цих характеристик використовувалися цифрові датчики Tinytag Ultra 2 TGU-4500. Результати моніторингу температури і вологості наведені на рис. 11.

За результатами інструментального моніторингу параметрів мікроклімату приміщень житлового малоповерхового будинків, а саме: температури і відносної вологості, визначено вплив пічної і, частково, електричної поверхневої (стінної і підлогової) систем опалення на мікроклімат будівлі і факторів, що негативно впливають на мікроклімат. Відносна вологість в приміщенні знаходиться, в основному, в межах допустимих значень 40% – 60 % відносної вологості.

Температура в приміщенні змінюється нерівномірно і залежить від роботи твердопаливної системи опалення. За відсутності мешканців і опалення температура в приміщенні не знижується нижче 12 °С. Це свідчить про високу теплоізоляційну здатність ґрунту. Для досягнення стабільного теплового режиму в приміщенні необхідно підтримувати стабільний режим опалення.

2_03_24

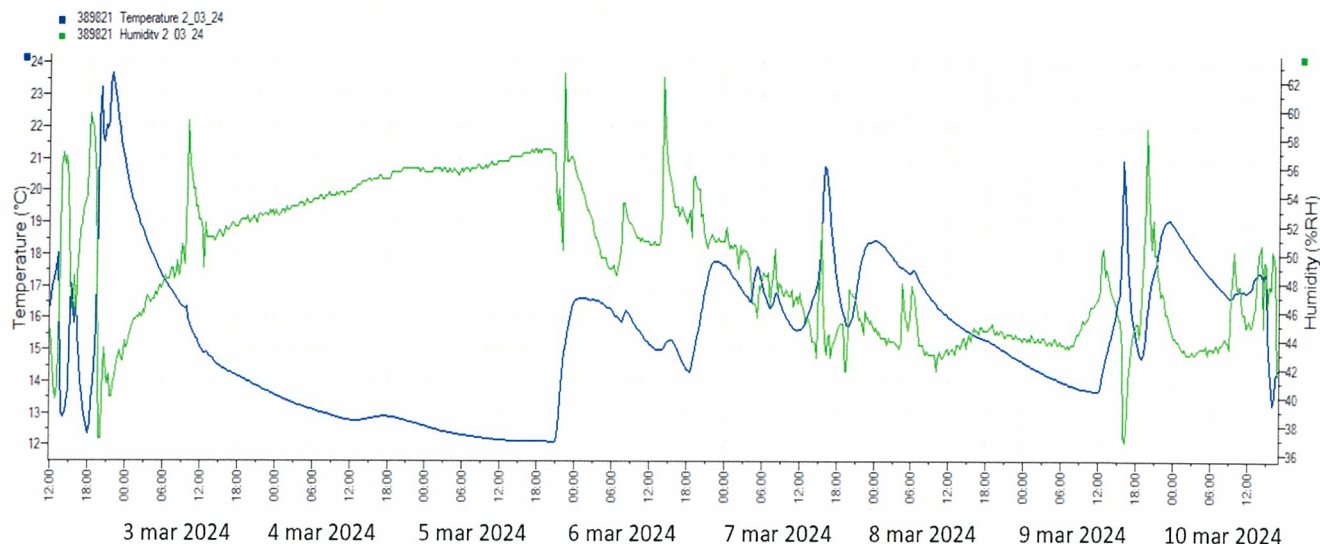


Рисунок 11 – Параметри мікроклімату будинку за результатами моніторингу

Розроблена архітектура мережі Інтернету речей (IoT) для технічного рішення системи проактивного управління житловими будинками на основі розумного обладнання. Дослідження проводились в рамках виконання міжнародного проєкту PRECEPT на пілотному об'єкті – житловому комплексі «Панорама», що розташований в Україні, м. Дніпро (рис. 12, а). В межах кожної квартири, обраної для тестування, встановлене наступне смартобладнання: смартлічильник споживання електроенергії (встановлено в поверховій розподільчій шафі); смартлічильник споживання теплової енергії (встановлено у камері теплотічників); бездротові мультисенсори в спальних кімнатах для вимірювання температури та вологості повітря; бездротовий мультисенсор в кімнаті загального користування (поєднана кухня, вітальня та зона відпочинку) для вимірювання температури, вологості повітря та рівня CO₂; смартрозетки 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 приведена на рис. 12, б).

