

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 621.311.4:620.91:621.8.036:725.85

**ПОГОДЖЕНО**  
Директор ННІ енергетики  
автоматики і енергозбереження

проф., д.т.н. /КАПЛУН В.В./  
вчене звання, науковий ступінь                      підпис

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 р.  
число                      місяць                      рік

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри електротехніки,  
електромеханіки та електротехнологій

доц., к.т.н. /ОКУШКО О.В./  
вчене звання, науковий ступінь                      підпис

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 р.  
число                      місяць                      рік

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему: **„ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА РІВНЯ  
ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСУ НУБІП  
УКРАЇНИ”**

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

**Гарант освітньої програми**

\_\_\_\_\_  
д.т.н., професор  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Кривонос В.С.**  
(ПІБ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_  
к.т.н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Антипов Є. О.**  
(ПІБ)

\_\_\_\_\_  
к.т.н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Радько І. П.**  
(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Ткаченко В. Р.**  
(ПІБ)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
електротехніки, електромеханіки та  
електротехнологій

к.т.н., доцент /ОКУШКО О.В./

(підпис)

« \_\_\_\_\_ » 2025 р.

ЗАВДАННЯ  
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
СТУДЕНТУ

Ткаченку Владиславу Руслановичу

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: „Підвищення енергетичної ефективності та рівня теплового комфорту спортивного комплексу НУБІП України”

затверджена наказом ректора НУБІП України від 26.09.2024 № 1665”С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15. 05. 2025

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: Технічна документація.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Загальні характеристика та аналіз нормативної бази
2. Оцінка теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій і виявлення основних місць тепловтрат.
3. Електричний розрахунок.
4. Техніко-економічне обґрунтування впровадження СЕС.
5. Охорона праці.

Дата видачі завдання 26.09.2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Антипов Є. О.

(підпис)

(ПІБ)

\_\_\_\_\_ Радько І. П.

(підпис)

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Ткаченко В. Р.

(підпис)

(ПІБ)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 92 с., 26 рис., 10 табл., 47 джерел.

*Об'єкт дослідження* – будівля та інженерні системи спортивного комплексу НУБіП України.

*Мета дослідження* – підвищення енергетичної ефективності інженерних систем та огорожувальних конструкцій будівлі ЗВО на прикладі спортивного комплексу НУБіП України, а також забезпечення теплового комфорту даного корпусу.

*Предмет дослідження* – Процеси оптимізації енергоспоживання та теплового комфорту в спортивних комплексах ЗВО на основі моделювання роботи сонячних електростанцій.

*Методи дослідження* – аналітичний огляд та математичне моделювання енергетичних систем спортивного комплексу з інженерним розрахунком фотоволтаїчних установок на основі даних Photovoltaic Geographical Information System та оцінкою параметрів теплового комфорту.

У процесі дослідження змодельовано базове споживання енергії, визначено рівень тепловтрат через огорожувальні конструкції та нераціональну роботу інженерних систем. Проведено огляд різних технічних заходів (теплоізоляція, модернізація освітлення, впровадження рекуперації тепла) на зниження енергоспоживання. Підібрано інвертор, обрано необхідні тип та кількість акумуляторів. Змодельовано генерацію пропонованої СЕС 250,3 кВт в типові дні різних місяців.

Для підвищення точності контролю за параметрами мікроклімату та ефективності експлуатації обладнання запропоновано систему моніторингу, що забезпечує візуалізацію та архівацію даних про температуру, вологість, витрати енергії та інші параметри в режимі реального часу і вже працює на кількох об'єктах університету. Це дозволяє оперативно виявляти відхилення, аналізувати ефективність вжитих заходів і приймати обґрунтовані управлінські рішення.

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ТЕПЛОВИЙ КОМФОРТ, СОНЯЧНА  
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ (СЕС), АКУМУЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ,  
ЕНЕРГОМОНІТОРИНГ, PV GIS МОДЕЛЮВАННЯ, СПОРТИВНИЙ  
КОМПЛЕКС, ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ОПТИМІЗАЦІЯ  
ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

## ABSTRACT

Master's thesis: 92 pages, 26 figures, 10 tables, 47 sources.

The object of research is the building and engineering systems of the sports complex of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine.

The aim of the study is to improve the energy efficiency of engineering systems and building envelopes of higher education institutions using the example of the sports complex of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, as well as to ensure the thermal comfort of this building.

The subject of the study is the processes of optimising energy consumption and thermal comfort in sports complexes of higher education institutions based on modelling the operation of solar power plants.

Research methods: analytical review and mathematical modelling of the energy systems of the sports complex with engineering calculations of photovoltaic installations based on data from the Photovoltaic Geographical Information System and assessment of thermal comfort parameters.

During the research, the basic energy consumption was modelled, and the level of heat loss through enclosing structures and inefficient operation of engineering systems was determined. An overview of various technical measures (thermal insulation, lighting modernisation, heat recovery implementation) to reduce energy consumption was conducted. An inverter was selected, and the necessary type and number of batteries were chosen. The generation of the proposed 250.3 kW SES on typical days of different months was modelled.

To improve the accuracy of microclimate parameter control and equipment operating efficiency, a monitoring system was proposed that provides real-time visualisation and archiving of data on temperature, humidity, energy consumption and other parameters, and is already in operation at several university facilities. This allows for the prompt detection of deviations, analysis of the effectiveness of measures taken, and informed management decisions.

ENERGY EFFICIENCY, THERMAL COMFORT, SOLAR POWER PLANT (SPP), ENERGY STORAGE, ENERGY MONITORING, PV GIS MODELLING, SPORTS COMPLEX, RENEWABLE ENERGY SOURCES, ENERGY CONSUMPTION OPTIMISATION

**ЗМІСТ**

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА АНАЛІЗ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ	11
1.1 Аналіз структури споживання енергії і потенціал енергозбереження в будівлях спортивного призначення	11
1.2 Аналіз наявної нормативної документації щодо енергетичної ефективності будівель	14
1.3 Аналіз кращих практик впровадження систем енергозабезпечення з використанням альтернативних джерел та акумуляторів енергії	19
1.4 Аналіз інших енергоефективних заходів, які можливо впровадити	22
1.5 Аналіз нормативної бази щодо систем енергетичного менеджменту	25
1.6 Оцінка можливості впровадження системи енергетичного менеджменту	27
1.7. Висновки до розділу 1	36
РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ І ВИЯВЛЕННЯ ОСНОВНИХ МІСЦЬ ТЕПЛОВТРАТ	37
2.1 Загальна характеристика будівлі та історія її будівництва	37
2.2 Аналіз рівня теплового захисту будівлі	39
2.3. Висновки до розділу 2	49
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК	51
3.1. Проектування розташування панелей та моделювання роботи пропонованої СЕС	51
3.2. Підбір акумуляторів	57
3.3. Підбір інвертора	59
3.4. Висновки до розділу 3	69

РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СЕС	71
4.1. Економічні показники впровадження проєкту	71
Висновки до розділу 4	76
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ	78
5.1. Нормативно-правова база	78
5.2 Організація охорони праці на об'єкті	79
5.3. Характеристика робіт та заходи безпеки	80
5.4. Забезпечення засобами індивідуального захисту	82
5.5 Санітарно-побутове забезпечення працівників	83
5.6. Пожежна безпека	83
5.7 Охорона навколишнього середовища	84
Висновки до розділу 5	84
ВИСНОВКИ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89

## ВСТУП

Актуальність теми магістерської кваліфікаційної роботи обумовлена сучасними тенденціями до зниження енергоспоживання та зменшення негативного впливу будівель на довкілля, що відповідає світовим і національним пріоритетам у сфері енергозбереження. У зв'язку з цим особливої уваги набувають питання оптимізації енергоспоживання у громадських будівлях, зокрема спортивних спорудах, які характеризуються значними витратами енергії на опалення, вентиляцію, освітлення та гаряче водопостачання. Спортивний комплекс Національного університету біоресурсів і природокористування України є важливим об'єктом соціальної інфраструктури, що забезпечує фізичну активність студентів і співробітників, а також проведення масових заходів. У зв'язку з цим підвищення його енергоефективності є не лише економічно доцільним, а й соціально значущим.

Енергозбереження в корпусах закладів вищої освіти є дуже актуальною проблемою в сучасних умовах. Навіть більше, питання енергозбереження в навчальних корпусах є навіть важливішими за аналогічні питання щодо гуртожитків, оскільки тарифи на теплову енергію, яка постачається до навчальних корпусів, завжди були вищими за тарифи на тепло для гуртожитків (тарифи для гуртожитків ті ж самі, за якими відпускається тепло для житлових будинків, які і досі значно менші за тарифи для інших споживачів). Відповідно, енергоефективні заходи матимуть більший економічний ефект саме в корпусах ЗВО. Будівлі, де розташовані адміністративні та навчальні приміщення ЗВО, відносяться до громадських будівель. Схожою є і проблема зі спортивним корпусами, які знаходяться в підпорядкуванні ЗВО.

Витрати енергії, необхідні для створення комфортних умов для проживання, навчання та розваг у будівлях університетських кампусів, є надзвичайно великими. Це високе енергоспоживання у приміщеннях спричинене використанням різних джерел енергії, що, звичайно, призводить до виснаження природних ресурсів. Оскільки ці ресурси розглядаються як

обмежені, а їх використання пов'язане з негативним впливом на біосферу, очевидно, що споживання енергії в будівлях кампусу і антропогенний вплив на довкілля тісно пов'язані. Крім того, використання традиційних джерел енергії, таких як викопне паливо, призводить до значних викидів шкідливих речовин, які забруднюють повітря, включаючи токсичні речовини та парникові гази. Таким чином, використання спалювання палива для генерації енергії неухильно спричиняє забруднення навколишнього середовища.

*Об'єкт дослідження* – будівля та інженерні системи спортивного комплексу НУБіП України.

*Мета дослідження* – підвищення енергетичної ефективності інженерних систем та огорожувальних конструкцій будівлі ЗВО на прикладі спортивного комплексу НУБіП України, а також забезпечення теплового комфорту даного корпусу.

*Предмет дослідження* – Процеси оптимізації енергоспоживання та теплового комфорту в спортивних комплексах ЗВО на основі моделювання роботи сонячних електростанцій.

*Методи дослідження* – аналітичний огляд та математичне моделювання енергетичних систем спортивного комплексу з інженерним розрахунком фотоволтаїчних установок на основі даних Photovoltaic Geographical Information System та оцінкою параметрів теплового комфорту.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА АНАЛІЗ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ

#### **1.1 Аналіз структури споживання енергії і потенціал енергозбереження в будівлях спортивного призначення**

У сучасному світі питання енергоефективності та забезпечення комфортних умов перебування в приміщеннях набувають особливого значення. Зростання вартості енергоресурсів, намагання сповільнити зміни клімату і підвищення середньої температури на Землі, необхідність впровадження стандартів сталого розвитку, потреба відмови від енергоресурсів країни-агресора, як в Україні, так і в країнах ЄС змушують усі галузі діяльності шукати шляхи для оптимізації використання енергії та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Крім того, надмірне використання викопних енергоресурсів призводить до швидкого виснаження їх запасів. Економія енергії, особливо в місцях густої заселеності, може значно зменшити викиди забруднюючих речовин і допомогти зберегти навколишнє середовище.

Корпуси закладів вищої освіти, в тому числі і спортивні комплекси (як і будь-які інші громадські, освітні будівлі тощо), споживають значні обсяги енергії для забезпечення оптимальних умов перебування здобувачів вищої освіти, учасників змагань тощо. Будівлі спортивного призначення, зокрема університетські спортивні комплекси, мають характерні особливості, які суттєво впливають на їхнє енергоспоживання. У порівнянні з типовими адміністративними або житловими будівлями, спортивні об'єкти часто мають великі об'єми приміщень (наприклад, спортивні зали з високими стелями), що ускладнює підтримання стабільного мікроклімату і підвищує втрати тепла через огорожувальні конструкції. Проте багато таких комплексів залишаються енергетично неефективними, що призводить до великих втрат ресурсів та збільшення витрат на енергопостачання. Наразі, дослідження говорять, що

приблизно 40% від світового споживання енергії та третя частина викидів парникових газів припадає на будівлі.[1]

Питання енергетичної ефективності спортивних комплексів досліджувалося, як вітчизняними авторами, так і закордонними. До прикладу, автори статті [2] розглядали шляхи підвищення енергетичної ефективності спортивного комплексу одного з українських університетів. Основна увага приділена: встановленню індивідуального теплового пункту (ІТП) для ефективнішого управління тепловими потоками; термомодернізації будівлі через утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій різними теплоізоляційними матеріалами (піноскло, мінеральна вата, пінополістирол); оцінці економічної та екологічної ефективності запропонованих заходів. Автори виявили після впровадження ІТП зменшення споживання енергії до 15% та скорочення викидів CO<sub>2</sub>, підвищення класу енергетичної ефективності будівлі з «D» до «C». Що цікаво, термін встановлення ІТП в авторів виявився лише 3–4 місяці.[2].

Схожі дослідження проводили і закордонні англомовні автори. Зокрема, автори статті порахували, що лише спортивні об'єкти Туреччини протягом року спричинили викиди понад 685 тисяч тонн CO<sub>2</sub>. [3] Автори статті про Олімпійський спортивний центр в Афінах виявили проблему з підвищеного навантаження через багатофункціональність своїх приміщень, що зумовлює значне енергоспоживання, зокрема великі обсяги енергії для забезпечення опалення, охолодження та освітлення, що значно підвищує експлуатаційні витрати та негативно впливає на довкілля. Інтеграція відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі та теплові насоси, дозволяє істотно зменшити залежність від традиційного палива. У рамках проєкту SAVE в Греції було доведено, що досягнення нульового енергоспоживання у спортивних спорудах цілком реальне завдяки модернізації енергетичних систем, зокрема інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі та теплові насоси, що дозволяє істотно зменшити залежність від традиційного палива. [4]

Додаткове впровадження когенераційних систем та акумулювальних батарей сприяє енергетичній автономії та зменшенню залежності від зовнішніх мереж. [5]

Сучасні підходи до управління енергоспоживанням передбачають використання "розумних" технологій для оптимізації споживання та зменшення втрат. Зокрема, повторне використання енергії з каналізаційних стоків дозволяє суттєво знизити загальні потреби у споживанні енергії. [6] Автоматизація процесів та інтелектуальна синхронізація енергетичних систем також значно підвищують ефективність і сталість функціонування спортивних об'єктів [6].

Досліджувався і вплив розташування шару теплоізоляції в зовнішніх огорожувальних конструкціях на вологісний режим і опір теплопередачі стін за допомогою чисельного моделювання та експериментів. Встановлено, що зовнішнє утеплення пінополістиролом значно зменшує тепловтрати та забезпечує відповідність вимогам ДБН щодо температурного режиму. Автори доводять, що внутрішнє утеплення спричиняє конденсацію вологи в товщі конструкції, тому є неприйнятним, а результати дослідження є важливим критерієм при виборі конструктивного рішення на етапі проектування. [7]

Попри очевидні переваги впровадження енергоефективних рішень, деякі фахівці зазначають, що високі початкові інвестиції та тривалі терміни окупності можуть стримувати власників спортивних об'єктів від відповідних кроків. Водночас, довгострокові переваги — включаючи зниження експлуатаційних витрат та зменшення впливу на довкілля — зазвичай переважають над цими початковими труднощами.

Мало того, спортивні комплекси зазвичай мають змішані режими експлуатації — періоди інтенсивного використання змінюються тривалими інтервалами зниженого навантаження. Така нерівномірність роботи призводить до неефективного використання енергоресурсів, особливо у випадку, коли інженерні системи не мають автоматизованого управління або не адаптовані до фактичного графіка використання будівлі.

## **1.2 Аналіз наявної нормативної документації щодо енергетичної ефективності будівель**

Якщо поглянути на досвід країн ЄС, то Європейським Парламентом та Радою Європейського Союзу, ще 2002 року було ухвалено першу Директиву про енергетичне функціонування будівель (англ. Directive on the energy performance of buildings, EPBD) і всі країни-члени мали її імплементувати, як національний закон до 2006 року. Станом на сьогодні Директиву було двічі оновлено – у 2010 було випущено перероблений варіант, а 2018 року внесено зміни до існуючої редакції 2010 року. Відповідно до Директиви, обсяг енергії, призначений для різних потреб у звичайній експлуатації будівлі, повинен враховувати ряд факторів, зокрема теплоізоляцію, технічні параметри обладнання, спеціально розроблені з урахуванням кліматичних умов та орієнтації щодо сонячної радіації, вплив сусідніх споруд, власне виробництво енергії та інші чинники, включаючи внутрішній мікроклімат. У цей час проводяться значні дослідження у сфері впровадження енергоефективних заходів з метою зменшення енергоспоживання як існуючих, так і новозбудованих будівель. Хоча наступний перегляд був запланований аж на 2027 рік, у 2021 році Європейська комісія запропонувала переглянути директиву з метою запровадження більш суворих мінімальних стандартів енергоефективності для нових та існуючих будівель, покращення доступності сертифікатів енергоефективності за допомогою загальнодоступних онлайн-баз даних та запровадження фінансових механізмів для стимулювання банків для надання кредитів на енергоефективну реконструкцію. [8]

В Україні, закон, який ідеологічно подібний до згаданої вище директиви був проголосований Верховною Радою України і підписаний Президентом в 2017 році: «Ідеологія Закону «Про енергоефективність будівель» визначається європейською директивою №30, що дозволяє перейти до системного аналізу сертифікації будівель і визначення практичних рекомендацій – що потрібно робити для зменшення споживання».[9]

Відповідно до Закону для нових та існуючих будівель передбачається сертифікація енергетичної ефективності з метою визначення фактичних її показників, проведення оцінки відповідності зазначених показників встановленим мінімальним вимогам до енергоефективності, розробка рекомендацій щодо підвищення рівня енергоефективності, які враховують місцеві кліматичні умови технічно і економічно обґрунтовані.

Також визначено:

особливості здійснення обстеження систем опалення та кондиціонування будівель;

основні енергоефективні заходи в будівлях і механізми їх фінансування;

загальні принципи професійної діяльності в сфері енергетичної ефективності будівель;

нормативно-правові засади здійснення незалежного моніторингу сертифікатів енергетичної ефективності будівель та звітів про результати обстеження систем опалення та кондиціонування будівель;

особливості розробки національних планів щодо збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівня споживання енергії;

відповідальність за порушення законодавства в сфері забезпечення енергоефективності будівель.

В цьому ж нормативному документі знаходимо визначення поняття «енергетична ефективність будівлі»: «властивість будівлі, що характеризується кількістю енергії, необхідної для створення належних умов проживання та/або життєдіяльності людей у такій будівлі».[10]

Міністерству освіти і науки України підпорядковуються навчальні заклади та установи державної та приватної форм власності. До навчальних закладів відносяться: дошкільні заклади, загальноосвітні школи, заклади вищої освіти I—II рівнів акредитації (коледжі, технікуми, заклади професійно-технічної освіти), заклади вищої освіти III—IV рівнів акредитації (університети, інститути, академії).

Наразі складно оцінити точну кількість працюючих закладів освіти в зв'язку з постійними укрупненнями, об'єднаннями наявних, створенням опорних закладів освіти тощо. Крім того, оцінювання ускладнює також те, що невідома кількість закладів освіти як середньої, так і вищої було знищено чи пошкоджено російськими військовими під час повномасштабного вторгнення з 2022 року, також невідомий стан закладів освіти на тимчасово окупованих територіях. Станом на початок 2019/2020 н.р названо такі цифри: 281 університетів, академій, інститутів, та 338 коледжів, технікумів, училищ. При цьому порівняно з 2014/2015 н.р кількість університетів, інститутів, академій зросла на 1,4% а технікумів, коледжів та училищ навпаки стало менше на 12,7%. Всі без виключення заклади освіти підпорядковуються МОН в питаннях розробки навчальних програм, методичних планів і т.д. Фінансове ж підпорядкування МОН мають більшість закладів вищої освіти всіх рівнів акредитації, тоді як дошкільні та загальноосвітні заклади знаходяться в підпорядкуванні місцевих чи районних адміністрацій, які і фінансують діяльність освітніх закладів. [11]

В 2011 році автори статті [12] провели аналіз споруд в підпорядкуванні МОН, який показав, що приблизно 50 % збудовано до 1970 р., 20 % — 1970—1980 рр., 25 % — 1980—1996 рр., 5 % здано в експлуатацію після 2007 р.