Принципова схема технічного рішення системи проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання приведена на рис. 13.

Зібрані дані групуються і перетворюються в необхідний формат за допомогою вбудованої в WebNMI мови скриптів Lua, а потім відправляються по протоколу MQTT до системи аналітики (рис. 14).



Рисунок 12 – Пілотний об'єкт: а) житловий комплекс «Панорама», б) схема встановлення смартобладнання в типовій квартирі житлового комплексу

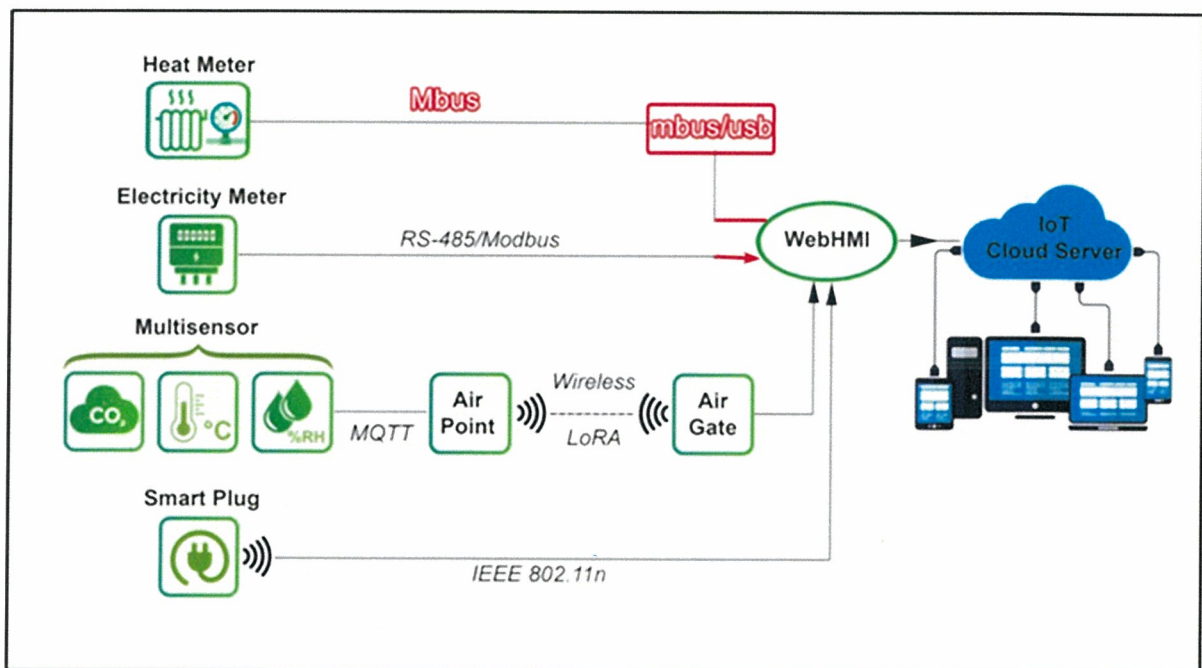


Рисунок 13 – Принципова схема технічного рішення системи проактивного менеджменту житлових будівель на основі смартобладнання

```

1 common.lib
2 mds.lib
3 meross.lib
4 generate mds every hour
5 Poll and read sw1
6 onoff handler sw1
7 Poll and read sw2
8 onoff handler sw2
9 Poll and read sw3
10 onoff handler sw3
11 Clocker
12 Make full json
13 Make full json copy
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41

```

Рисунок 14 – Скрипт збору та обробки даних

Взаємодія користувача з системою проактивного менеджмента відбувається по мережі через веб-інтерфейс WebNMI. Це стосується як користування системою, так і її налаштування. Користувач конфігурує сторінки в режимі «Drag&Drop», натискає «Зберегти зміни» і одразу бачить результат своїх дій. Таким чином весь можливий функціонал розроблений з використанням вбудованого програмного забезпечення за допомогою веб-браузера. Робота в програмному забезпеченні нагадує роботу в персональному кабінеті веб-застосунків. Завдяки гнучкому механізму керування ролями та користувачами, системою водночас можуть користуватись багато користувачів, але кожен буде бачити тільки дозволені частини системи.