Тобто наявний фонд будівель ЗВО формувався у радянські роки, коли основним завданням вважалося заощадження початкових витрат, а експлуатаційні енергетичні витрати в розрахунках кінцевої ефективності вкладалися як вторинні показники. Зміна технологічних умов опалення будівель, спричинена обмеженням фінансування, здорожчанням енергоресурсів, призводить до виникнення дискомфортних умов експлуатування будинків – низьких температури повітря, підвищеної вологості. У зв'язку з такими обставинами та ураховуючи особливості роботи закладів вищої освіти, де передбачено постійне перебування людей у приміщеннях, при прагненні до збереження енергетичних ресурсів важливо врахувати дві умови одночасно: енергоефективність та комфортні умови для життєдіяльності.[13]

Більшість житлових і громадських будівель, включаючи основну кількість будівель ЗВО, були побудовані до прийняття сучасних стандартів щодо енергоефективності. На момент їх будівництва енерговитратні нормативи не були настільки ж суворими, оскільки будівельні матеріали були дорогими, а викопні вуглеводневі палива були дешевими та доступними. Однак у сучасному контексті ці будівлі потребують настільки великої кількості енергії для забезпечення комфортних умов перебування в приміщеннях, що це створює значне навантаження на паливно-енергетичний сектор, сприяє посиленню вимог щодо підвищення опорів теплопередачі огорожувальних конструкцій та рівня енергетичної ефективності будівель у цілому.

При новому будівництві допускається застосовувати огорожувальні конструкції із зниженими значеннями приведенного опору теплопередачі до рівня 80 % від  $R_{qmin}$ . (табл. 1.1) [1].

Таблиця 1.1

**Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі  
огорожувальної конструкції житлових та громадських будівель  $R_{qmin}$**

Ч.ч.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{qmin}$ , $m^2 \cdot K/Wt$ , для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стінові огорожувальні конструкції	4,00	3,50
2	Суміщені покриття, що межують із зовнішнім повітрям	7,00	6,00
3	Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів), мансард, горищні перекриття неопалюваних горищ	6,00	5,50
4	Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалами	5,00	4,00
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,90	0,70
6	Зенітні ліхтарі	0,80	0,70
7	Зовнішні двері	0,70	0,60

Розрахункові параметри мікроклімату в приміщеннях ЗВО повинні встановлюватися згідно з даними табл. 1.2.

Таблиця 1.2

**Температура й повітрообмін в приміщеннях ЗВО**

Приміщення	Температура, °С	Кратність обміну повітря	
		витяг	приплив
Аудиторії до 150 місць, навчальні кімнати, лабораторії	18	20*	20*
Аудиторії до 150 місць і більше	18	Розрахунок	
Актові зали взимку	16	40*	40*
Лабораторії з виділенням шкідливих газів і пари	20	Розрахунок	
Бібліотека	18	0,5	–
Адміністративні приміщення	18	1,0	–
Вестибюль	16	–	2,0
Вбиральні	16	50*	–

Цифри які позначені \*, означають повітрообмін, який наводиться у м<sup>3</sup> за год. на одиницю споживання: для аудиторій і актової зали – на одну людину; для туалету – на один унітаз.

Аналіз таблиці 1.2 показує, що на відміну від гуртожитків, адміністративні та навчальні будівлі закладів вищої освіти потребують припливних систем вентиляції з нагрівачами для зовнішнього повітря. Підігріте повітря подається в приміщення, щоб забезпечити комфортні умови мікроклімату, необхідні для роботи, навчання та інших видів діяльності. Це означає, що до загальних витрат теплоти на опалення та гаряче водопостачання додаються витрати на нагрівання припливного повітря. Крім того, для видалення витяжного повітря у необхідному обсязі, відповідно до нормативів, доводиться використовувати механічні вентиляційні системи з примусовою циркуляцією повітря. Це, своєю чергою, призводить до додаткових витрат електроенергії через роботу вентиляторів у припливно-витяжних установках.

Для спортивних приміщень встановлено свої, дещо відмінні норми температури, вологості та кратності повітрообміну. Наприклад, оптимальні умови для більшості спортивних зал передбачають температуру рівно 18° для холодного періоду при вологості 30–45%, а у теплий сезон – не менше 26° при вологості, що не перевищує 60%. Крім того, забезпечується мінімальний

повітрообмін – не менше 80 м<sup>3</sup> зовнішнього повітря на годину для кожного спортсмена і не менше 20 м<sup>3</sup>/год для одного глядача.

### **1.3 Аналіз кращих практик впровадження систем енергозабезпечення з використанням альтернативних джерел та акумуляторів енергії**

Одним з ефективних способів зменшення витрат на електроенергію і, відповідно, викидів вуглекислого газу є використання відновлювальних джерел енергії в громадських та житлових будівлях. Перехід до альтернативних джерел енергії дозволяє не лише зменшити залежність від традиційних енергоресурсів, але й суттєво скоротити експлуатаційні витрати об'єкта в довгостроковій перспективі.

**Встановлення геліоколекторів.** Геліоколектори для гарячого водопостачання (ГВП) представляють собою системи, які перетворюють енергію сонячного випромінювання в теплову енергію для нагріву води.

Сонячні колектори (плоскі або вакуумні) поглинають сонячну енергію та передають її теплоносію, яким може бути вода або незамерзаюча рідина, що циркулює в системі. Нагрітий теплоносій передає тепло воді в накопичувальному баку-акумуляторі, призначеному для зберігання нагрітої води. Циркуляційний насос забезпечує рух теплоносія між колекторами та баком, а автоматика керування оптимізує роботу всієї системи. Для періодів недостатньої сонячної активності система включає додаткове джерело нагріву для забезпечення стабільної подачі гарячої води.

Якісно спроектована система геліоколекторів здатна забезпечити до 50-70% річної потреби в гарячій воді в кліматичних умовах України. Важливою перевагою є можливість інтеграції з існуючими системами опалення та ГВП будівлі. Період окупності такої системи становить від 4 до 7 років залежно від інтенсивності використання та тарифів на енергоносії. Екологічність та відсутність викидів CO<sub>2</sub> при експлуатації є вагомим аргументом на користь

цього рішення. Термін служби якісних систем складає 20-25 років, що забезпечує тривалий ефект від інвестицій.

При правильному розрахунку системи геліоколектори можуть забезпечувати часткове покриття потреб в опаленні в міжсезоння (весна, осінь). Найбільш ефективним є комбінування сонячних колекторів з системою теплої підлоги, оскільки вона працює в низькотемпературному режимі, оптимальному для використання сонячної енергії. Така комбінація дозволяє ефективно використовувати сонячне тепло для підтримання комфортної температури в приміщеннях, зменшуючи навантаження на основні джерела опалення.

**Встановлення теплових насосів.** Теплові насоси — це обладнання, що переносить теплову енергію від джерела з нижчою температурою до приймача з вищою температурою, витрачаючи при цьому електроенергію.

Теплові насоси типу повітря-вода використовують тепло атмосферного повітря і є найбільш універсальними та простими у встановленні. Системи ґрунт-вода отримують тепло від землі через горизонтальні колектори або вертикальні зонди, забезпечуючи стабільну роботу навіть при низьких температурах повітря. Насоси типу вода-вода використовують тепло ґрунтових, підземних або поверхневих вод і зазвичай мають найвищу ефективність, але вимагають наявності відповідного водного джерела. Системи повітря-повітря застосовуються переважно для вентиляції та кондиціонування, забезпечуючи ефективний повітрообмін та регулювання температури в приміщеннях.

Сучасні теплові насоси характеризуються високим коефіцієнтом продуктивності (COP) від 3,5 до 5,5, що означає, що на кожен кіловат спожитої електроенергії виробляється 3,5-5,5 кВт теплової енергії. Перевагою є можливість роботи в режимі охолодження в літній період, що дозволяє використовувати одну систему для опалення та кондиціонування. Повністю автоматизований режим роботи мінімізує необхідність обслуговування. Період окупності теплових насосів складає від 5 до 10 років залежно від типу системи та тарифів на енергоносії. За рахунок високої ефективності досягається

економія до 70% експлуатаційних витрат порівняно з електрокотлами та до 50% порівняно з газовими котлами.

Встановлення теплового насоса вимагає детального проектування та розрахунків теплових навантажень об'єкта для правильного вибору потужності системи. Необхідно забезпечити відповідну площу для розміщення зовнішніх модулів або ґрунтових колекторів. Для максимальної ефективності рекомендується модернізація системи опалення будівлі з встановленням низькотемпературних радіаторів або теплої підлоги. У багатьох випадках доцільно використовувати гібридні системи з іншими джерелами тепла, які можуть працювати в піковому режимі під час найнижчих температур.

**Встановлення сонячних електростанцій (СЕС).** Сонячні електростанції перетворюють енергію сонця безпосередньо в електричну енергію за допомогою фотоелектричних модулів.

Мережеві (on-grid) системи працюють паралельно з електромережею та дозволяють продавати надлишок виробленої енергії за "зеленим" тарифом, що значно покращує економіку проекту. Автономні (off-grid) системи оснащуються акумуляторними батареями для зберігання енергії та забезпечують незалежне електропостачання, що особливо актуально для віддалених об'єктів без доступу до централізованої електромережі. Гібридні системи поєднують переваги мережевих та автономних станцій, дозволяючи як продавати енергію в мережу, так і накопичувати її для власного споживання у вечірні та нічні години.

Основою СЕС є фотоелектричні панелі різних типів: монокристалічні, які мають найвищий коефіцієнт корисної дії, полікристалічні з дещо нижчою ефективністю, але меншою вартістю, та тонкоплівкові, що можуть ефективно працювати при розсіяному світлі. Інвертори перетворюють постійний струм, що виробляється панелями, в змінний, придатний для живлення побутових приладів. Для систем з акумуляторами використовуються контролери заряду, що оптимізують процес заряджання та розряджання, подовжуючи термін служби батарей. Акумуляторні батареї в автономних та гібридних системах запасують енергію для використання в періоди відсутності або недостатньої інтенсивності

сонячного випромінювання. Система моніторингу генерації дозволяє контролювати ефективність роботи електростанції та вчасно виявляти можливі несправності.

Вартість установки потужністю 10 кВт становить від 7000 до 10000 євро залежно від якості компонентів та складності монтажу. Період окупності складає 5-8 років при використанні "зеленого" тарифу для продажу надлишкової енергії або 8-12 років при використанні виключно для власного споживання. Термін служби фотоелектричних модулів становить 25-30 років з поступовою деградацією до 80% від початкової потужності до кінця терміну експлуатації. Важливою перевагою є зниження залежності від зростання тарифів на електроенергію, що забезпечує стабільність економіки об'єкта в довгостроковій перспективі.

Для досягнення максимальної ефективності необхідна правильна орієнтація панелей на південь з оптимальним кутом нахилу, який для України становить 30-35 градусів. Важливо забезпечити розміщення без затінення іншими об'єктами, оскільки навіть часткове затінення може суттєво знизити продуктивність всієї системи. Для великих установок можливе використання систем відстеження сонця, які повертають панелі вслід за рухом сонця протягом дня, підвищуючи ефективність генерації на 25-40%. Комбінування з системами акумулювання енергії дозволяє згладжувати добові коливання споживання та забезпечує більш стабільне електропостачання об'єкта.

#### **1.4 Аналіз інших енергоефективних заходів, які можливо впровадити**

Утеплення огорожувальних конструкцій будівлі. Зовнішнє утеплення стін сучасними теплоізоляційними матеріалами є одним з найбільш ефективних заходів для зниження тепловтрат будівлі. Використання мінеральної вати, пінополістиролу або інших ефективних утеплювачів з відповідною товщиною дозволяє значно знизити коефіцієнт теплопередачі стін. Заміна існуючих вікон на енергоефективні з низьким коефіцієнтом теплопередачі та багатокамерним

склопакетом суттєво зменшує тепловтрати через світлопрозорі конструкції, які часто є найбільш проблемними з точки зору енергоефективності. Утеплення даху або горищного перекриття, а також підвалу або цокольного поверху дозволяє мінімізувати втрати тепла через верхню та нижню частини будівлі. Важливим аспектом є усунення містків холоду в конструкціях будівлі, які можуть бути причиною локального промерзання та утворення конденсату на внутрішніх поверхнях.

Модернізація системи опалення. Встановлення погодозалежної автоматики дозволяє регулювати температуру теплоносія в системі опалення залежно від зовнішньої температури повітря, що забезпечує оптимальний режим роботи системи та зниження енергоспоживання. Балансування системи опалення забезпечує рівномірний розподіл теплоносія по всіх контурах та радіаторах, усуваючи проблему перегріву одних приміщень та недостатнього опалення інших. Встановлення термостатичних регуляторів на радіатори дає можливість підтримувати комфортну температуру в кожному окремому приміщенні відповідно до його призначення та режиму використання. Заміна застарілих циркуляційних насосів на енергоефективні з частотним регулюванням дозволяє оптимізувати гідравлічний режим роботи системи опалення та зменшити споживання електроенергії на циркуляцію теплоносія.

Модернізація системи вентиляції. Встановлення припливно-витяжної системи вентиляції з рекуперацією тепла дозволяє забезпечити якісний повітрообмін при мінімальних тепловтратах, оскільки тепло відпрацьованого повітря використовується для підігріву свіжого припливного повітря. Використання датчиків CO<sub>2</sub> для керування інтенсивністю вентиляції забезпечує оптимальний повітрообмін залежно від фактичної кількості людей у приміщеннях та їх активності. Автоматизація роботи системи вентиляції відповідно до режиму використання приміщень дозволяє зменшити енергоспоживання в періоди відсутності людей та забезпечити комфортний мікроклімат під час активного використання приміщень.

Впровадження енергоефективного освітлення. Заміна існуючих джерел світла на LED-освітлення дозволяє знизити споживання електроенергії на освітлення в 5-7 разів порівняно з лампами розжарювання та в 2-3 рази порівняно з люмінесцентними лампами при збереженні або навіть покращенні рівня освітленості. Встановлення датчиків руху та присутності забезпечує автоматичне вмикання та вимикання освітлення в залежності від наявності людей у приміщенні, що особливо ефективно для коридорів, сходових клітин, санвузлів та інших приміщень з періодичним використанням. Автоматичне регулювання інтенсивності освітлення залежно від рівня природного освітлення дозволяє підтримувати оптимальний рівень освітленості робочих місць при мінімальному споживанні електроенергії. Зонування системи освітлення відповідно до функціональних потреб приміщень забезпечує можливість вмикати лише необхідні для роботи світильники, уникаючи надмірного освітлення невикористовуваних зон.

Запровадження системи енергетичного менеджменту. Встановлення систем моніторингу енергоспоживання з можливістю детального аналізу споживання енергоресурсів по окремих споживачах та часових періодах дозволяє вчасно виявляти відхилення від оптимальних режимів роботи та впроваджувати коригувальні заходи. Автоматизація управління інженерними системами будівлі забезпечує оптимальну взаємодію різних систем та їх роботу в найбільш економічному режимі. Навчання персоналу ефективному використанню енергоресурсів є важливим елементом системи енергетичного менеджменту, оскільки навіть найдосконаліше обладнання не забезпечить очікуваної економії без правильної експлуатації. Розробка та впровадження програми енергетичного менеджменту з чіткими цілями, планом заходів та системою моніторингу результатів дозволяє забезпечити постійне підвищення енергоефективності об'єкта та зниження експлуатаційних витрат.

### **1.5 Аналіз нормативної бази щодо систем енергетичного менеджменту**

Згадуваний раніше Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» серед іншого визначає також вимоги до впровадження систем енергетичного менеджменту в будівлях комунальної та державної форми власності. [10]

Основним документом, що регулює всі аспекти організації систем енергоменеджменту, є ДСТУ ISO 50001:2020 "Системи енергетичного менеджменту", який є українським відповідником міжнародного стандарту ISO 50001:2018. Він встановлює вимоги до системи енергетичного менеджменту (СЕНМ), яка допомагає організаціям ефективніше використовувати енергію та знижувати енергоспоживання.

Метою стандарту є:

- Підвищення енергетичної ефективності підприємств та організацій.
- Зменшення витрат на енергоресурси.
- Скорочення викидів парникових газів.
- Створення системного підходу до енергоменеджменту.

Цей стандарт спрямований на допомогу організаціям у всьому світі впроваджувати системи та процеси для підвищення енергетичної ефективності, зменшення витрат на енергію та зниження впливу на навколишнє середовище

Основою ДСТУ ISO 50001:2020 є принцип циклу PDCA (Plan-Do-Check-Act), який передбачає планування, виконання, перевірку та коригувальні дії для постійного вдосконалення енергетичного менеджменту (рис. 1.1):

1. **Plan (Планування)** – Аналіз енергоспоживання, встановлення цілей та енергетичної політики.
2. **Do (Виконання)** – Реалізація заходів з підвищення енергоефективності.
3. **Check (Перевірка)** – Контроль і моніторинг ефективності заходів.
4. **Act (Дія)** – Вдосконалення системи та коригувальні дії.[16]

Організація має розробити енергетичну політику, яка включає зобов'язання щодо підвищення енергоефективності, провести аналіз поточного

енергетичного профілю, визначити ключові показники ефективності та ідентифікувати найбільш значущі споживачі енергії.



Рис. 1.1. Цикл «PDCA» (Планування-Виконання-Перевірка-Дія)

Для досягнення енергетичних цілей організація впроваджує систему моніторингу, проводить енергетичні аудити та коригує свою діяльність відповідно до отриманих даних. Це дозволяє не лише скоротити витрати на енергію, а й відповідати законодавчим вимогам, підвищити конкурентоспроможність, оптимізувати виробничі процеси та зменшити негативний вплив на довкілля.

ДСТУ ISO 50001:2020 легко інтегрується з іншими стандартами, такими як ISO 9001 (менеджмент якості), ISO 14001 (екологічний менеджмент) та ISO 45001 (охорона праці). Організації, які прагнуть підтвердити свою відповідність вимогам стандарту, можуть пройти сертифікацію через аудит акредитованими органами.

## **1.6 Оцінка можливості впровадження системи енергетичного менеджменту**

Впровадження системи енергомоніторингу на об'єкті «Спортивний комплекс НУБіП України» в умовах нового будівництва передбачає комплексний підхід, що охоплює проектування, встановлення обладнання, налаштування системи та подальший аналіз даних.

На першому етапі проводиться аналіз проєктної документації та визначаються основні групи споживачів енергії: освітлення, вентиляція, опалення, кондиціонування, спортивне обладнання тощо. Вибираються ключові показники ефективності (EnPIs), які стануть основою для моніторингу.

Другий етап включає розробку технічного завдання на систему енергомоніторингу. Визначаються типи необхідного обладнання: лічильники електроенергії, теплотічильники, датчики споживання води, системи збору та передачі даних. Важливо передбачити інтеграцію всіх пристроїв у єдину систему для оперативного контролю та управління.

На третьому етапі закладається інфраструктура для енергомоніторингу. На етапі будівництва прокладаються кабельні траси, встановлюються вузли обліку та підготовлюється місце для серверного обладнання або хмарного зберігання даних.

Четвертий етап передбачає монтаж та підключення приладів обліку, програмування контролерів та інтеграцію системи в загальну інфраструктуру будівлі. Всі пристрої мають бути протестовані на предмет коректності вимірювань і передачі даних.

П'ятий етап включає налаштування програмного забезпечення та запуск автоматизованої системи енергомоніторингу. Визначаються параметри для аналітики, встановлюються порогові значення, за якими система буде сигналізувати про відхилення.

На шостому етапі проводиться тестова експлуатація та навчання персоналу, відповідального за контроль енергоспоживання. Розробляються регламенти реагування на перевищення нормативів та стратегії зниження споживання енергії.

Останнім етапом є постійний аналіз зібраних даних, оптимізація процесів та внесення змін до політики енергоменеджменту спортивного комплексу. Регулярні аудити дозволяють оцінювати ефективність системи та впроваджувати нові заходи для підвищення енергоефективності.

Варто зауважити, що в Університеті вже накопичено значний досвід із встановлення, налаштування та введення в експлуатацію систем енергетичного моніторингу в різних навчальних корпусах. Зокрема, у 8-му навчальному корпусі була впроваджена сучасна автоматизована система збору даних, яка включає встановлення спеціалізованого обладнання – щита збору даних (рис. 1.2).

Ця система дозволяє в реальному часі здійснювати моніторинг та аналіз споживання електроенергії, теплової енергії та води, автоматично зчитуючи показники з відповідних лічильників. Окрім цього, вона забезпечує контроль температури теплоносія як на подачі, так і у зворотному трубопроводі, що дає змогу більш точно оцінювати ефективність роботи системи опалення. Зібрані дані можуть використовуватися для оперативного виявлення перевитрат ресурсів, оптимізації енергоспоживання та прийняття управлінських рішень щодо підвищення енергоефективності корпусу ЗВО.



Рис. 1.2. Обладнання для збору та передачі даних щодо споживання енергоресурсів, встановлене у 8-му корпусі

В існуючій системі енергомоніторингу можна автоматично будувати деякі графіки, так, до прикладу нижче на рис. 1.3 представлено графік споживання теплової енергії 8 корпусом університету в період з 17 до 23 березня 2025 року.

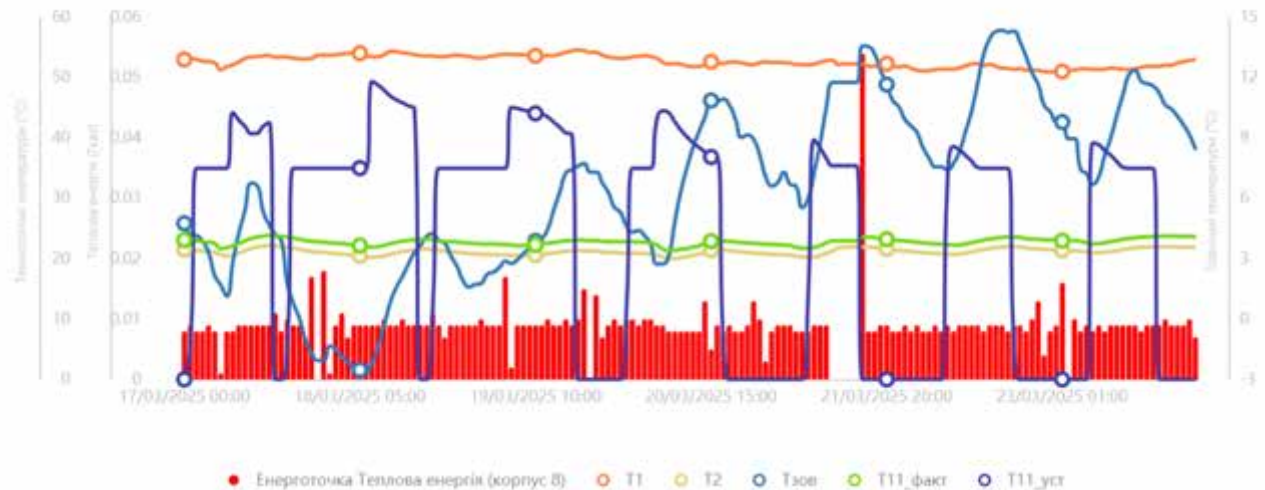


Рис. 1.3. Графік споживання теплової енергії і графіки температур( зовнішня, подавальний та зворотний трубопроводи)

Ми можемо побачити періоди, коли в корпусі перебуває мінімум людей і відповідно контролер налаштовано таким чином, щоб в цей час споживання тепла було мінімальним.

Ми можемо побачити періоди, коли в корпусі перебуває мінімум людей, і відповідно контролер налаштовано таким чином, щоб у цей час споживання тепла було мінімальним. Це свідчить про ефективну роботу системи управління тепlopостачанням, яка адаптується до змін умов. Такий підхід дозволяє не лише зменшувати витрати, але й оптимізувати енергоефективність будівлі, знижуючи вплив на навколишнє середовище.

Крім того, проаналізувавши графік споживання гарячої води в одному з гуртожитків (рис. 1.4), можна помітити, що найбільше використання гарячої води припадає на вечірні години, коли мешканці гуртожитків повертаються

додому і починають активно використовувати гарячу воду. Це спостереження свідчить про закономірність споживання, пов'язану з ритмом життя мешканців. Така інформація може бути корисною для оптимізації роботи системи гарячого водопостачання, забезпечуючи необхідний обсяг води саме в періоди найбільшого споживання та підвищуючи ефективність енергоспоживання.

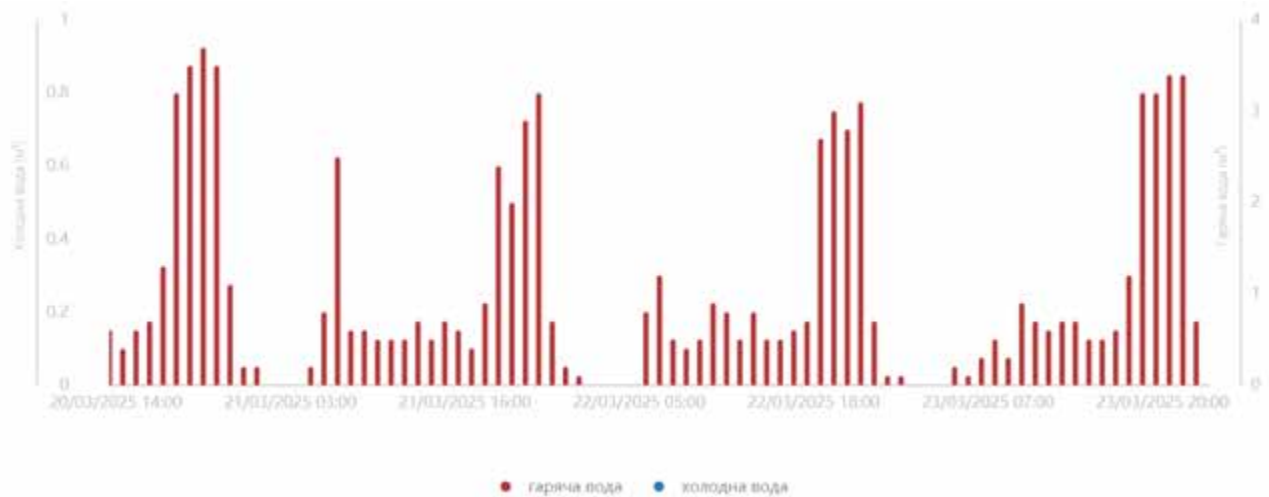


Рис. 1.4. Графік споживання холодної води в гуртожитку 11

Схожий до попереднього висновок можна зробити і у випадку зі споживанням електричної енергії в гуртожитку (рис. 1.5). Аналіз графіка показує, що споживання значно зростає у вечірні години, зокрема після 18:00. У цей час мешканці повертаються додому, що призводить до активного використання електричних приладів для приготування їжі, роботи з комп'ютерами, перегляду телебачення та інших побутових потреб. Крім того, освітлення приміщень також сприяє збільшенню витрат електроенергії в цей період.

Особливо помітні пікові значення споживання у вечірні години, що вказує на стабільний патерн використання електричної енергії мешканцями гуртожитків. Інформація з графіка може бути корисною для оптимізації системи енергопостачання.

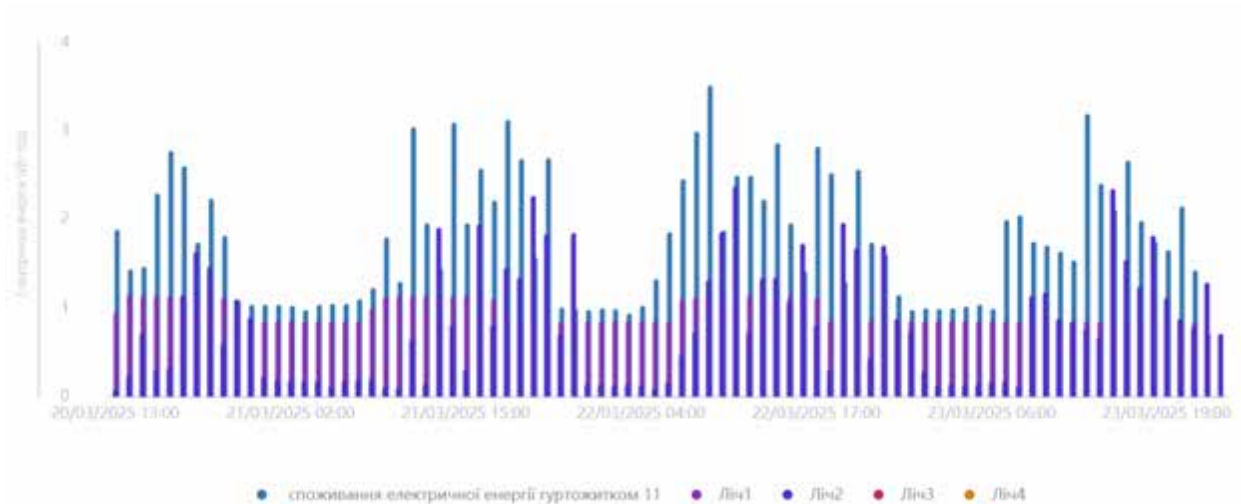


Рис. 1.5. Графік споживання електричної енергії в гуртожитку 11

### 1.7 Аналіз споживання енергоресурсів будівлею

Оскільки спортивний корпус, що розглядається в даному проєкті, перебуває на стадії будівництва, отримати фактичні дані щодо його енергоспоживання на даний момент неможливо. Відповідно, для оцінки потенційного рівня споживання енергоресурсів було прийнято рішення застосувати метод моделювання на основі аналогії з уже існуючою будівлею подібного функціонального призначення.

З метою оцінки очікуваного рівня енергоспоживання проєктованого спортивного комплексу було виконано аналітичне моделювання на основі даних про експлуатацію існуючої будівлі аналогічного функціонального призначення, що вже діє на території закладу вищої освіти.

Існуючий спортивний корпус, хоча й має менші розміри, слугує цінним джерелом інформації щодо характеру та обсягів споживання енергоресурсів у реальних умовах експлуатації. Було проаналізовано фактичні показники річного споживання електричної та теплової енергії цієї будівлі. Після цього на основі співвідношення загальних площ об'єкта, що проєктується, та існуючої будівлі, було виконано масштабування відповідних показників з урахуванням можливої зміни режимів роботи, кількості користувачів та об'ємно-планувальних рішень.

У результаті моделювання було отримано прогностичні значення річного енергоспоживання для нового спортивного комплексу (таблиця 1.3, рисунки 1.6-1.9). Такий підхід дозволяє не лише оцінити потенційне енергетичне навантаження на внутрішні системи та зовнішні інженерні мережі, а й закласти підґрунтя для подальшої оптимізації енерговитрат шляхом впровадження енергоефективних технологій ще на етапі проектування.

Таким чином, використання емпіричних даних з реального об'єкта та їх адаптація до умов нового будівництва забезпечили обґрунтованість і достовірність результатів моделювання.

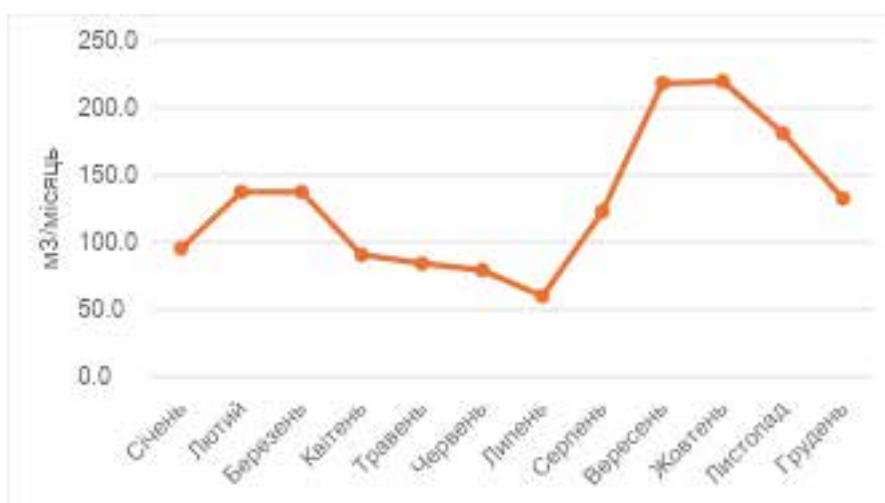


Рисунок 1.6. Помісячне прогнозоване споживання холодної води

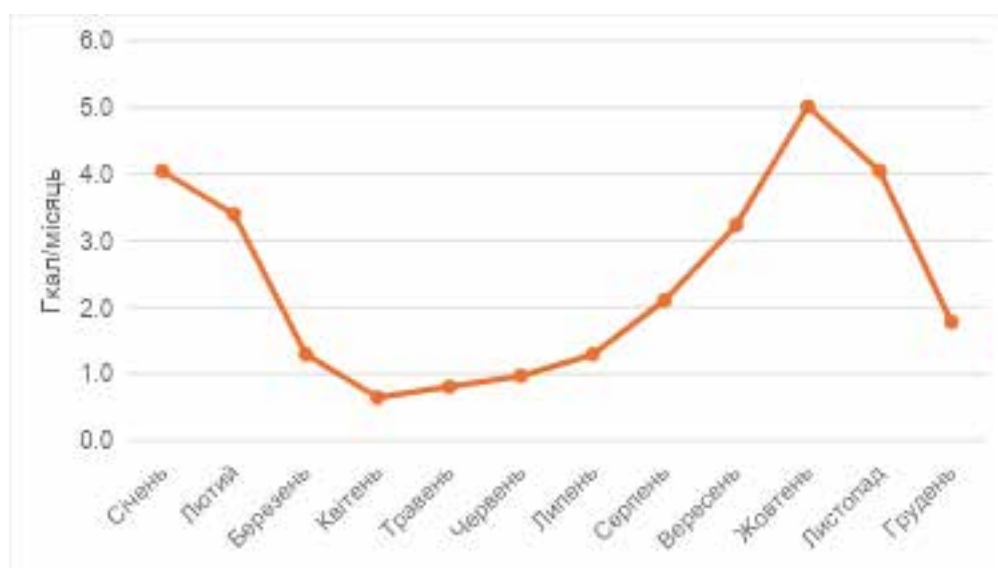


Рисунок 1.7. Помісячне прогнозоване споживання гарячої води

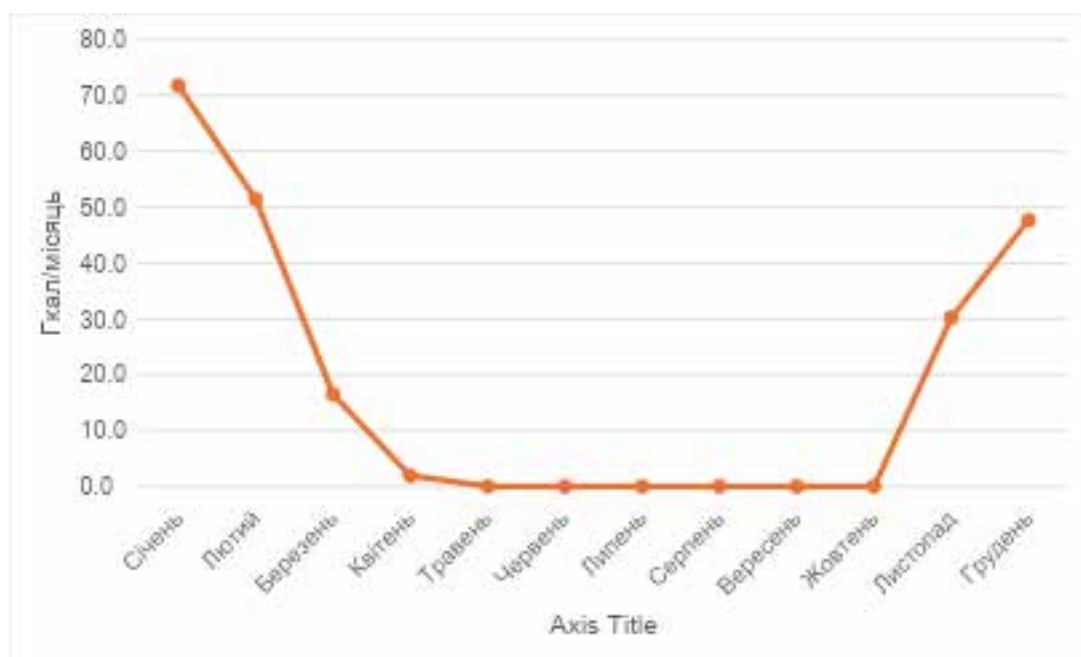


Рисунок 1.8. Помісячне прогнозоване споживання теплової енергії на опалення

Таблиця 1.3

**Прогнозовані витрати енергоресурсів спортивним комплексом**

Вид енергоресурсу	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Холодна вода, м <sup>3</sup>	95,4	137,4	137,4	90,5	84,1	79,2	59,8	122,9	218,3	219,9	181,1	132,6
Гаряча вода, Гкал	4,0	3,4	1,3	0,6	0,8	1,0	1,3	2,1	3,2	5,0	4,0	1,8
Опалення, Гкал	71,8	51,4	16,5	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,2	47,7
Електроенергія, кВт·год	4 268	6 984	6 079	5 044	5 400	5 820	5 044	6 596	8 148	10 994	11 155	11 252

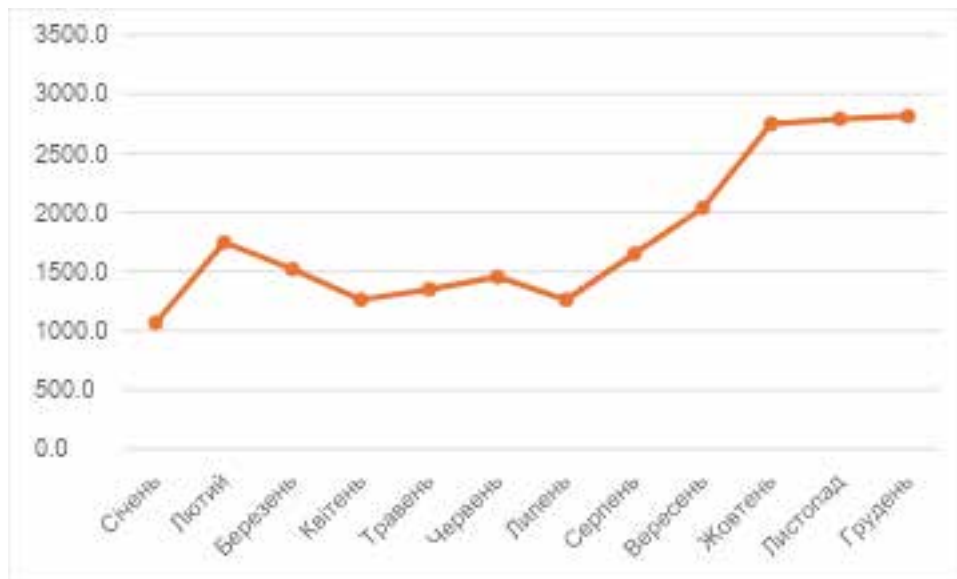


Рисунок 1.9. Помісячне прогнозоване споживання електричної енергії

Навантаження на енергосистему комплексу прогнозується виражено-сезонне і залежить від погодніх умов, навчального графіку та активності відвідувачів. Пікові періоди споживання енергоресурсів припадають на осінньо-зимовий період (жовтень–грудень). Найменше навантаження — у літні місяці (червень–липень).

Найбільше споживання холодної води припадає на вересень (218,3 м<sup>3</sup>) та жовтень (219,9 м<sup>3</sup>) — це може бути пов'язано з початком навчального року, коли кількість відвідувачів спортивного комплексу зростає.

В свою чергу, різке зростання споживання електричної енергії починається з вересня, досягаючи максимуму в грудні (11 252 кВт·год). Це може бути обумовлено скороченням світлового дня, потребою в додатковому освітленні, активною експлуатацією електрообладнання, а також можливим використанням електроопалення або підігріву повітря в міжсезоння.

Отримані результати можуть бути використані для оптимізації енергоспоживання, розрахунку потужностей інженерних систем та впровадження енергоощадних заходів, зокрема інтелектуального управління опаленням, освітленням та водопостачанням.

### 1.7. Висновки до розділу 1

Проведений аналіз підтверджує актуальність проблеми підвищення енергоефективності будівель спортивного призначення, особливо у контексті сталого розвитку, зростання вартості енергоносіїв та необхідності зниження залежності від традиційних джерел енергії. За даними досліджень, будівлі споживають до 40% світової енергії та продукують приблизно третину глобальних викидів парникових газів, що свідчить про критичну роль цієї галузі у боротьбі з кліматичними змінами.

У міжнародному досвіді, наприклад у Туреччині, спортивні споруди спричиняють понад 685 тис. тонн CO<sub>2</sub> щорічно, що також підкреслює потребу в заходах з енергозбереження.

Прогнозоване енергоспоживання нового спортивного комплексу НУБіП свідчить про виражену сезонну динаміку: максимальні витрати теплової енергії на опалення очікуються у січні (71,8 Гкал) і листопаді (30,2 Гкал), а найвищі обсяги електроспоживання — у грудні (11 252 кВт·год). У теплий період електроспоживання залишається відчутним, що вимагає уваги до енергоефективного кондиціонування. Також прогнозовано, що найбільше споживання холодної води припадає на жовтень (219,9 м<sup>3</sup>), а гарячої — на січень (4,0 Гкал), що корелює з інтенсивністю експлуатації об'єкта.