Доступ до персонального кабінету здійснюється шляхом входу через браузер на WebNMI (як в локальній мережі, так і віддалено через VPN) за допомогою логіну та паролю, при цьому можна використовувати будь-який електронний пристрій з доступом до інтернет-мережі (комп'ютер, ноутбук, планшет або смартфон). Загальний вигляд стартової сторінки персонального кабінету користувача системи проактивного менеджмента житлових будівель на основі смартобладнання приведені на рис. 15.



Рисунок 15 – Стартова сторінки персонального кабінету користувача

Вона в режимі реального часу забезпечує збір даних про параметри моніторингу, їх обробку, візуалізацію та архівування, а також віддалений доступ користувачів до отриманої інформації через інтерактивний веб-інтерфейс. Результати тестування приведені на рис. 16.

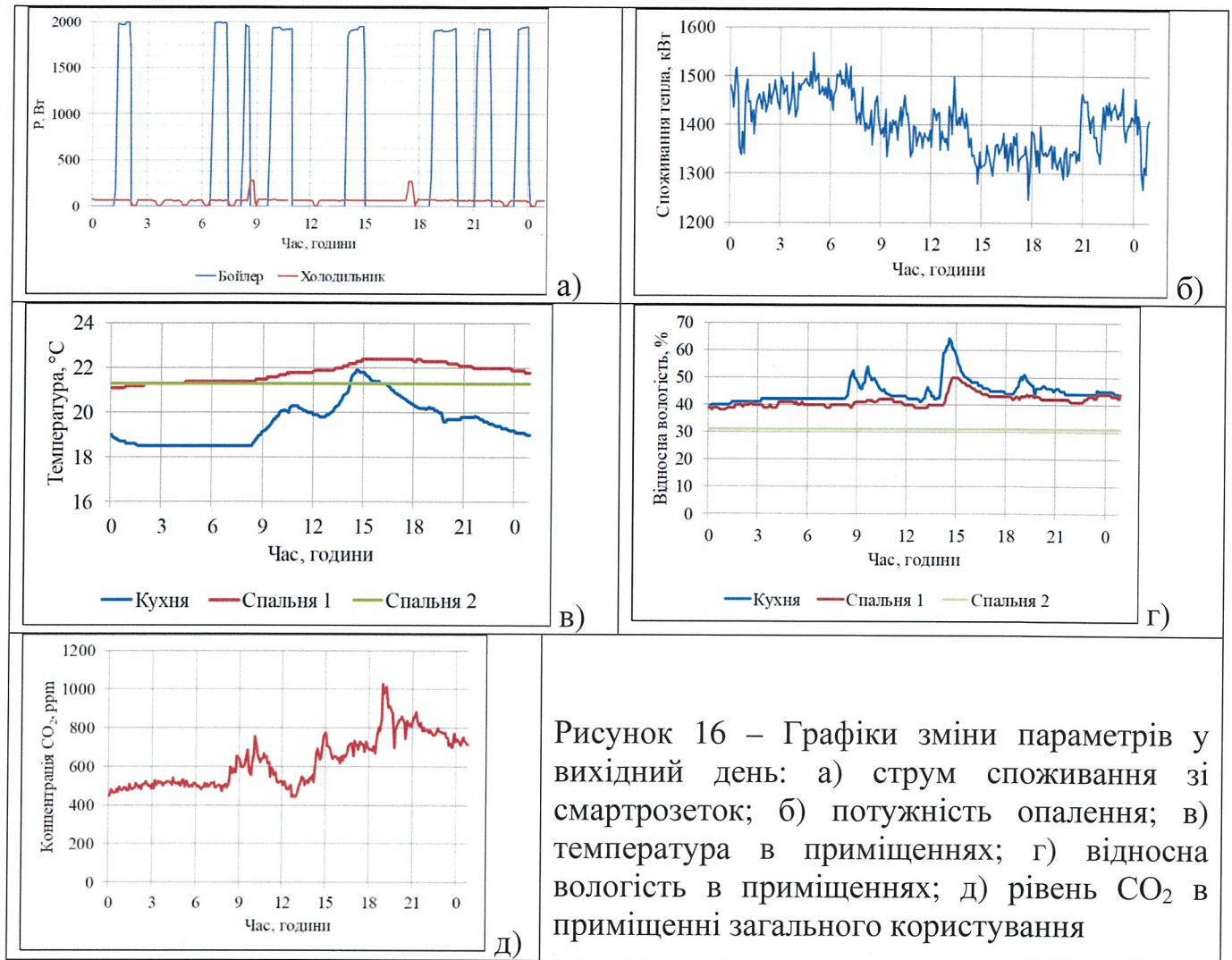


Рисунок 16 – Графіки зміни параметрів у вихідний день: а) струм споживання зі смартрозеток; б) потужність опалення; в) температура в приміщеннях; г) відносна вологість в приміщеннях; д) рівень CO₂ в приміщенні загального користування

Результати тестування запропонованого технічного рішення в умовах пілотного об'єкту 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'єкту. Температура та відносна вологість повітря знаходяться на належному рівні, в межах нормативних вимог. Проте немає необхідності підтримувати температуру в приміщеннях на рівні 22 °C, 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 в 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, в окремі періоди часу досягає 1000 ppm. З огляду на це, в приміщеннях повинні бути передбачені автоматичні системи вентиляції для забезпечення притоку свіжого повітря.

ВИСНОВКИ

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

1. Отримано дані про енергетичні потреби і структуру витрат енергії (річних, середньомісячних, на душу населення) на опалення, гаряче водопостачання, приготування їжі, електропостачання на побутові потреби малоповерховими житловими будівлями 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 25–65°, що забезпечують втрати ефективності менше 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 $R \approx 3,5$ м²·°С/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 із 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 та вертикальним ґрунтовим теплообмінником.

Порівняння сонячних колекторів (СК) і теплового насоса (ТН) 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 огорожувальних 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 по висоті 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 °С нижча за радіаційну, а стельове опалення забезпечує температуру на 3,5 °С вищу порівняно з настінним.

5. Проведено дослідження і отримано дані про зміни параметрів мікроклімату (температури, відносної вологості) в малоповерховій заглибленій будівлі з

комбінованою системою опалення – пічною і 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 °С під час відсутності мешканців є неефективним, тому режими опалення слід коригувати з урахуванням поведінки людей, сонячних тепловиділень і погодних умов. 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 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.