Переважна частина будівель освітніх закладів в Україні (понад 70%) була побудована до 1980 року за застарілими нормами, які не враховували сучасних вимог до енергоефективності.

Таким чином, на основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що підвищення енергоефективності спортивного комплексу має значний потенціал як у технічному, так і в економічному та екологічному аспектах. Реалізація енергоефективних заходів ще на етапі проектування дозволяє суттєво зменшити подальші експлуатаційні витрати, знизити вплив на довкілля та забезпечити комфортні умови перебування в приміщеннях.

## РОЗДІЛ 2

### ОЦІНКА ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ І ВИЯВЛЕННЯ ОСНОВНИХ МІСЦЬ ТЕПЛОВТРАТ

#### 2.1 Загальна характеристика будівлі та історія її будівництва

Об'єктом проектування є інженерні системи та будівля спортивного комплексу Національного університету біоресурсів та природокористування України, який наразі перебуває в стані будівництва. Будівля спортивного комплексу знаходиться в Києві. Загальний вигляд будівлі представлено на рисунку 2.1.

Рішення про будівництво нового спорткомплексу було прийнято в серпні 2021 року. Відповідно до первинного плану, на цій території планується створення чотирьох просторих ігрових зал, компактних трибун, а також встановлення душових кімнат і туалетних приміщень. За планом, до середини вересня планувалося завершити монтаж утепленого даху, а протягом наступного місяця встановити утеплені стіни. Далі планувалося перейти до монтажу вікон та дверей. Така послідовність робіт дозволила забезпечити можливість продовження внутрішніх ремонтних робіт навіть узимку. [17]

Станом на січень 2022 року всередині спорткомплексу, що будувався, вже проводилися внутрішні роботи. На тому етапі на будівельному майданчику діяли три злагоджені бригади висококваліфікованих фахівців. Фасадники займалися облаштуванням вікон, мулярі працювали над оздобленням другої частини внутрішніх приміщень, а монолітники продовжували виконувати роботи з перекриття. [18]

З початком повномасштабного вторгнення в лютому 2022 року будівництво спорткомплексу сповільнилося.



Рис. 2.1. Спортивний комплекс НУБІП України

За місцем свого розташування згідно об'єкт належить до I кліматичної зони.

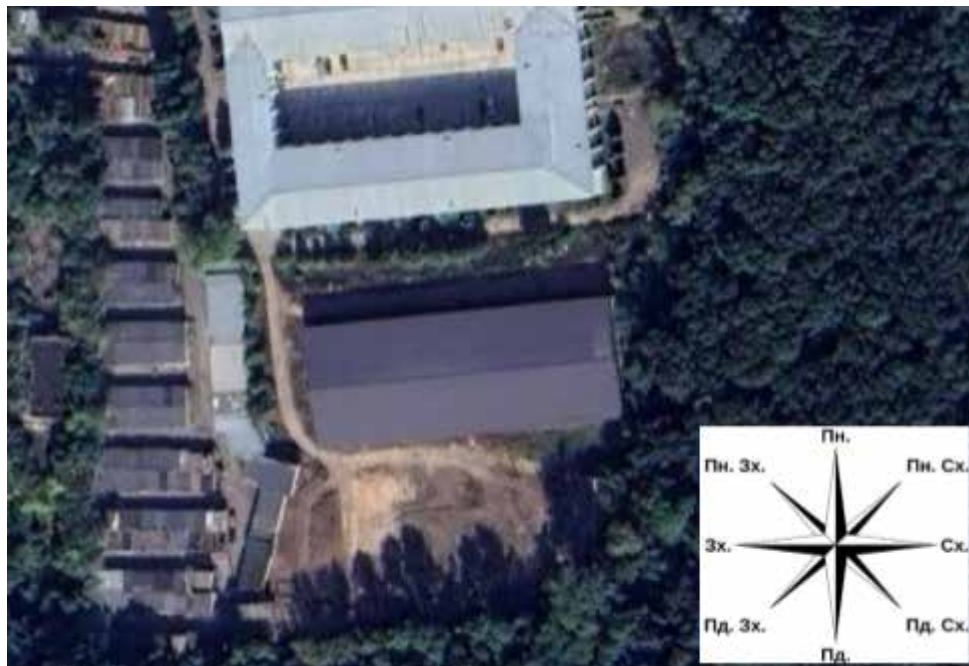


Рис. 2. 2. Спортивний комплекс НУБІП України на супутниковому знімку

Завершення проекту планується здійснити з дотриманням усіх сучасних стандартів енергоефективності та безпеки, що дозволить створити сучасний багатофункціональний спортивний об'єкт для потреб студентів та викладачів університету.

Реалізація даного проекту матиме важливе значення не лише для розвитку спортивної інфраструктури НУБІП України, але й для підвищення якості освітнього процесу та створення комфортних умов для фізичного розвитку майбутніх спеціалістів аграрної галузі.

## 2.2 Аналіз рівня теплового захисту будівлі

В рамках підготовки дипломної роботи одним з етапів був збір даних для спрощеного енергетичного аудиту. Для визначення геометричних розмірів будівлі і огорожувальних конструкцій використовувався прилад далекомір Vitals Professional LD 50 (рис. 2.3.)



Рис. 2.3. Vitals Professional LD 50

Розмір будівлі складає 90,56 x 36,56 м. Зовнішні стіни товщиною 0,32 м виконані зі пінобетонних блоків, з середини оздоблені штукатуркою, зовні розміщено сендвіч-панелі. Площа фасаду складає 976 м<sup>2</sup>.

У даному проекті спортивного закладу було реалізовано гнучкий підхід до проектування теплоізоляційної оболонки будівлі відповідно до пункту 5.2.2 ДБН В.2.6-31. Цей нормативний припис дозволяє при новому будівництві застосовувати огорожувальні конструкції зі зниженими (до 80% від мінімально допустимих) значеннями приведенного опору теплопередачі, за умови дотримання системного принципу проектування та забезпечення загального енергетичного балансу будівлі.

Такий підхід надав можливість оптимізувати конструктивні рішення окремих елементів теплоізоляційної оболонки (стін, суміщеного покриття та перекриття над неопалюваним підвалом), при цьому безумовно виконуючи основні вимоги щодо енергоефективності будівлі в цілому згідно з формулами (1), (5) та (6) зазначеного нормативу.

Розрахунки підтверджують, що застосовані конструктивні рішення, попри певне зниження термічного опору окремих огорожувальних конструкцій, забезпечують відповідність будівлі всім необхідним теплотехнічним параметрам. Це дозволило досягти оптимального балансу між енергоефективністю, економічністю будівництва та конструктивною доцільністю, що є особливо важливим для об'єктів спортивного призначення з їх специфічними вимогами до мікроклімату та енергоспоживання.

Визначимо термічний опір конструкції стіни згідно з вимогами ДСТУ 9191:2022. [19]

Опис конструкції. Загальна товщина конструкції складає 0.300 м. Кількість шарів конструкції - 2. Шар №1 Екструдований пінополістирол з густиною 30 кг/м<sup>3</sup> та товщиною 0.100 м. Шар №2 Пінобетон з густиною 1000 кг/м<sup>3</sup> та товщиною 0.200 м.

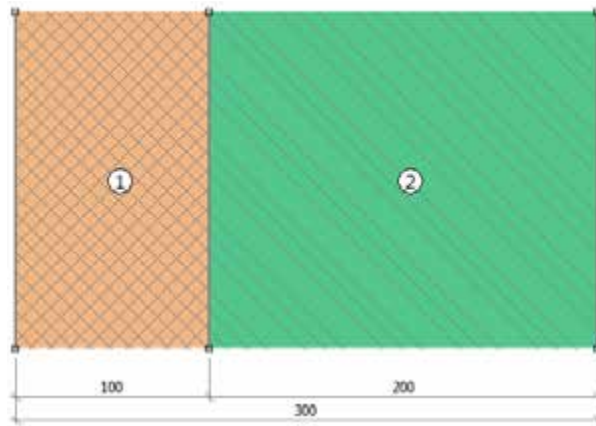


Рисунок 2.4. Розріз огорожувальної конструкції

Вологісні умови експлуатації матеріалів огорожувальної конструкції визначено згідно з додатком Б ДБН В.2.6-31:2021 . Призначення будівлі - спортивний заклад, для якої згідно з т.Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункові значення температури і вологості приміщень  $\theta_{int} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi_{int} = 50 \%$  відповідно. Вологісний режим приміщень приймаємо згідно з т.Б.1 ДБН В.2.6-31:2021 - нормальний, а також враховуючи, що конструкція зовнішня, то умови експлуатації згідно з т.Б.3 ДБН В.2.6-31:2021 - Б. [14]

Розрахункові характеристики матеріалів конструкції визначаємо згідно з додатком А ДСТУ 9191:2022.

Таблиця 2.1

#### Розрахункові характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина, (м)	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)
1	Екструдований пінополістирол $\rho=30$ кг/м <sup>3</sup>	0.1	0.036
2	Газо- та пінозолобетон $\rho=1000$ кг/м <sup>3</sup>	0.2	0.5

Коефіцієнти тепловіддачі визначаємо згідно з таблицею Б додатку Б ДСТУ 9191:2022. Для конструкції типу - стіна, розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальних конструкцій прийнято:

$$h_{si} = 8.7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad h_{se} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \#(2.1)$$

Визначаємо опір теплопередачі конструкції згідно з формулою 2 ДСТУ 9191:2022:

$$R_s = \frac{1}{h_{si}} + \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{8.7} + \frac{0.1}{0.036} + \frac{0.2}{0.5} + \frac{1}{23} = 3.336 \text{ м}^2 * \frac{\text{К}}{\text{Вт}}, \#(2.2)$$

Згідно з проведеним розрахунком за методикою ДСТУ 9191:2022, термічний опір запропонованої двошарової конструкції стіни (екструдований пінополістирол + пінобетон) забезпечує необхідні теплоізоляційні характеристики для спортивної будівлі з нормальним вологісним режимом. Поєднання високоефективного теплоізоляційного матеріалу (пінополістирол з низькою теплопровідністю 0,036 Вт/(м²К)) з конструктивним шаром пінобетону дозволяє досягти оптимального балансу між теплозахисними властивостями та міцністю конструкції. Така композиція шарів відповідає нормативним вимогам ДБН В.2.6-31:2021 для заданих температурно-вологісних умов експлуатації будівлі спортивного призначення.

Дах складається з дошки 30 x 120, пароізоляції, екструдованого пінополістиролу 200 мм, гнучого швелера і гідробар'єра. Зовнішній шар – профнастил. Тип даху – суміщене покриття.

Визначимо термічний опір конструкції суміщеного перекриття згідно з вимогами ДСТУ 9191:2022.

Опис конструкції. Загальна товщина конструкції складає 0.247 м. Кількість шарів конструкції - 5. Шар №1 Сосна та ялина вздовж волокон з густиною 500 кг/м³ та товщиною 0.030 м. Шар №2 Пароізоляційна плівка та товщиною 0.001 м. Шар №3 Екструдований пінополістирол з густиною 30 кг/м³ та товщиною 0.200 м. Шар №4 Сталь арматурна та товщиною 0.006 м. Шар №5 Матеріали бітумні, бітумно-полімерні покрівельні та гідроізоляційні з густиною 1000 кг/м³ та товщиною 0.010 м.

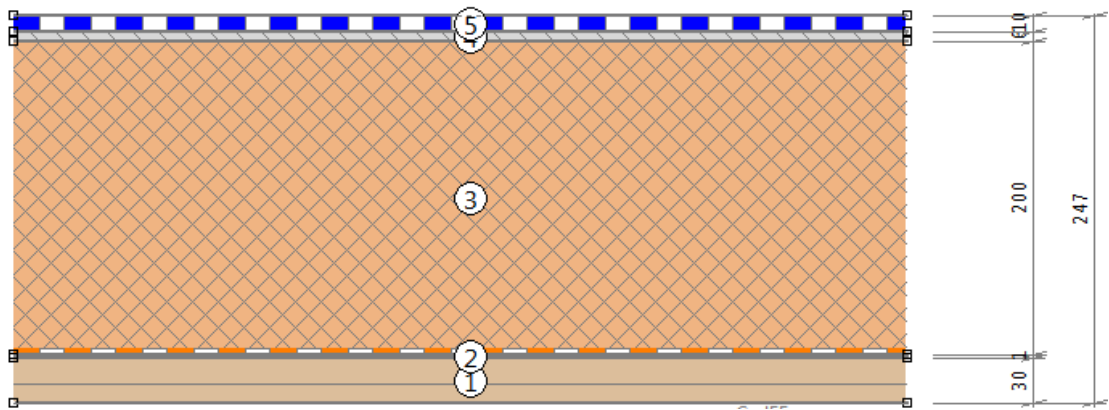


Рисунок 2.5. Розріз огорожувальної конструкції суміщеного покриття

Вологісні умови експлуатації матеріалів огорожувальної конструкції визначено згідно з додатком Б ДБН В.2.6-31:2021 . Призначення будівлі - спортивний заклад, для якої згідно з т.Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункові значення температури і вологості приміщень  $\theta_{int} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi_{int} = 50 \%$  відповідно. Вологісний режим приміщень приймаємо згідно з т.Б.1 ДБН В.2.6-31:2021 - нормальний, а також враховуючи, що конструкція зовнішня, то умови експлуатації згідно з т.Б.3 ДБН В.2.6-31:2021 - Б.

Розрахункові характеристики матеріалів конструкції визначаємо згідно з додатком А ДСТУ 9191:2022.

Таблиця 2.2

### Розрахункові характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина, (м)	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)
1	Сосна та ялина вздовж волокон $\rho=500 \text{ кг/м}^3$	0.03	0.35
2	Пароізоляційна плівка	0.001	0.3
3	Екструдований пінополістирол $\rho=30 \text{ кг/м}^3$	0.2	0.036
4	Сталь арматурна	0.006	58
5	Матеріали бітумні, бітумно-полімерні покрівельні та гідроізоляційні $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$	0.01	0.17

Коефіцієнти тепловіддачі визначаємо згідно з таблицею Б додатку Б ДСТУ 9191:2022. Для конструкції типу - суміщена покрівля, розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огороджувальних конструкцій прийнято:

$$h_{si} = 10 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad h_{se} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \#(2.3)$$

Визначаємо опір теплопередачі конструкції згідно з формулою 2 ДСТУ 9191:2022:

$$R_s = \frac{1}{h_{si}} + \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} + \frac{1}{h_{se}} = = \frac{1}{10} + \frac{0.03}{0.35} + \frac{0.001}{0.3} + \frac{0.2}{0.036} + 0$$

Розрахунок термічного опору суміщеної покрівлі для спортивного закладу виконано згідно з ДСТУ 9191:2022 та ДБН В.2.6-31:2021. П'ятишарова конструкція загальною товщиною 0,247 м включає дерев'яний настил (сосна/ялина), пароізоляційну плівку, шар екструдованого пінополістиролу (основний теплоізолятор товщиною 0,2 м з низькою теплопровідністю 0,036 Вт/(м<sup>2</sup>К)), арматурну сталь та гідроізоляційне бітумно-полімерне покриття. Така конструкція забезпечує ефективний термічний опір завдяки оптимальному поєднанню матеріалів з різними теплофізичними властивостями. Застосування шару пінополістиролу значної товщини компенсує високу теплопровідність сталевих елементів (58 Вт/(м<sup>2</sup>К)), що дозволяє досягти нормативних показників теплозахисту для заданих умов експлуатації (нормальний вологісний режим, температура 18°C, вологість 50%) при забезпеченні надійної гідро- та пароізоляції конструкції.

Підлога складається з наливної підлоги, самовирівнювача, бетонної армованої стяжки товщиною 90 мм та бетонної стяжки товщиною 150 мм. На відстані 1 м від стін підлогу утеплено утеплювачем STURODUR товщиною 40 мм.

Визначимо термічний опір конструкції підлоги по ґрунту згідно з вимогами ДСТУ 9191:2022.

Опис конструкції. Загальна товщина конструкції складає 0.390 м. Кількість шарів конструкції - 2. Шар №1 Бетони ніздрюваті з густиною 200 кг/м<sup>3</sup> та товщиною 0.240 м. Шар №2 Щебінь шлаковий з густиною 350 кг/м<sup>3</sup> та товщиною 0.150 м.

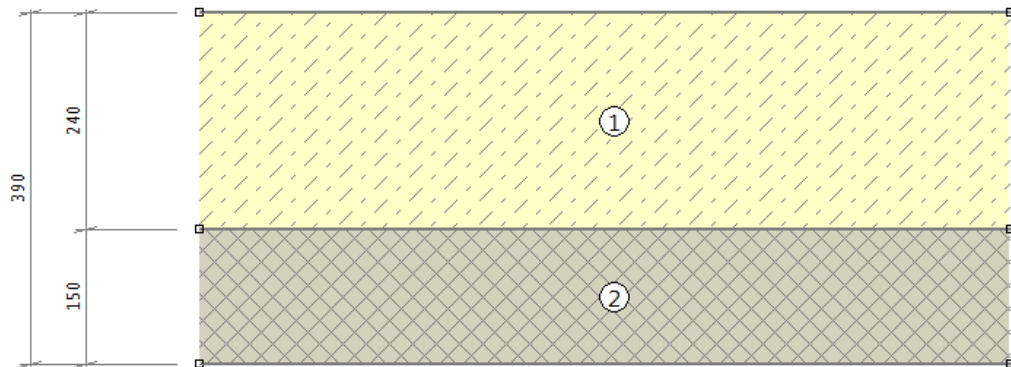


Рисунок 2.6. Розріз конструкції підлоги по ґрунту

Вологісні умови експлуатації матеріалів огорожувальної конструкції визначено згідно з додатком Б ДБН В.2.6-31:2021 . Призначення будівлі - спортивний заклад, для якої згідно з т.Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункові значення температури і вологості приміщень  $\theta_{int} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi_{int} = 50 \%$  відповідно. Вологісний режим приміщень приймаємо згідно з т.Б.1 ДБН В.2.6-31:2021 - нормальний, а також враховуючи, що конструкція зовнішня, то умови експлуатації згідно з т.Б.3 ДБН В.2.6-31:2021 - Б.

Розрахункові характеристики матеріалів конструкції визначаємо згідно з додатком А ДСТУ 9191:2022.

Таблиця 2.3

### Розрахункові характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина, (м)	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)
1	Бетони ніздрюваті $\rho=200$ кг/м <sup>3</sup>	0.24	0.074
2	Щебінь шлаковий $\rho=350$ кг/м <sup>3</sup>	0.15	0.19

Коефіцієнти тепловіддачі визначаємо згідно з таблицею Б додатку Б ДСТУ 9191:2022. Для конструкції типу – підлога по ґрунту розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальних конструкцій прийнято:

$$h_{si} = 5.9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad h_{se} = 12 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \#(2.5)$$

Визначаємо опір теплопередачі конструкції згідно з формулою 2 ДСТУ 9191:2022:

$$R_s = \frac{1}{h_{si}} + \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{5.9} + \frac{0.24}{0.074} + \frac{0.15}{0.19} = 4.202 \text{ м}^2 \cdot \frac{\text{К}}{\text{Вт}}, \#(2.6)$$

Відповідно до розрахунку, виконаного за методикою ДСТУ 9191:2022, двошарова конструкція перекриття над неопалюваним підвалом зі світловими прорізами у стінах демонструє високі теплоізоляційні властивості. Конструкція загальною товщиною 0,39 м складається з шару ніздрюватого бетону низької густини (200 кг/м<sup>3</sup>) з відмінними теплоізоляційними характеристиками (теплопровідність 0,074 Вт/(м<sup>2</sup>К)) та шару шлакового щебеню (теплопровідність 0,19 Вт/(м<sup>2</sup>К)). Таке поєднання матеріалів забезпечує значний термічний опір перекриття, що відповідає нормативним вимогам ДБН В.2.6-31:2021 для спортивних закладів з нормальними вологісними умовами експлуатації. Застосування легких пористих матеріалів дозволяє створити ефективний теплоізоляційний бар'єр між опалюваними приміщеннями та ґрунтом, мінімізуючи тепловтрати через нижнє перекриття будівлі.

На об'єкті встановлено 83 металопластикові вікна загальною площею 298,05 м<sup>2</sup>. Вікна виготовлені з пластикового профілю шириною 70 мм, оснащені двокамерним склопакетом завтовшки 32 мм з двома енергозберігаючими і-склами.