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>.
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. Zinoviyy Blikharskyi. Springer, Cham, 2020. Vol. 100. P. 393–401. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_48 (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>.
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> (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> (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 (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., Andruk S., Schmidt M. *EnviBUILD 2019. Proceedings of the 14th International conference on buildings and environmen*, 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.

9. Savytskyi M., Babenko M., **Spyrydjnenkov 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/youthcongress_proceedings2021.pdf.

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>.

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>.

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 смарттехнологій»*, 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>.

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>.

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_Techn_2018.pdf.

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>.

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.

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>.

18. Альбом технічних рішень застосування конструкцій із блоків автоклавного газобетону при проектуванні житлових та громадських будинків в районах сейсмічності 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>.

19. Теплиця з багатошаровим тепло акумулятором : 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.

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.

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>.

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 розробленню комплексного методу забезпечення параметрів комфорту та енергоефективності житлових будівель із застосуванням сучасних інженерно-технічних систем та смарттехнологій. У роботі сформовано науково обґрунтований підхід до поєднання регулювання мікрокліматичних параметрів із підвищенням енергоефективності будівлі на основі використання відновлюваних джерел енергії та інтелектуальних систем управління.

Одержані експериментальні результати підтвердили справедливості концепції можливості забезпечення параметрів мікроклімату, що задовольняє комфортні умови людини, і енергоефективності будівель за рахунок використання відновлюваних джерел енергії, сучасних інженерно-технічних систем і смарттехнологій проактивного менеджменту житлових будівель. Визначено напрями практичного використання виявлених закономірностей при проєктуванні житлових будівель з високими показниками комфорту і енергоефективності.

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

SUMMARY

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.

This dissertation develops a comprehensive method for ensuring comfortable indoor conditions and improving the energy efficiency of residential buildings using modern engineering systems and smart technologies.

Climate change is one of the most urgent threats facing humanity, and the concept of sustainable development supports efforts to address it. Sustainable development is a way of living in which the well-being of present generations does not compromise the ability of future generations to meet their needs. Accordingly, society must progress in a way that provides comfortable living conditions while minimizing environmental harm associated with energy consumption.

Information technologies drive economic and social development. In construction, smart technologies are increasingly widespread, transforming residential living conditions and enabling comfort, energy efficiency, environmental performance, and safety through rational, data-driven operation.

Therefore, improving building energy efficiency and ensuring comfortable conditions in residential premises through smart technologies is a relevant scientific and practical task. Based on the current state of research, the aim and objectives of the study were formulated.

Research goal: To develop a comprehensive method for ensuring comfort and energy-efficiency parameters in residential buildings using modern engineering systems and smart technologies.

Research objectives:

- to analyze the energy needs of low-rise residential buildings in typical Ukrainian households and determine the structure of energy consumption (annual, average monthly, per capita, and specific consumption),
- to assess the feasibility of meeting household energy demand with renewable energy sources, in particular photovoltaic (PV) systems in central Ukraine, and to substantiate building heating systems using renewables based on solar collectors and a heat pump with a vertical ground heat exchanger,
- to substantiate energy-efficient systems for maintaining indoor microclimate parameters during cold and warm periods using radiant surface heating and cooling, based on the research results,
- to study indoor microclimate parameters in occupied residential buildings using smart technologies, and to develop and implement a proactive building management system based on smart equipment.

The dissertation provides a theoretical generalization and a new solution to a topical scientific and practical problem: the development of scientific and methodological principles and methods for the calculation and design of comfort and energy-efficiency parameters in residential buildings using smart technologies.

The actual energy demand of Ukrainian households and the structure of their energy consumption were determined. Simulation of a 150 m² residential building indicated monthly electricity consumption of 217 kWh, whereas measured data for a five-person household (2017-2023) showed 249 kWh. Annual consumption amounts to 4,957 kWh per capita, which is 12% higher than the EU average. Heating accounts for the largest share of total energy use (70%). The specific annual energy consumption of 155 kWh/m² corresponds to buildings constructed between 1970 and 2002. These data enable the development of realistic consumption profiles and the design of autonomous power-supply systems.

The feasibility of autonomous household energy supply from renewable sources – particularly PV systems – has been substantiated. The optimal panel tilt is 35° facing south; deviations reduce annual generation by 12-61%. The calculated optimal PV system capacity is 6.3 kW (7,528 kWh/year), which fully covers average household electricity needs. The optimal thermal resistance of the building envelope was established at $R \approx 3.5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$. The combination of improved thermal insulation and a PV system provide maximum efficiency for autonomous energy supply.

Heating systems based on solar thermal collectors and a heat pump with a vertical ground heat exchanger were analyzed. Calculations of partial coverage of heating demand using solar collectors were performed, and dependencies of the monthly fuel-substitution factor were obtained. The thermal performance of different types of ground heat exchangers was evaluated, and the effective linear thermal resistance was determined. The heat pump provides more stable and higher fuel substitution, while solar collectors reduce seasonal loads; a hybrid configuration is the most effective solution.

Radiant surface heating and cooling systems were investigated. A methodology for determining thermal insulation requirements for structures with embedded heat exchangers was developed. Wall-mounted, floor-ceiling, and capillary tube systems were shown to provide a uniform indoor microclimate and high energy efficiency when integrated with heat pumps, condensing boilers, and solar collectors. Structural design solutions for panels with vertical zoning were proposed. Modeling results confirmed the advantages of these systems in both heating and cooling modes.

Variations in indoor microclimate parameters (temperature and humidity) were studied in a semi-underground building with a combined heating system. An IoT-based proactive building-control architecture was developed, incorporating CO₂ sensors, temperature and humidity sensors, smart meters, and controllable sockets, all integrated through a unified controller. The system enables real-time data acquisition, processing, storage, and remote access. Testing confirmed stable operation and reduced energy consumption. Maintaining 22°C during occupant absence was found to be inefficient; therefore, heating modes should be adjusted to account for occupant behaviour, solar heat gains, and weather conditions. CO₂ concentrations of 700-1000 ppm indicate the need for automated ventilation. The results confirm the effectiveness of IoT technologies in improving the building energy efficiency and comfort.

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