Теплотехнічні характеристики відповідають класу енергоефективності С. Коефіцієнт теплопередачі вікон  $U_w$  становить 1.33 Вт/(м<sup>2</sup>·К), а опір теплопередачі  $R$  — 0.75 м<sup>2</sup>·К/Вт (з урахуванням повітропроникності — 0.72 м<sup>2</sup>·К/Вт). Коефіцієнт теплопередачі склопакета  $U_g$  становить 1.08 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Світлотехнічні характеристики включають сонячний фактор  $g_w$  на рівні 43.78% та світлопропускання 61.51%, що забезпечує достатнє природне освітлення внутрішніх приміщень. Показники повітропроникності складають  $0.3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  при тиску 10 Па та  $3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  при 100 Па. Шумоізоляція становить 28 дБА, що відповідає класу Д.

Завдяки встановленим вікнам досягнуто економії енергії на рівні 775.15 кВт·год/рік, що еквівалентно виконанню особистого плану заощадження газу на 16.24%. Орієнтовні енергетичні втрати через вікна становлять 844.64 кВт·год/рік.

На об'єкті 6 дверей, з них 4 металевих і 2 металопластикових. Загальна площа дверей складає  $20,62 \text{ м}^2$ .

Металеві двері мають нижчі теплозахисні характеристики, що спричиняє вищі тепловтрати порівняно з металопластиковими. Їх опір теплопередачі є відносно низьким, що характерно для металевих конструкцій без терморозриву. Водночас металопластикові двері демонструють покращені енергозберігаючі властивості завдяки багатокамерному профілю та ефективному ущільненню.

Враховуючи різницю в термічному опорі, саме металопластикові двері сприяють зниженню загальних тепловтрат об'єкта та підвищенню рівня енергетичної ефективності. Їх встановлення є доцільним рішенням у зонах з підвищеним тепловим навантаженням, де важливо зберігати комфортний температурний режим. Рекомендовано, за можливості, поступово замінювати металеві двері на більш енергоефективні аналоги для зменшення експлуатаційних витрат на опалення.

На основі отриманих даних розраховуємо втрати тепла згідно Методики за формулою:

$$Q_{\text{ок}} = \sum K_i F_i \Delta t \left( 1 + \sum \beta \right) n, \#(2.7)$$

Де  $K_i$  – коефіцієнт теплопередачі зовнішніх огорожень;

$F_i$  – площа поверхні огорожувальної конструкції;

$t_{вн}$  – розрахункова температура внутрішнього повітря, °С. Значення залежить від призначення будівлі і місця розташування,  $t_{вн}=20^{\circ}\text{C}$ .

$T_{зв}=t_{р.о.}$  – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення. Для міста Києва  $t_{р.о.}=-22^{\circ}\text{C}$ .

$N$  – коефіцієнт, який враховує зменшення розрахункової різниці температур, залежить від положення зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції по відношенню до зовнішнього повітря,  $n=1$ ;

$\Sigma\beta$  – коефіцієнт додаткових втрат теплоти. В даному розрахунку будуть включені тільки додаткові тепловтрати крізь огорожувальні конструкції в залежності від орієнтації будівлі відносно сторін світу. Значення  $\beta$  для північної стіни становитиме 10%, для східної та західної – 5%, для південної – 0%.

Максимальні додаткові втрати теплоти приймаються на рівні 15%.

Отримані результати наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

### Втрати тепла через огорожувальні конструкції досліджуваної будівлі

Елементи огорожувальних конструкцій	Втрати тепла [кВт·год/рік]
Дах	114 817
Підлога	86 046
Стіни	38 376
Вікна	72 285
Двері	4 184
Природня вентиляція (включно з інфільтрацією)	66 993

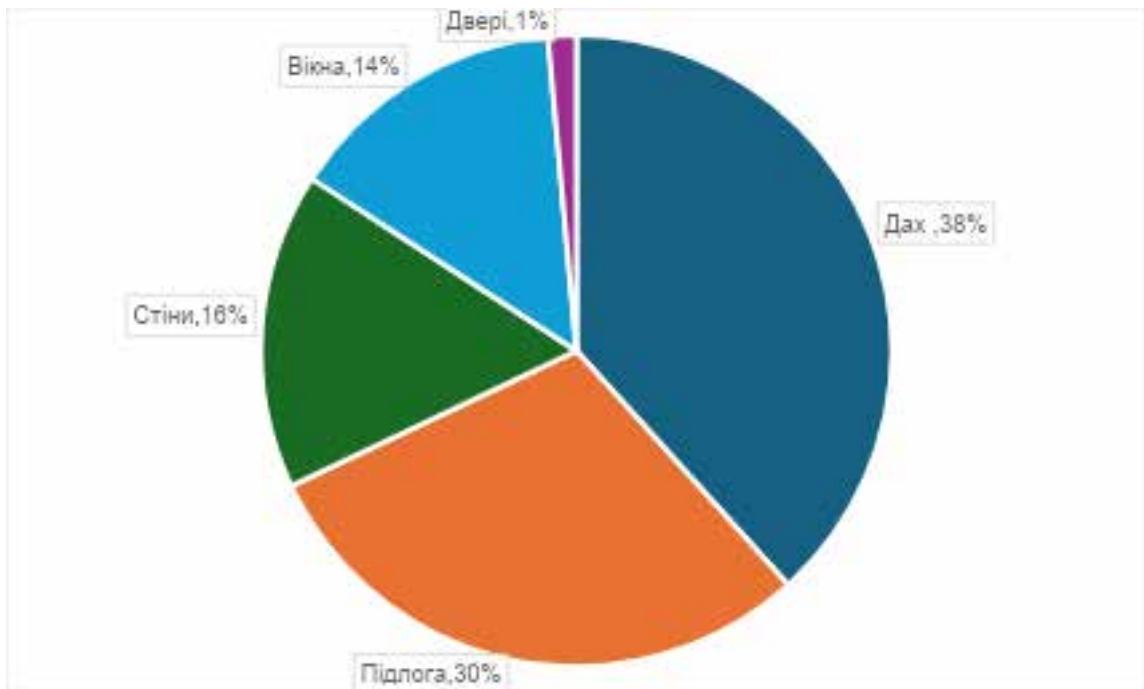


Рис. 2.7. Баланс тепловтрат через огорожувальні конструкції та вентиляцію

Аналіз діаграми показує, що найбільші тепловтрати в досліджуваній будівлі відбуваються через дах (38% або 114 817 кВт·год/рік) та підлогу (30% або 86 046 кВт·год/рік), які разом становлять майже 70% від загальних втрат. Це свідчить про недостатню теплоізоляцію горизонтальних огорожувальних конструкцій будівлі.

Значними також є втрати через стіни (16%) та вікна (14%), що разом з природною вентиляцією та інфільтрацією складають решту 30% тепловтрат. Найменші втрати спостерігаються через двері (лише 2%), що є логічним через їх невелику площу порівняно з іншими елементами огорожі. Така структура тепловтрат вказує на необхідність першочергового утеплення даху та підлоги для підвищення енергоефективності будівлі.

Загальне теплове навантаження будівлі становить близько 88,6 кВт, тому для забезпечення необхідної теплової потужності було прийнято рішення встановити два теплові насоси типу "вода-вода" моделі IDEA Pro ISW-45H-SA0N1, кожен із тепловою потужністю по 45 кВт (рис. 2.8).

Обраний агрегат є тепловим насосом-чілером, що дозволяє йому ефективно працювати не лише в режимі опалення, а й забезпечувати охолодження приміщень у теплу пору року. Такий підхід підвищує гнучкість і енергоефективність системи теплопостачання та мікроклімату будівлі.



Рис. 2.8. Тепловий насос IDEA Pro ISW-45H-SA0N1

### 2.3. Висновки до розділу 2

У розділі 2 було проведено теплотехнічний аналіз конструкцій спортивного комплексу НУБіП України, який перебуває на етапі будівництва. Основною метою аналізу було виявлення основних шляхів тепловтрат і оцінка ефективності застосованих конструктивних рішень.

Будівля має розміри  $90,56 \times 36,56$  м, площу фасаду  $976 \text{ м}^2$  і належить до I кліматичної зони.

У будівлі встановлено 83 вікна загальною площею  $298,05 \text{ м}^2$ , з двокамерними енергоефективними склопакетами. На об'єкті також встановлено 6 дверей (4 металевих, 2 металопластикових), сумарною площею  $20,62 \text{ м}^2$ .

Розрахунки втрат тепла показали, що найбільші втрати припадають на: Дах — 114 817 кВт·год/рік (38%) та підлогу — 86 046 кВт·год/рік (30%);

Ці дані чітко вказують на те, що головні джерела тепловтрат — горизонтальні огороджувальні конструкції (дах і підлога), які разом становлять майже 70% від загального обсягу втрат. Це визначає пріоритетність їх термомодернізації для підвищення енергоефективності будівлі.

Для покриття теплового навантаження на рівні 88,6 кВт, прийнято рішення встановити два теплові насоси "вода–вода" IDEA Pro ISW-45H-SA0N1, кожен з тепловою потужністю 45 кВт. Це дає змогу забезпечити не лише опалення, а й охолодження будівлі в літній період.

Загалом, отримані результати засвідчують, що запроєктовані конструкції здатні забезпечити нормативний рівень теплозахисту за умови подальшого вдосконалення теплоізоляційних характеристик даху та підлоги, а також переходу на більш енергоефективні дверні конструкції. Запропоновані рішення створюють фундамент для створення сучасної енергоефективної спортивної споруди з високим рівнем теплового комфорту.

## РОЗДІЛ 3

### ЕЛЕКТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК

#### 3.1. Проектування розташування панелей та моделювання роботи пропонованої СЕС

Будівля має 3 дуже важливі переваги: 1. Ідеальне розташування на південь (що забезпечує максимальну генерацію електроенергії); 2. Має оновлений міцний дах, що дає можливість надійно закріпити сонячні модулі; 3. Більшість будівлі має мінімальне затінення, що також дозволяє максимально ефективно використати площу даху і забезпечити максимальну генерацію електроенергії.



Рис. 3.1. Проект розміщення сонячних панелей на даху спортивного комплексу НУБІП України.

Для моделювання оптимального розміщення сонячних фотомодулів на покрівлі спортивного комплексу було використано програмне забезпечення Sunny Design. За результатами моделювання вдалося розмістити 455 сонячних панелей, що відповідає технічним можливостям даху та забезпечує ефективне використання доступної площі.

Оскільки проєктований спортивний комплекс ще перебуває на стадії будівництва, отримати фактичні дані щодо споживання та генерації електроенергії на цьому етапі неможливо. Тому для оцінки потенціалу сонячної

енергогенерації було проведено моделювання за допомогою ресурсу *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*, розробленого Європейською комісією в рамках спільного дослідницького центру (Joint Research Centre, JRC). Цей інструмент дає змогу розрахувати прогнозовану продуктивність фотоелектричних установок з урахуванням географічного розташування, кліматичних умов та орієнтації панелей.

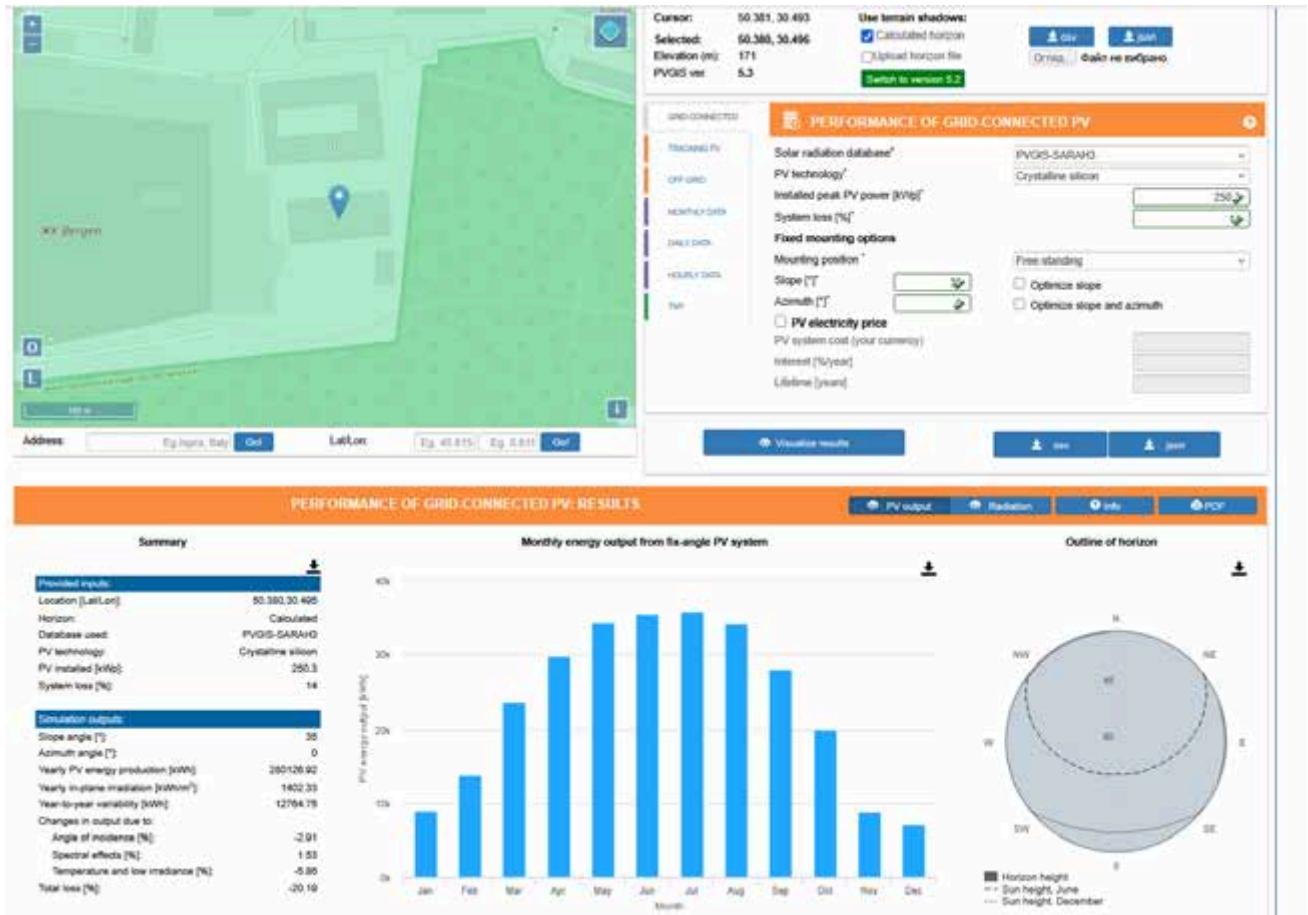


Рис. 3.2. Інтерфейс програми PVGIS та моделювання помісячної генерації електричної енергії СЕС 250,3 кВт

PVGIS надає інформацію про сонячне випромінювання та продуктивність фотоелектричних систем для будь-якого місця у світі, за винятком полярних регіонів. Сервіс містить багаторічні дані щодо сонячної інсоляції з 2005 по 2023 рік, що дозволяє проводити статистичний аналіз та моделювання роботи сонячних електростанцій з високою точністю.

Для дослідження було завантажено комплексний набір даних за період з 2013 по 2023 рік, що становить 10-річний масив інформації. Цей часовий інтервал забезпечує достатню статистичну базу для виявлення сезонних коливань та довгострокових тенденцій у сонячній активності.

Крім завантаження кліматичних даних, сервіс PVGIS також дозволяє здійснювати гнучке налаштування конфігурації сонячної електростанції. Зокрема, користувач може змінювати такі параметри, як встановлена потужність, кут нахилу та азимут фотомодулів, тип панелей (монокристалічні, полікристалічні тощо), тип установки (дахова або наземна), а також враховувати втрати від затінення чи забруднення. Це дає змогу моделювати роботу СЕС з урахуванням особливостей конкретного об'єкта та підібрати оптимальні технічні рішення.

PVGIS надає детальну інформацію про сонячне випромінювання з 2005 по 2023 рік. Первинні дані мали специфічний формат CSV з такою структурою:

20130101:0010,0.0,0.0,0.0,-2.07,3.17,0.0

Де кожен рядок містить:

- Дата та час: 20130101:0010 (YYYYMMDD:HHMM)
- Параметри сонячного випромінювання: глобальне, пряме, дифузне опромінення
- Метеорологічні дані: температура повітря, швидкість вітру, тощо

Обробка первинних даних проводилася нами в Excel.



Рис. 3.3. Вигляд використовуваної програми в Excel

Для трансформації сирих даних було використано кілька ключових інструментів Excel:

Парсинг дати та часу - складна LET-формула витягує рік, місяць, день та годину з текстового формату, автоматично враховуючи літній час для України (додає годину з квітня по жовтень).

Створення матриці інсоляції - комбінація функцій MAKEARRAY та LAMBDA створює погодинну таблицю  $24 \times 12$  (години  $\times$  місяці) з середніми значеннями сонячного випромінювання для кожної години кожного місяця року.

Групування даних - функція GROUPBY автоматично агрегує дані за місяцями та годинами, обчислюючи середні значення для аналогічних періодів за всі роки спостережень.

Обробка тексту - комбінація VALUE, SUBSTITUTE та TEXTSPLIT перетворює текстові дані у числовий формат для подальших розрахунків.

У рамках моделювання було отримано погодинні та помісячні дані генерації електроенергії впродовж року. Особливу увагу приділено типовим місяцям різних сезонів (зимового, літнього та перехідного), що дозволило проаналізувати динаміку виробництва енергії у різні періоди. Крім того, побудовано графік порівняння генерації СЕС з прогнозованим електроспоживанням комплексу (рис 3.3). Такий підхід дозволив об'єктивно оцінити ступінь забезпечення потреб будівлі відновлюваною енергією, виявити періоди енергетичного профіциту й дефіциту, а також сформулювати уявлення про можливість оптимізації енергоспоживання за рахунок акумулювання або передачі надлишкової електроенергії.



Рис. 3.4. Порівняння помісячної генерації СЕС 250,3 кВт та прогнозованого помісячного споживання спортивним комплексом НУБІП України

На графіку рис. 3.4 представлено порівняння прогнозованої генерації електроенергії сонячною електростанцією та прогнозованого споживання електроенергії спортивним комплексом протягом року. Очевидно, генерація електроенергії має яскраво виражений сезонний характер. Найвищі показники фіксуються в літні місяці — з травня по липень, коли рівень сонячної радіації досягає максимуму. У цей період виробництво електроенергії значно перевищує потреби об'єкта, що створює потенціал для покриття власного споживання на розташованих поруч навчальних корпусах чи інших об'єктах ЗВО та навіть формування надлишків, які можуть бути продані в мережу або накопичені для подальшого використання. Дане питання потребує окремого дослідження, зокрема дослідження доцільності продажу в мережу чи передачі акумульованої енергії між корпусами

Споживання електроенергії протягом року залишається відносно стабільним, з незначними коливаннями. Найнижчі обсяги споживання спостерігаються в літні місяці через зменшення експлуатаційного навантаження на будівлю. Натомість у холодний період, з жовтня по грудень, відбувається

поступове зростання електроспоживання, що пояснюється збільшенням потреб в освітленні, вентиляції та більшій активності відвідувачів, оскільки саме на цей час припадає навчальний.

Найбільш критичним періодом з точки зору енергетичного балансу є зимові місяці — грудень та січень, коли генерація сонячної електростанції є найнижчою і не покриває споживання. У цей час виникає необхідність компенсувати дефіцит енергії за рахунок зовнішньої мережі. Загалом графік демонструє високий потенціал СЕС для покриття енергетичних потреб комплексу упродовж більшої частини року, що дозволяє суттєво зменшити залежність від електромережі та підвищити загальний рівень енергоефективності будівлі.

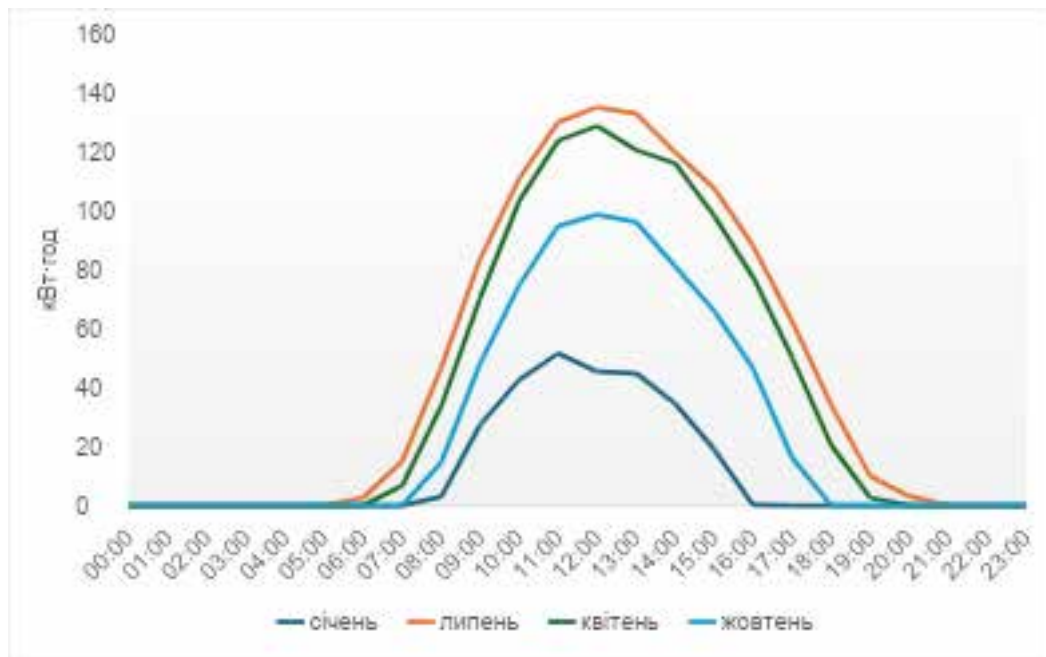


Рис. 3.5. Погодинна генерація типового дня в місяці різних сезонів протягом року

Як вже зазначалось вище, для глибшого розуміння поведінки системи фотоелектричної генерації було змодельовано погодинну генерацію електроенергії впродовж типових днів різних сезонів року (рис. 3.). Побудований графік ілюструє характер змін потужності сонячної електростанції протягом світлового дня у вибрані місяці – січень (зимовий

період), квітень (весняний перехідний період), липень (літо), жовтень (осінній перехідний період).

На графіку чітко простежується вплив сезонності на тривалість та інтенсивність сонячної генерації. У літній період (липень) спостерігається найтриваліший світловий день із максимальною потужністю генерації в обідні години (близько 12:00–14:00), коли крива має чітко виражений симетричний "пік". У весняно-осінні місяці (квітень та жовтень) генерація також досягає значних значень, але світловий день є коротшим, а пік виробітку — дещо нижчий. У зимовому періоді (січень), навпаки, генерація обмежується як за тривалістю, так і за амплітудою, а пік вироблення є найнижчим, що пов'язано з малою висотою сонця над горизонтом, коротким світловим днем і частими хмарними погодами.

Такий графік є важливим для оцінки можливості самозабезпечення енергією у реальному часі, оскільки дає уявлення про потенціал генерації протягом доби залежно від місяця чи пори року. Це особливо актуально для проектування систем акумулювання енергії, вибору оптимального нахилу та орієнтації панелей, а також для визначення годин добового балансу між виробництвом і споживанням енергії.

### 3.2. Підбір акумуляторів

Добове споживання активної електроенергії становить 32 кВт·год. Таким чином, орієнтовне максимальне споживання за тиждень дорівнює 224 кВт·год. Об'єкт під'єднано до загальної електромережі. У разі відсутності електропостачання з мережі живлення будівлі здійснюватиметься за допомогою акумуляторних батарей, кількість і потужність яких буде визначено далі.

Електроенергія постійного струму з урахуванням втрат у випадку втрат інвертора:

$$W_{\text{тр}} = W_{\text{пер}} \cdot k = 224 \cdot 1,2 = 268,8 \text{ кВт}\cdot\text{год} \quad (3.1)$$

де  $W_{пер}$  - загальна споживана енергія змінного струму за тиждень;  $k$  - коефіцієнт, що враховує втрати в інверторі напруги.

Для в тижні обрання інвертора, треба поділити значення  $W_{пер}$  на кількість робочих годин тижня, тобто  $5 \cdot 24 = 120$  год:

$$P_{инв} = \frac{W_{тр}}{5 \cdot 24} = \frac{268,8 \cdot 10^3}{120} = 2240 \text{ Вт}; \#(3.2)$$

Згідно попереднього розрахунку можна умовно прийняти номінальну потужність  $P_{н.инв} = 5000$  Вт, а напругу акумуляторних батарей 48 В.

Кількість ампер-годин в тиждень, яку ми потребуємо для покриття навантаження змінного струму:

$$q_{нед}^{пер} = \frac{W_{тр}}{U_{инв}} = \frac{268,8 \cdot 10^3}{48} = 5600 \text{ А} \cdot \text{год}, \#(3.3)$$

Приймаємо, що в будівлі немає навантаження постійного струму  $W_{пост} = 0$

Добове значення споживання Агод:

$$q_{сут} = \frac{q_{нед}}{5} = \frac{q_{нед}^{пер}}{5} = \frac{5600}{5} = 1120 \text{ А} \cdot \text{год}, \#(3.4)$$

В процесі роботи визначається значення необхідної ємності акумуляторів та їх кількість.

Найбільша кількість підряд "днів без мережі" за умови цілорічної експлуатації та використання загальної електромережі становить  $N_{бс} = 1$ .

Загальна ємність батареї, включаючи кількість «днів без мережі»:

$$q_N = q_{сут} \cdot N_{бс} = 1120 \cdot 1 = 1120 \text{ А} \cdot \text{год}, \#(3.5)$$

Необхідно встановити глибину допустимого розряду акумулятора на рівні приблизно 80%. Наближений коефіцієнт використання  $\gamma = 0,8$ .

Заряд акумулятора з урахуванням глибини розряду акумулятора:

$$q_{\gamma} = \frac{q_N}{\gamma} = \frac{1120}{0,8} = 1400 \text{ А} \cdot \text{год}, \#(3.6)$$

Отже загальна потрібна ємність акумуляторних батарей складає 1400 А·год.

Вибираємо акумуляторну батарею марки Pylontech (5 кВт·год, 48 В) US5000 Номінальна напруга = 48В, ємність = 100 Агод. Зображення батареї на рис. 3.6.



Рис. 3.6. Зображення акумуляторної батареї марки Pylontech

Визначимо кількість акумуляторних батарей, з'єднаних паралельно:

$$N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} = \frac{q_{\text{общ}}}{q_{\text{ном}}} = \frac{1400}{100} = 14 \text{ шт, \#(3.7)}$$

Кількість акумуляторних батарей, з'єднаних послідовно:

$$N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = \frac{U_{\text{инв}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{48}{48} = 1 \text{ шт, \#(3.8)}$$

Загальна кількість потрібних акумуляторних батарей:

$$N^{\text{АКБ}} = N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} \cdot N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = 14 \cdot 1 = 14 \text{ шт, \#(3.9)}$$

### 3.3. Підбір інвертора

Під час вибору інвертора для будівлі слід звертати увагу на такі ключові критерії: простота та надійність конструкції, легкість в обслуговуванні, а також помірна вартість. Окрім цього, важливо враховувати технічні характеристики пристрою: здатність працювати при високих перевантаженнях з формуванням

синусоїдальної вихідної напруги, стабільне утримання частоти та напруги. Для забезпечення загального навантаження будівлі потрібна трифазна вихідна напруга, а номінальна потужність інвертора має становити 200 кВт.

Розглянувши технічні параметри обираємо два інвертори марки Huawei SUN2000 100 кВт (рис. 3.7).

Основні характеристики інвертора:

Висока ефективність із формуванням правильної (чистої) синусоїдальної вихідної напруги. Коефіцієнт потужності становить 1,0.

Оснащений вбудованим ШІМ-контролером заряду для роботи з сонячними панелями.

Вхідна напруга інвертора може регулюватися відповідно до потреб користувача.

Через LCD-дисплей можна встановити пріоритет джерела живлення — від мережі або сонячної енергії.

Підтримується функція автоматичного перезапуску у випадку зникнення напруги в мережі.

Інвертор має високу вихідну потужність і систему захисту від короткого замикання.

Підтримується функція холодного старту.

Можливе підключення як до загальної мережі, так і до генератора.

10 MPPT трекерів дозволяють експлуатувати інвертор в умовах нерівномірної генерації сонячних батарей.

Є захист від перенапруги постійного та змінного струму, контроль витоку електрики.

Робоча напруга розширена до 200-1000 В.

Компактні розміри та невелика вага дозволяють зменшити витрати на монтаж. Пристрій легко встановлюється та налаштовується.

Наявна система сигналізації при низькому заряді акумуляторної батареї.

Інвертор обладнаний вбудованим байпасом. У разі перебоїв в електромережі або повного зникнення живлення, споживачі автоматично

перемикаються на живлення від акумуляторної батареї, підключеної до входу постійного струму. При цьому інвертор подає сигнал про відключення. Якщо рівень заряду батареї досягає критично низького значення, інвертор також вимикається з відповідним попередженням.

Коли параметри роботи інвертора виходять за межі допустимого діапазону, навантаження автоматично перемикається на байпас або інше доступне джерело живлення. Статичний байпас реалізований через електронний ключ і дозволяє безперервно та автоматично перемикати навантаження на мережу за наявності незначних відхилень вихідної потужності від номінального значення.



Рис. 3.7. Зображення автономного інвертора Huawei 100 кВт

Модуль статичного байпасу має активний ключ і здатен безперервно перемикати живлення у будь-якому режимі роботи. Він може функціонувати як окрема частина системи або бути інтегрованим до неї. Завдяки мікропроцесорному контролю забезпечується надійна автономна робота без збоїв чи необґрунтованих перемикань. Перемикання між джерелами живлення можливе лише за умови синхронізації потужності та фази інвертора з зовнішнім байпасом, як у ручному, так і в автоматичному режимі.

Блокування перемикачів відбувається у випадку відхилення частоти від заданих параметрів або при збої в роботі інвертора, що може призвести до перемикачів з короткочасною паузою. У звичайному режимі байпас автоматично повертає навантаження назад на інвертор після відновлення його нормальної роботи. Перемикач між інвертором і мережею здійснюється автоматично, без перерв у живленні споживачів.

У цьому розділі буде виконано розрахунок пристрою, що визначає рівні "заряд" та "розряд" акумуляторної батареї при номінальній напрузі.

Як відомо, при напрузі на клеммах 12-вольтового акумулятора рівному 10,2 В акумулятор вважається розрядженим; при напрузі 14,4 В – зарядженим.

Для визначення цих меж потрібні два компаратора DA1-1 і DA1-2, зібрані на базі подвоєного підсилювача К140УД 2. Живиться пристрій від того ж акумулятора. Датчиком напруги акумулятора слугує сам акумулятор. Подільником напруги R5, R6 напруга акумулятора ділиться на два. Джерелом напруги установки:  $U_{\text{акк}} < 10,2 \text{ В}$  і  $U_{\text{акк}} > 14,4 \text{ В}$  слугує параметричний стабілізатор, зібраний на елементах VD1, R1, C1. Напруга стабілізації вибирається нижче нижнього порога (акумулятор вважається розрядженим).

Для розрахунку стабілізатора, в якості VD1 виберемо стабілітрон типу 2С482А з технічними даними  $U_{\text{ст}} = 8,2 \text{ В}$  – напруга стабілізації;  $I_{\text{ст min}} = 1 \text{ мА}$  – струм стабілізації мінімальний. При  $I_{\text{ст}} = 5 \text{ мА}$ :  $U_{\text{ст}} = 8,2 \text{ В}$ ; максимальний струм стабілізації  $I_{\text{ст max}} = 96 \text{ мА}$ .

Для розрахунку опору R1, враховуючи, що  $U_{\text{min акк}} \leq 10,2 \text{ В}$ , вибираємо:  
 $U_{\text{акк}} = 10 \text{ В}; U_{\text{ст}} = 8,2 \text{ В}; I_{\text{ст min}} = 5 \text{ мА}$ .

$$R1 = \frac{U_{\text{min акк}} - U_{\text{ст}}}{I_{\text{ст min}}} = \frac{10 - 8,2}{5 \cdot 10^{-3}} = 360 = 0,36 \text{ кОм}, \quad (3.10)$$

Перевіримо, чи не будуть перевищені межі параметрів стабілітрона при напрузі зарядженого акумулятора  $U_{\text{max акк}} = 14,4 \text{ В}$ .

$$I_{\text{ст}} = \frac{U_{\text{max акк}} - U_{\text{ст}}}{R1} = \frac{14,4 - 8,2}{360} = 0,0172 = 17,2 \text{ мА}, \quad \#(3.11)$$

Так як  $I_{ст} < I_{ст.макс}$ ;  $17,2 \text{ мА} < 96 \text{ мА}$ , значить гранично допустимі параметри перевищені не будуть. Відповідно, стабілітрон вибраний вірно.

Під час вибору стабілітрона важливо, щоб при заданій напрузі стабілізації значення максимального стабілізаційного струму було якомога нижчим.

Згідно довідникової літератури підбираємо потрібну мікросхему DA1. У даному випадку підібрана мікросхема – операційний підсилювач типу К140УД20. Вхідний  $I_{вх}$  і вихідний  $I_{вих}$  струми вибраної мікросхеми:  $I_{вх} = 0,2 \text{ мА}$ ;  $I_{вих} = 20 \text{ мА}$ .

Струм через подільник для устанавлення граничних опорних значень напруги  $10,2 \text{ В}$  і  $14,4 \text{ В}$  знаходиться наступним чином. Звичайно струм через подільник вибирають за умовою:

$$I_{д} \geq (2 \div 4) \cdot I_{нагр}, \quad (3.12)$$

де  $I_{нагр}$  – струм через навантаження;  $I_{д}$  – струм через подільник.

Для нашого випадку  $I_{нагр} = I_{вх}$  значить

$$I_{д} \geq (2 \div 4) \cdot 0,2 \geq 0,4 \div 0,8 \text{ мА}.$$

Вибираємо струм подільника  $I_{д1} = 1 \text{ мА}$ .

Визначимо опори подільника R2, R3, R4.

Згідно закону Ома:

$$R_{д1} = \frac{U_{ст}}{I_{д1}} = \frac{8,2}{1} = 8,2 \text{ кОм}, \quad \#(3.13)$$

Визначено, що напруга акумулятора опорами R5 і R6 ділиться на два. Отже, R5, R6 є подільник на два, тоді згідно вище наведеному  $R_{д2}$  повинно бути  $\geq 1 \text{ мА}$ . При відомому  $U_{\min \text{ акк}}$  маємо:

$$R_{д2} = \frac{10}{1} = 10 \text{ кОм}.$$

При напрузі зарядженого акумулятора

$$I_{д2} = \frac{U_{акк \text{ макс}}}{R_{д2} \cdot 10^{-3}}, \quad \#(3.14)$$

що більше  $(2 \div 4) I_{нагр}$ .

Опори R5 і R6 рівні.  $R5 = R6$ , при діленні напруги акумулятора, відповідно

$$R5 = R6 = \frac{10}{2} = 5(\text{кОм})$$

Найближчий номінал, щоб виконувалась умова  $I_{д} \geq (2 \div 4) \cdot I_{нагр}$  буде рівним 4,7 кОм.

Послідовно  $R5 = R6 = 4,7 \text{кОм}$ .

Напруга  $U$  на подільнику буде змінюватися від 5,1 В до 7,2 В при зміні напруги на акумуляторі від 10,2 В до 14,4 В.

Визначимо номінали резисторів, що входять до подільника. Так як при зміні напруги на акумуляторі в вищевказаних межах:  $I_{д1} = 1 \text{мА}$ , значить

$$R4 = \frac{U_{1 \text{пор.}}}{I_{д1}}, \#(3.15)$$

де  $U_{1 \text{пор.}}$  – значення напруги при розрядженому акумуляторі, рівне  $U_{1 \text{пор.}} = 5,1 \text{В}$ .

$$R4 = \frac{5,1}{1 \cdot 10^{-3}} = 51000 \text{Ом} = 5,1 \text{кОм}, \#(3.16)$$

Друга гранична напруга  $U_{2 \text{пор.}} = 7,2 \text{В}$ , тобто

$$R3 + R4 = \frac{7,2}{1 \cdot 10^{-3}} = 7,2 \text{кОм}$$

Тоді

$$R3 + R4 = 7,2,$$

$$R3 = 7,2 \cdot 10^3 - R4 = 7,2 \cdot 10^3 - 5,1 \cdot 10^3 = 2100 \text{ Ом},$$

$$R2 + R3 + R4 = 8,2 \text{ кОм},$$

$$R2 = R_{д1} - (R3 + R4) = 8,2 - 7,2 = 1 \text{ кОм}.$$

Якщо напруга на опорі  $R6$  нижче опорної, стабільної на  $R4$ , то на виході інвертуючого компаратора  $DA1-2$  напруга  $+U_{ст}$  живлення і світиться світлодіод  $VD2$ .  $VD2$  підключений через струмообмежуючий опір  $R9$ . Вибираємо згідно довідника світло випромінюючий діод типу АЛ102Г червоного кольору, максимально допустимий прямий струм 10 мА. Приймаємо  $I_{VD2} = 9 \text{мА}$ , тоді

$$R9 = \frac{U_{\text{вих}DA1-2} - U_{д}}{I_{\text{max}VD2}}, \#(3.17)$$

де  $U_{\text{вих}DA1-2} \approx 10 \text{В}$  (значення при розряді);  $U_{д} \leq 3 \text{В}$ ;

$$R9 = \frac{10 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 7770 \text{Ом} = 0,777 \text{кОм}$$

Найближчий номінал  $R9=820 \text{ Ом}$ .

Якщо напруга на опорі  $R6$  вище опорного, стабільного на  $R4$ , то на виході інвертуючого компаратора  $DA1-2$  є напруга  $-U_{ст.}$  живлення. Світловипромінюючий діод  $VD2$  не світиться.

Якщо напруга на опорі  $R3$  (опорна, стабільна) вище напруги на опорі  $R6$ , на якому напруга в межах  $5,1+7,2 \text{ В}$  на виході неінвертуючого компаратора  $DA1-1$  відповідає  $-U_{ист.}$  живлення, світловипромінюючий діод  $VD3$  не світиться.

Якщо напруга на опорі  $R6$  перевищує опорну, стабільну на  $R3$ , то на виході неінвертуючого компаратора  $DA1-1$  є напруга  $+U_{ист.}$  живлення і світловипромінюючий діод  $VD3$  світиться, проходить струм через опір  $R7$ , величина якого розраховується також, як і  $R9$ , але по значенню напруги для зарядженого акумулятора за допомогою виразу:

$$R7 = \frac{14,4-3}{9 \cdot 10^{-3}} = 12670 \text{ Ом} \approx 1,3 \text{ кОм}$$

Відповідно, коли напруга на акумуляторі  $>10,2 \text{ В}$  і  $<14,4 \text{ В}$ , вихід  $DA1-1$  и вихід  $DA1-2$  знаходяться в стані "Вимкнено", тобто є на цих виходах рівень  $-U_{ист.}$  живлення, а значить  $VT1$  і  $VT2$  знаходяться в режимі відсічки, тобто  $U_{к VT1}$  і  $U_{г VT2}$  рівна  $U_{ист.}$  живлення. Через подільник  $R14, R16, R17$ , а також діоди  $VD4$  і  $VD5$  струм не протікає, відповідно ланцюг  $VD6, R18, R19$  не шунтується транзистором  $VT3$  і ви- промінюючий діод світиться, сигналізуючи  $U_{акк \cdot ном.}$ .

Елементи  $VT1; VT2; VT3; VD5; VD6; R8; R10; R13; R14; R15; R16; R17$  виконують логічну функцію "І" (функція логічного множення).

Знайдемо номінальні дані цих елементів. Використаємо для цього основні відношення транзистора:

$$I_{к} = \beta \cdot I_{б}, \#(3.18)$$

де  $I_{к}$  – струм колектора;  $I_{б}$  – струм бази;  $\beta$  – коефіцієнт зворотнього зв'язку.

Приймемо струми колекторів транзисторів  $VT1$  і  $VT2$   $I_{к}=10 \text{ мА}$  при  $U_{акк \cdot max}=14,4 \text{ В}$ , звідки за законом Ома:

$$R_{к} = \frac{U_{акк \cdot max}}{I_{к \cdot 10 \cdot 10^{-3}}}, \#(3.19)$$

Вибираємо найближчий номінал  $R_k=1,5$  кОм. Відповідно,  $R_{13}=R_{15}=1,5$  кОм, тоді знайдемо базовий струм  $I_b$ , звідки розрахуємо опір  $R_6$ .

В даному випадку підходять транзистори КТ503В, у яких  $\beta_{\min}=40$ ;  $I_k=150$  мА;  $U_{ке}=40$ В.

$$I_b = \frac{I_k}{\beta} = \frac{10}{40} = 0,25 \text{ мА}, \#(3.20)$$

Знайдемо  $R_{10}$ . Так як при  $U_{\min \text{ акк.}} = 10,2$  В на виході DA1 - 1+ $U_{\min \text{ акк.}} = 10,2$  В.

Відповідно:

$$R_{10} = \frac{U_{\min \text{ акк.}}}{I_b} = \frac{10,2}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 40800 \text{ Ом} = 40,8 \text{ кОм}, \#(3.21)$$

Найближчий стандартний номінал 39 кОм.  $R_{10}=39$  кОм.

Знайдемо  $R_8$  також при  $U_{\max \text{ акк.}} = 14,4$  В. На виході DA1-1 +  $U_{\max \text{ акк.}}$  значить:

$$R_8 = \frac{U_{\max \text{ акк.}}}{I_b} = \frac{14,4}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 57600 \text{ Ом} \approx 58 \text{ кОм}$$

Найближчий стандартний номінал 56 кОм.  $R_8=56$  кОм.

В якості транзистора VT3 підходить транзистор типу КТ502В, що має технічні дані:  $\beta_{\min}=40$ ;  $I_k=150$  мА;  $U_{ке}=40$ В;  $U_{бе \max}=1,2$ В.

Визначимо значення опорів  $R_{12}$ ;  $R_{14}$ ;  $R_{15}$ ;  $R_{16}$ ;  $R_{17}$ . Розрахуємо баластний опір  $R_{16}+R_{17}$  у колі світловипромінюючого діода VD6. Щоб не перевищити гранично допустимий струм через VD6, прийmemo степiнь насичення  $N=1,5$ . Відповідно:

$$U'_{\text{нас. бе}} = U_{\text{бе max.}} \cdot 1,5 = 1,2 \cdot 1,5 = 1,8 \text{ В}, \#(3.22)$$

Максимальний прямиий струм через VD6 також, як і через VD2 і VD3 рівний 9 мА.

Баластний опір  $R_{16}+R_{17}$  розраховуємо за формулою:

$$(R_{16} + R_{17}) = \frac{U_{\max \text{ акк.}} - U_D}{I_{\max}} = \frac{14,4 - 3}{9 \cdot 10^{-3}} = 12670 \text{ Ом} \approx 1,3 \text{ кОм}, \#(3.23)$$

Прийmemo  $R_{16}=R_{17}$ :

$$R16 = R17 = \frac{R16+R17}{2} = \frac{1300}{2} = 650 \text{ Ом}, \#(3.24)$$

Найближчий стандартний номінал 680 Ом, тоді  $R16=R17=680 \text{ Ом}$ .

У відкритому, насиченому стані струм  $I_{K \max}$  (або  $I_{KVT3}$ ) транзистора VT3 рівний:

$$I_{K \max} = \frac{U_{\max \text{ акк}}}{R17} = \frac{14,4}{0,68 \cdot 10^3} = 0,021 \text{ А} = 21 \text{ мА}, \#(3.24)$$

Відповідно

$$I_{\beta VT3} = \frac{I_{KVT3}}{\beta} = \frac{21}{40} = 0,525 \text{ мА}$$

Згідно виразу струм  $I_d$  :

$$I_d > (2 \div 4) \cdot I_{\beta VT3} > 1,05 \div 2,1 \text{ мА}.$$

Прийmemo  $I_d=2 \text{ мА}$  при  $U'_{\text{нас.бе}} = 1,8 \text{ В}$ . У такому випадку опір R15 рівний:

$$R15 = \frac{U'_{\text{нас.бе}}}{2} = \frac{1,8}{2} = 0,9 \text{ кОм}$$

Найближчий стандартний номінал  $R15=910 \text{ Ом}$ .

Коли транзистор VT1 відкритий, то  $U_{\text{акк max}}=14,4 \text{ В}$ .

Тоді  $U_{R14+VD4}=U_{\text{акк max}}-U'_{\text{бе нас}}=14,4-1,8=12,6 \text{ В}$ .

$$R12 = \frac{U_{R14}-U_{VD4}}{I_d} = \frac{12,6-0,7}{2 \cdot 10^{-3}} = 59500 \text{ Ом} = 5,95 \text{ кОм},$$

де  $U_{VD4} \approx 0,7 \text{ В}$ .

Найближчий стандартний номінал 5,9 кОм, тобто  $R12=5,9 \text{ кОм}$ .

Коли транзистор VT2 відкритий, то  $U_{\text{min акк.}}=10,2 \text{ В}$ .

Визначимо опір R14. Напряга на R14 і діоді VD5 визначається із виразу:

$$U_{R14+VD5}=U_{\text{min акк.}}-U'_{\text{бе}}=10,2-1,8=8,4 \text{ В},$$

$$R14 = \frac{U_{R14}-U_{VD5}}{I_d} = \frac{8,4-0,7}{2 \cdot 10^{-3}} = 38500 \text{ Ом} = 3,85 \text{ кОм}.$$

Найближчий стандартний номінал 3,9 кОм, тобто  $R14=3,9 \text{ кОм}$ .

$U_{VD5}$  і  $U_{VD4}$  - пряме падіння напруги на кремнієвих діодах, рівне 0,7 В. У якості діодів VD4 і VD5 можна вибрати малопотужні кремнієві діоди типу КД522А.

Конденсатор фільтру вибираємо типу К50-29 – електролітичний конденсатор ємністю 470 мкФ, 16 В. При виборі конденсатора необхідно, щоб напруга на конденсаторі була більше напруги, на яку планується його підключати.

Таблиця 3.1

**Бюджет реалізації проєкту СЕС потужністю 250,3 кВт.**

№	Позиція	Кількість	Ціна, грн	Ціна, \$	Вартість, грн	Вартість, \$
1	Інвертор мережевий Huawei 100 кВт, шт	2	288 960	6 880	577 920	13 760
2	PV модуль JA Solar JAM72S30-550/MR 550 Вт <sub>p</sub> , шт	455	4 158	99	1 891 890	45 045
3	Акумуляторна батарея Pylontech (5 кВт-год, 48 В), шт	14	49 392	1176	691 488	16 464
4	Реєстратор даних Huawei Smart Logger 3000 А без PLC, шт	1	29 610	705	29 610	705
5	Лічильник Janitza UMG-103 (трьохфазний), шт	1	32 970	785	32 970	785
6	Опорні металоконструкції для скатного даху Kripter Ballast Fix Zinc L-01, шт	455	2 982	71	1 356 810	32 305
7	Трансформатор струму TRA580 50,5X80,5 600/5А, шт	3	4 788	114	14 364	342
8	Бухта сонячного кабелю 6 mm <sup>2</sup> , шт	8	24 150	575	193 200	4 600
9	МС-4 конектори Staubli, шт	170	168	4	28 560	680
10	Щит змінного струму АС 3-100 S ETI, шт	1	40 530	965	40 530	965

Продовження табл. 3.1

11	Розробка проєктного рішення на сонячну	1	95 970	2 285	95 970	2 285
----	--	---	--------	-------	--------	-------

	електростанцію (ПЗ, ГП, ЕТР)					
13	Монтаж, кріплення та додаткові матеріали	1	990 662	23 587	990 662	23 587
	Загальна вартість				5 943 974	141 523

### 3.4. Висновки до розділу 3

У третьому розділі було здійснено комплексний електротехнічний розрахунок проєктованої сонячної електростанції (СЕС) потужністю 250,3 кВт, яка планується для встановлення на даху спортивного комплексу НУБІП України. На основі моделювання у програмному забезпеченні Sunny Design вдалося раціонально розмістити 455 фотомодулів JA Solar потужністю 550 Вт кожен, що повністю відповідає архітектурним та експлуатаційним характеристикам об'єкта.

З метою оцінки генерації електроенергії було проведено аналіз за допомогою PVGIS на основі даних за 10-річний період (2013–2023). Моделювання дозволило встановити чіткі сезонні коливання виробництва: у літні місяці (травень–липень) виробіток значно перевищує споживання, тоді як у зимовий період (грудень–січень) виникає енергетичний дефіцит, що потребує компенсації з мережі.

Стабільне споживання електроенергії для комплексу становить 32 кВт·год на добу, або 224 кВт·год на тиждень. Для забезпечення автономної роботи в умовах відсутності зовнішнього живлення розраховано потребу у загальній ємності акумуляторів 1400 А·год. Підібрано 14 батарей Pylontech US5000 по 5 кВт·год (48 В, 100 А·год кожна). Їх конфігурація дозволяє повністю покрити енергоспоживання будівлі протягом одного дня без мережі.

Для інверторної частини обрано два потужних інвертори Huawei SUN2000 по 100 кВт кожен, що забезпечують необхідну сумарну потужність 200 кВт.

Загальна вартість впровадження проєкту складає 5 943 974 грн, або 141 523 долари США.

Таким чином, запропонований технічний розрахунок демонструє високий рівень енергетичної автономії, рентабельність та потенціал інтеграції ВДЕ в інфраструктуру університету. Проєкт не лише сприяє зниженню енергетичних витрат, а й створює можливості для подальшої оптимізації за рахунок накопичення або реалізації надлишкової енергії.

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СЕС

#### 4.1. Економічні показники впровадження проєкту

Ефективність будь-якого інвестиційного проєкту в сфері відновлюваної енергетики визначається не лише його технічними характеристиками, але й економічною доцільністю. Для прийняття обґрунтованого рішення щодо впровадження сонячної електростанції потужністю 250 кВт на спортивному комплексі НУБіП України необхідно провести комплексний фінансово-економічний аналіз проєкту.

У даному розділі представлено детальне дослідження економічної ефективності проєкту, включаючи розрахунок ключових показників інвестиційної привабливості, аналіз чутливості до зміни основних параметрів та оцінку фінансових ризиків. Особлива увага приділена визначенню термінів окупності інвестицій, прогнозуванню грошових потоків та аналізу стійкості проєкту до коливань зовнішніх економічних факторів.

Таблиця 4.1

#### Фінансові показники

Характеристика	Значення
Вартість установки, грн	5 943 974
Вартість установки, \$	141 523
Ціна електроенергії, грн	9,57
Річне зниження споживання електроенергії, кВт-год	255 005
Експлуатаційні витрати, грн/рік	29 720
Річне зниження затрат на електроенергію, грн.	2 411 150
Простий термін окупності, років	2,5

Продовження табл. 4.1

Коефіцієнт дисконтування (реальна ставка)	3,13%
Дисконтований термін окупності, років	2,58
Внутрішня норма рентабельності	41%

В табл. 4.1 наведено основні техніко-економічні показники для сонячної електростанції потужністю 250 кВт. Загальна вартість реалізації проєкту становить 5 943 974 грн. Завдяки впровадженню ССЕ очікується щорічне зменшення споживання електроенергії на рівні 255 005 кВт·год, що забезпечує економію коштів у розмірі 2 411 150 грн на рік при тарифі 9,5 грн/кВт·год.

Простий термін окупності становить лише 2,5 роки, що свідчить про високу ефективність інвестицій. З урахуванням коефіцієнта дисконтування 3,13% дисконтований термін окупності становить 2,58 року. Внутрішня норма рентабельності (IRR) на рівні 37% підтверджує доцільність та інвестиційну привабливість проєкту.

Таким чином, впровадження ССЕ на 250 кВт є економічно виправданим рішенням, яке забезпечує як зниження витрат на електроенергію, так і швидке повернення вкладених коштів.

Таблиця 4.2

### Аналіз чутливості

Сценарій	Зменшення		Базовий	Збільшення	
	-30%	-15%	0%	15%	30%
<b>Аналіз чутливості інвестицій, млн грн</b>	<b>3,47</b>	<b>4,22</b>	<b>4,96</b>	<b>5,70</b>	<b>6,45</b>
Період окупності (PP), років	1,89	2,30	2,70	3,11	3,51
NPV, млн грн	23,54	22,80	22,05	21,31	20,56
IRR, %	53%	44%	37%	32%	28%
Дисконтований PP, років	1,98	2,42	2,87	3,32	3,78
<b>Аналіз чутливості економії, млн грн</b>	<b>1,30</b>	<b>1,58</b>	<b>1,86</b>	<b>2,14</b>	<b>2,42</b>
Період окупності (PP), років	3,88	3,18	2,70	2,34	2,07
NPV, млн грн	13,84	17,95	22,05	26,16	30,27
IRR, %	25%	31%	37%	43%	48%
Дисконтований PP, років	4,20	3,41	2,87	2,48	2,18
<b>Аналіз чутливості операційних витрат, млн грн</b>	<b>-17 360</b>	<b>-21 080</b>	<b>-24 800</b>	<b>-28 520</b>	<b>-32 240</b>
Період окупності (PP), років	2,69	2,69	2,70	2,71	2,71
NPV, млн грн	22,16	22,11	22,05	22,00	21,94

Продовження табл. 4.2

IRR, %	37%	37%	37%	37%	37%
Дисконтований PP, років	2,85	2,86	2,87	2,87	2,88
<b>Аналіз чутливості тарифу, грн</b>	<b>5,11</b>	<b>6,21</b>	<b>7,30</b>	<b>8,40</b>	<b>9,49</b>
Період окупності (PP), років	3,88	3,18	2,70	2,34	2,07
NPV, млн грн	13,84	17,95	22,05	26,16	30,27
IRR, %	25%	31%	37%	43%	48%
Дисконтований PP, років	4,20	3,41	2,87	2,48	2,18
<b>Аналіз чутливості ставки дисконтування</b>					
<b>Ставка дисконтування, %</b>	<b>0%</b>	<b>1%</b>	<b>3%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>
NPV, млн грн	31,77	28,18	23,33	17,93	10,68

У табл. 4.2 наведено результати аналізу чутливості ключових фінансово-економічних показників проєкту підвищення енергетичної ефективності спортивного комплексу НУБіП України. Аналіз проведено для п'яти сценаріїв — зменшення на 30% і 15%, базового значення (0%), збільшення на 15% і 30% відповідно — для таких параметрів: обсяг інвестицій, економія енергоресурсів, операційні витрати, тариф на енергоносії та ставка дисконтування.

Показано, як зміни кожного з цих факторів впливають на період окупності (PP), чисту теперішню вартість (NPV), внутрішню норму дохідності (IRR) та дисконтований період окупності (DPP). Зокрема, спостерігається, що:

- зі зростанням інвестицій NPV та IRR зменшуються, а період окупності збільшується;
- збільшення економії або тарифу позитивно впливає на NPV та IRR, скорочуючи терміни окупності;
- операційні витрати мають незначний вплив на фінансові показники, що свідчить про їхню стабільність у межах моделі;
- підвищення ставки дисконтування призводить до суттєвого зменшення NPV, що підтверджує чутливість інвестиційного проєкту до вартості капіталу.

Такий аналіз дозволяє оцінити стійкість проєкту до змін зовнішніх та внутрішніх умов, а також прийняти обґрунтоване рішення щодо його реалізації.

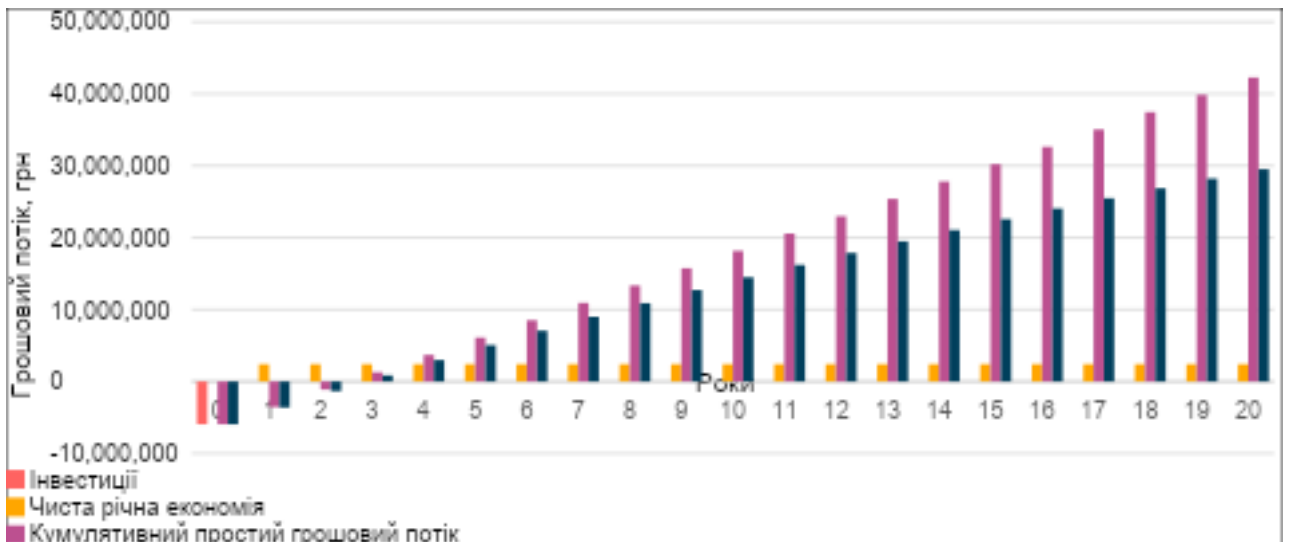


Рис. 4.1. Динаміка грошових потоків та економії в результаті впровадження СЕС

На рис. 4.1. зображено зміну чистої річної економії, інвестицій, а також кумулятивних (накопичених) простих і дисконтованих грошових потоків протягом 20 років реалізації проекту. Видно, що інвестиції повертаються приблизно на 3-му році, після чого проект починає приносити стабільний дохід. Кумулятивний дисконтований грошовий потік зростає повільніше за простий, що враховує часову вартість грошей. Графік підтверджує ефективність проекту в довгостроковій перспективі.

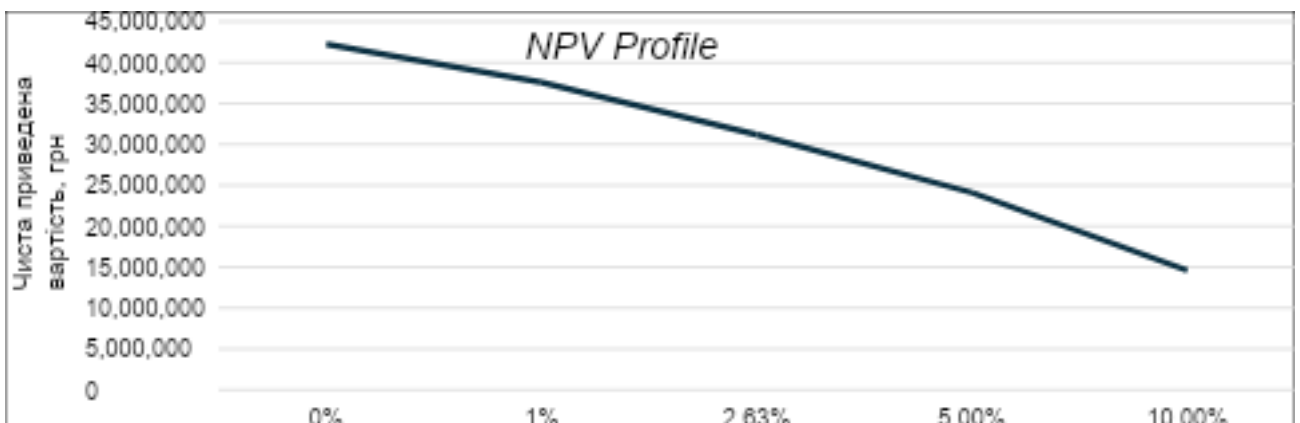


Рис. 4.2. Залежність NPV від ставки дисконтування (NPV Profile)

Графік на рис. 4.2 ілюструє профіль чистої приведеної вартості (NPV) проекту залежно від зміни ставки дисконтування. Видно, що зі збільшенням ставки дисконтування значення NPV поступово знижується, що відображає

зменшення привабливості інвестиційного проєкту при зростанні вартості капіталу. При нульовій ставці дисконтування NPV досягає максимуму — понад 42 млн грн, а при 10% — зменшується до приблизно 14,5 млн грн. Така динаміка підтверджує високу чутливість проєкту до зміни ставки дисконту.

Проведений економічний аналіз впровадження сонячної електростанції потужністю 250 кВт демонструє високу інвестиційну привабливість даного проєкту. Загальна вартість реалізації становить 5,94 млн грн, при цьому очікується щорічне зниження споживання електроенергії на 255 005 кВт·год, що забезпечує річну економію коштів у розмірі 2,44 млн грн при тарифі 9,57 грн/кВт·год. Простий термін окупності складає лише 2,5 роки, а дисконтований (при ставці 3,13%) – 2,58 року, що свідчить про швидке повернення інвестицій.

Аналіз чутливості проєкту підтверджує його стійкість до коливань ключових параметрів. При зміні інвестицій, економії енергоресурсів, операційних витрат і тарифів у діапазоні  $\pm 30\%$  проєкт зберігає свою привабливість. Найбільш чутливими показниками є економія енергоресурсів та тариф на електроенергію – їх збільшення на 30% підвищує IRR до 53% і скорочує дисконтований термін окупності до 1,98 року. Натомість операційні витрати мають незначний вплив на фінансові показники проєкту.

Динаміка грошових потоків демонструє, що після повернення інвестицій на третьому році проєкт забезпечує стабільний дохід протягом усього розрахункового періоду експлуатації (20 років). При цьому навіть при збільшенні ставки дисконтування до 10% проєкт зберігає позитивне значення NPV (1,58 млн грн), що свідчить про його високу рентабельність за різних економічних умов.

Таким чином, впровадження сонячної електростанції є економічно обґрунтованим заходом з підвищення енергоефективності спортивного комплексу НУБіП України, що забезпечує як суттєве зниження витрат на електроенергію, так і швидке повернення вкладених коштів з подальшим стабільним прибутком протягом усього терміну експлуатації.

Реалізація проєкту зі встановлення сонячної електростанції (СЕС) дозволяє скоротити викиди CO<sub>2</sub> на 133,88 тонн на рік. Це не лише позитивно впливає на довкілля, а й має суттєве економічне значення для багатьох суб'єктів господарювання.

Зокрема, зменшення обсягів викидів парникових газів прямо впливає на розмір екологічного податку, який сплачують підприємства за забруднення навколишнього середовища. Таким чином, впровадження СЕС може стати дієвим інструментом оптимізації витрат для компаній, установ і організацій, які підпадають під обов'язок сплати цього податку.

У випадку ж з університетом, як у даному проєкті, питання екоподатку не є актуальним, оскільки заклади вищої освіти, як правило, не є платниками екологічного податку через особливості своєї діяльності. Втім, такий підхід є надзвичайно важливим для аналогічних об'єктів — зокрема, для науково-дослідних інститутів, лабораторій, виробничих підприємств чи технопарків при університетах, які можуть мати джерела забруднення та бути платниками податку.

#### **Висновки до розділу 4**

Проведений техніко-економічний аналіз проєкту впровадження сонячної електростанції (СЕС) потужністю 250 кВт на базі спортивного комплексу НУБіП України свідчить про його високу ефективність та доцільність реалізації. Загальна вартість проєкту становить 5 943 974 грн (або \$141 523), при цьому очікується щорічне скорочення споживання електроенергії на 255 005 кВт·год. За діючим тарифом 9,57 грн/кВт·год це дозволяє досягти річної економії у 2 411 150 грн.

Простий термін окупності проєкту становить лише 2,5 роки, а дисконтований (з урахуванням ставки 3,13%) — 2,58 року. Внутрішня норма рентабельності (IRR) на рівні 37% підтверджує високу інвестиційну привабливість. Аналіз чутливості продемонстрував, що навіть при зміні

ключових параметрів на  $\pm 30\%$  (інвестицій, тарифу, економії, операційних витрат), проєкт зберігає позитивні значення NPV (від 13,84 до 30,27 млн грн) та IRR (від 25% до 48%).

Найбільш чутливими факторами для проєкту є тариф на електроенергію та обсяг зекономленої енергії. Наприклад, підвищення тарифу на 30% зменшує термін окупності до 2,07 року, а IRR зростає до 48%. Операційні витрати, які становлять 29 720 грн/рік, мають незначний вплив на загальні фінансові результати, що свідчить про стійкість моделі.

Графік грошових потоків показує, що проєкт починає приносити стабільний дохід вже з третього року реалізації, а кумулятивний дисконтований потік зростає протягом 20-річного циклу експлуатації. Навіть при підвищенні ставки дисконту до 10% чиста приведена вартість (NPV) залишається позитивною — 10,68 млн грн, що свідчить про збереження прибутковості.

Окрім фінансових переваг, впровадження СЕС дозволяє скоротити викиди CO<sub>2</sub> на 133,88 тонн щороку, що підвищує екологічну сталість об'єкта. Хоча університет не є платником екологічного податку, для промислових підприємств і технопарків така перевага може забезпечити додаткову економію коштів.

Таким чином, реалізація цього проєкту є раціональним кроком до підвищення енергоефективності та сталого розвитку, з швидким поверненням інвестицій і стабільним довгостроковим прибутком.

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Нормативно-правова база

Забезпечення безпечних умов праці під час реалізації проєкту з підвищення енергетичної ефективності та рівня теплового комфорту спортивного комплексу НУБІП України є пріоритетним завданням. У даному розділі розглядаються питання організації охорони праці, техніки безпеки, протипожежної безпеки та санітарно-гігієнічних умов при виконанні всього комплексу робіт, передбачених проєктом.

Керуючись законодавством України про охорону праці, нормативними документами та галузевими стандартами, проєкт передбачає комплексний підхід до безпеки виконання робіт з модернізації енергетичних систем спортивного комплексу.

Організація охорони праці при виконанні робіт з підвищення енергетичної ефективності спортивного комплексу базується на таких нормативно-правових актах:

Закон України "Про охорону праці"; Кодекс законів про працю України; ДБН А.3.2-2-2009 "Охорона праці і промислова безпека у будівництві"; НПАОП 0.00-1.71-13 "Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями"; НПАОП 40.1-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів"; ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування"; НПАОП 0.00-1.76-15 "Правила безпеки систем газопостачання"; ДБН В.1.1-7:2016 "Пожежна безпека об'єктів будівництва".

Відповідно до норм чинного законодавства України у сфері охорони праці, передбачається обов'язкове виконання технологічних, санітарно-гігієнічних, організаційних заходів для створення безпечних умов праці.

## 5.2 Організація охорони праці на об'єкті

**Відповідальні особи та організаційна структура:** для забезпечення належного рівня охорони праці на об'єкті під час реалізації проєкту з підвищення енергетичної ефективності спортивного комплексу НУБІП України призначаються наступні відповідальні особи:

Керівник проєкту – відповідає за загальну організацію робіт та дотримання норм охорони праці на об'єкті; Інженер з охорони праці – здійснює контроль за дотриманням вимог безпеки праці, проводить інструктажі, розробляє необхідну документацію; Виконавці робіт (прораби) – безпосередньо відповідають за безпечне виконання робіт на довірених їм ділянках, контролюють використання засобів індивідуального захисту; Електротехнічний персонал – відповідає за безпечне виконання електромонтажних робіт та дотримання правил електробезпеки; Бригадири монтажних бригад – відповідають за безпечне виконання монтажних робіт відповідно до проєктної документації.

Керівник проєкту призначає наказом усіх відповідальних осіб та визначає їх повноваження. Відповідальність за порушення вимог з охорони праці несуть особи, які допустили ці порушення, а також керівники робіт, які не забезпечили дотримання підлеглими вимог нормативних документів з охорони праці.

**Навчання та інструктажі персоналу:** перед початком робіт з реалізації проєкту все залучені працівники проходять:

Вступний інструктаж – проводиться інженером з охорони праці для всіх працівників при прийомі на роботу; Первинний інструктаж на робочому місці – проводиться безпосереднім керівником робіт перед початком робіт; Повторний інструктаж – проводиться не рідше одного разу на три місяці; Позаплановий інструктаж – проводиться у випадках змін у технологічному процесі, порушень працівниками вимог безпеки, за вимогою органів державного нагляду; Цільовий

інструктаж – проводиться при виконанні разових робіт, не пов'язаних з прямими обов'язками працівника.

Працівники, які виконують роботи підвищеної небезпеки (електрики, зварювальники, висотники), проходять спеціальне навчання та перевірку знань з питань охорони праці не рідше одного разу на рік.

### **5.3. Характеристика робіт та заходи безпеки**

На підготовчому етапі виконуються:

Огородження будівельного майданчика та встановлення попереджувальних знаків; Обладнання тимчасових побутових приміщень для робітників; Організація складських приміщень для зберігання матеріалів та обладнання; Прокладання тимчасових інженерних мереж (електропостачання, водопостачання); Монтаж засобів колективного захисту (захисні огороження, настили, козирки).

Для забезпечення безпеки під час підготовчих робіт необхідно:

Призначити відповідальних осіб за організацію та безпечне проведення робіт; Ознайомити працівників із проєктом виконання робіт та планом організації будівництва; Забезпечити працівників необхідними засобами індивідуального захисту; Перевірити справність інструментів та обладнання, що використовуються.

Демонтажні роботи включають:

Демонтаж застарілих елементів систем опалення та вентиляції; Демонтаж неефективних теплоізоляційних матеріалів; Розбирання частин конструкцій для модернізації інженерних систем; Видалення застарілого обладнання та комунікацій.

Заходи безпеки при демонтажних роботах:

Відключення всіх інженерних мереж та комунікацій від енергоджерел; Забезпечення стійкості конструкцій, що залишаються після демонтажу; Обов'язкове використання засобів індивідуального захисту (каска, захисні

окуляри, рукавиці, спецодяг); Виконання робіт у чіткій послідовності згідно з розробленим проектом виконання робіт; Організація безпечного видалення будівельного сміття; Виконання робіт досвідченими спеціалістами під наглядом виконавця робіт.

Монтажні роботи системи опалення та вентиляції включають:

Монтаж нової, енергоефективної системи опалення; Встановлення теплових насосів та автоматизованих теплових пунктів; Монтаж системи вентиляції з рекуперацією тепла; Встановлення терморегуляторів та балансувальної арматури; Прокладання трубопроводів та встановлення радіаторів опалення.

Заходи безпеки при монтажних роботах:

Перевірка справності інструментів та обладнання перед початком робіт; Використання атестованого та перевіреного монтажного обладнання; Забезпечення стійкості конструкцій під час монтажу; Заземлення електроінструменту та електрообладнання; Організація робочого місця з урахуванням впливу на працівників шкідливих та небезпечних виробничих факторів; Використання засобів індивідуального захисту відповідно до виду робіт.

Електромонтажні роботи: Монтаж нової електропроводки для енергоефективних систем; Встановлення інтелектуальних систем управління освітленням; Монтаж енергоефективних систем освітлення; Встановлення автоматизованих систем управління мікрокліматом; Підключення електрообладнання теплових пунктів та вентиляційних установок.

Заходи безпеки при електромонтажних роботах:

Допуск до роботи тільки працівників з відповідною кваліфікацією та групою з електробезпеки; Вимкнення напруги перед початком робіт та перевірка відсутності напруги; Встановлення попереджувальних знаків та плакатів безпеки; Використання діелектричних засобів захисту (килимки, рукавиці, інструменти з ізольованими ручками); Дотримання технології виконання робіт згідно з проектною документацією.

До робіт з утеплення зовнішніх конструкцій відносяться:

Монтаж зовнішньої теплоізоляції стін; Утеплення даху та перекриттів; Заміна вікон та дверей на енергоефективні; Встановлення сонцезахисних конструкцій.

Заходи безпеки при роботах на висоті:

Використання сертифікованих риштувань та підйомних механізмів; Застосування страхувальних систем при роботі на висоті більше 1,3 м; Огородження місць виконання робіт на висоті; Використання захисних касок, спеціального взуття з нековзкою підошвою; Заборона виконання робіт на висоті під час несприятливих погодних умов (сильний вітер, дощ, снігопад, ожеледиця); Організація безпечних проходів до робочих місць.

Пусконаладжувальні роботи включають:

Випробування системи опалення під тиском; Балансування системи опалення та вентиляції; Налаштування автоматики та систем керування; Тестування роботи всіх енергоефективних систем.

Заходи безпеки при пусконаладжувальних роботах:

Проведення робіт висококваліфікованими фахівцями; Попереднє ознайомлення з документацією на обладнання; Дотримання рекомендацій виробників обладнання; Використання засобів індивідуального захисту; Поетапне введення устаткування в експлуатацію.

#### **5.4. Забезпечення засобами індивідуального захисту**

Для безпечного виконання робіт з підвищення енергетичної ефективності спортивного комплексу працівники забезпечуються наступними засобами індивідуального захисту:

Загальні засоби індивідуального захисту для всіх працівників: захисна каска – для захисту голови від ударів та падіння предметів; Спецодяг відповідно до сезону та виду робіт; Спецвзуття з захисним підноском та протиковзкою підошвою; Захисні окуляри – для захисту очей від механічних пошкоджень та

пилу; Рукавиці або перчатки – для захисту рук від механічних пошкоджень;  
Респіратори – для захисту органів дихання від пилу.

Спеціальні засоби індивідуального захисту залежно від виду робіт: для електриків – діелектричні рукавиці, боти, килимки, інструменти з ізольованими ручками; Для зварювальників – щитки зварювальника, спеціальний вогнестійкий одяг, захисне взуття; Для робіт на висоті – страхувальні системи (пояси, стропи, карабіни); Для робіт з шумним обладнанням – протишумові навушники або беруші.

Видача, облік та контроль за використанням засобів індивідуального захисту здійснюється інженером з охорони праці та безпосередніми керівниками робіт.

### **5.5 Санітарно-побутове забезпечення працівників**

Для забезпечення належних санітарно-побутових умов на будівельному майданчику передбачається:

Облаштування тимчасових побутових приміщень з опаленням та вентиляцією; Встановлення біотуалетів в достатній кількості; Обладнання кімнат для прийому їжі та відпочинку; Забезпечення питною водою належної якості; Встановлення умивальників та душових кабін (за можливості); Забезпечення аптечками першої медичної допомоги в кожній бригаді та на об'єкті в цілому.

Керівник проєкту відповідає за створення належних санітарно-побутових умов для працівників. Контроль за дотриманням санітарно-гігієнічних норм здійснюється інженером з охорони праці.

### **5.6. Пожежна безпека**

**Організаційні заходи:** призначення відповідальних осіб за пожежну безпеку на об'єкті; Розробка та затвердження інструкцій про заходи пожежної

безпеки; Проведення інструктажів з питань пожежної безпеки; Розробка плану евакуації працівників у разі виникнення пожежі; Створення добровільної пожежної дружини з числа працівників.

**Технічні заходи:** оснащення будівельного майданчика первинними засобами пожежогасіння (вогнегасниками, пожежними щитами); Облаштування спеціальних місць для куріння, обладнаних засобами пожежогасіння; Забезпечення об'єкта відповідними попереджувальними знаками; Створення запасу води для гасіння пожежі; Забезпечення надійного заземлення електрообладнання; Використання негорючих матеріалів при виконанні робіт; Дотримання протипожежних розривів при складуванні матеріалів та розміщенні тимчасових споруд.

### **5.7 Охорона навколишнього середовища**

При виконанні робіт з підвищення енергетичної ефективності спортивного комплексу передбачаються наступні заходи щодо охорони навколишнього середовища:

Оптимізація транспортних процесів – мінімізація переміщень транспорту по території об'єкта; Застосування технологій та матеріалів, що не завдають шкоди навколишньому середовищу; Організація належного сортування та вивезення будівельних відходів; Запобігання забрудненню ґрунтових вод шляхом організації збору та очищення стічних вод; Запобігання забрудненню атмосферного повітря пилом – зволоження місць проведення робіт; Збереження зелених насаджень на території спортивного комплексу; Дотримання нормативних рівнів шуму при виконанні робіт.

### **Висновки до розділу 5**

Реалізація комплексу заходів з охорони праці, передбачених даним розділом, дозволить:

Забезпечити безпечні умови праці для всіх учасників проєкту з підвищення енергетичної ефективності спортивного комплексу НУБП України; Мінімізувати ризики виникнення нещасних випадків та професійних захворювань; Підвищити культуру виробництва та відповідальність виконавців робіт; Зменшити негативний вплив на навколишнє середовище; Створити основу для безпечної експлуатації оновленого енергоефективного об'єкта.

Особливу увагу рекомендується приділити:

Постійному контролю за дотриманням вимог охорони праці з боку керівників робіт та інженера з охорони праці; Якісному проведенню інструктажів та перевірці знань з питань охорони праці; Забезпеченню працівників повним комплектом необхідних засобів індивідуального захисту; Регулярному технічному обслуговуванню обладнання та інструментів; Чіткому дотриманню технологічних процесів та послідовності виконання робіт.

Виконання вимог та рекомендацій, викладених у даному розділі, забезпечить не лише безпечне виконання робіт з підвищення енергетичної ефективності спортивного комплексу НУБП України, а й стане запорукою стабільної та ефективної роботи всього енергетичного господарства спортивного комплексу після завершення проєкту.

## ВИСНОВКИ

Проведене комплексне дослідження з підвищення енергоефективності спортивного комплексу НУБіП України підтверджує актуальність та доцільність впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій у сучасних умовах зростання вартості енергоносіїв та необхідності забезпечення енергетичної незалежності. Особливої актуальності це набуває в умовах постійних російських атак на енергетичні об'єкти України, що спричиняють перебої в електропостачанні та введення графіків аварійних відключень.

Детальний теплотехнічний аналіз будівлі спортивного комплексу розмірами  $90,56 \times 36,56$  м з площею фасаду  $976 \text{ м}^2$  виявив основні шляхи тепловтрат. Найбільші втрати тепла припадають на горизонтальні огорожувальні конструкції: дах —  $114\,817 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік}$  (38%) та підлогу —  $86\,046 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік}$  (30%), що разом становить майже 70% від загального обсягу втрат. Це визначає пріоритетність термомодернізації саме цих конструкцій.

Прогнозоване енергоспоживання комплексу характеризується вираженою сезонною динамікою: максимальні витрати теплової енергії на опалення очікуються у січні ( $71,8 \text{ Гкал}$ ) і листопаді ( $30,2 \text{ Гкал}$ ), а найвищі обсяги електроспоживання — у грудні ( $11\,252 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ ). Для покриття теплового навантаження на рівні  $88,6 \text{ кВт}$  запроєктовано встановлення двох теплових насосів "вода-вода" IDEA Pro ISW-45H-SA0N1 потужністю по  $45 \text{ кВт}$  кожен.

Ключовим елементом підвищення енергоефективності стало проектування сонячної електростанції (СЕС) потужністю  $250,3 \text{ кВт}$  з  $455$  фотомодулів JA Solar по  $550 \text{ Вт}$  кожен.

Система PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) відіграла ключову роль у точному моделюванні енергетичної продуктивності запроєктованої сонячної електростанції. Використання 10-річної бази даних PVGIS (2013-2023) дозволило отримати достовірні прогнози генерації електроенергії з урахуванням реальних кліматичних умов України. Завдяки

аналізу метеорологічних даних, включаючи рівні сонячної інсоляції, температурні коливання та погодні умови, вдалося та спрогнозувати їх річну продуктивність фотомодулів на рівні 255 005 кВт·год, що стало основою для розрахунку економічної ефективності всього проєкту.

Для забезпечення автономної роботи розраховано потребу у загальній ємності акумуляторів 1400 А·год при стабільному споживанні 32 кВт·год на добу. Підібрано 14 батарей Pylontech US5000 по 5 кВт·год кожна та два інвертори Huawei SUN2000 по 100 кВт.

Техніко-економічний аналіз підтверджує високу ефективність інвестицій. При загальній вартості проєкту 5 943 974 грн (141 523 долари США) очікується щорічне скорочення споживання електроенергії на 255 005 кВт·год, що за діючим тарифом 9,57 грн/кВт·год забезпечує річну економію 2 411 150 грн.

Фінансові показники проєкту демонструють його високу привабливість: Простий термін окупності на рівні 2,5 років, дисконтований термін окупності: 2,58 року (при ставці 3,13%), внутрішня норма рентабельності (IRR): 37%, операційні витрати: 29 720 грн/рік

Аналіз чутливості показав стійкість проєкту навіть при зміні ключових параметрів на  $\pm 30\%$ : NPV залишається позитивним (від 13,84 до 30,27 млн грн), а IRR коливається від 25% до 48%. Найбільш чутливими факторами є тариф на електроенергію та обсяг заощадженої енергії.

Впровадження СЕС дозволяє досягти значного екологічного ефекту — скорочення викидів CO<sub>2</sub> на 133,88 тонн щороку. Це підвищує екологічну стійкість об'єкта та позитивний імідж університету, що може спростити вихід на зовнішні ринки та залучення міжнародних партнерів.

Досвід НУБіП України у впровадженні систем енергетичного моніторингу в навчальних корпусах демонструє позитивні результати у зменшенні перевитрат ресурсів та підвищенні загальної енергоефективності.

Реалізація проєкту забезпечує серед іншого енергетичну незалежність — можливість стати повністю або частково енергонезалежними, що особливо актуально в умовах воєнного стану та атак на енергетичну інфраструктуру України; фінансову стабільність — фіксацію собівартості електроенергії на тривалий термін (термін служби СЕС до 25 років), що дозволяє планувати бюджет та підвищує фінансову стійкість; масштабованість — можливість збільшення потужності системи та підключення нових функцій у будь-який момент, включаючи продаж надлишків "зеленої" електроенергії за системою Net billing; низькі експлуатаційні витрати — мінімальні витрати на обслуговування та ремонт, безшумна робота, зручна та проста експлуатація.

Комплексне дослідження підтверджує, що впровадження енергоефективних заходів у спортивному комплексі НУБіП України має значний потенціал як у технічному, так і в економічному та екологічному аспектах. Реалізація запропонованих рішень ще на етапі проєктування дозволяє суттєво зменшити подальші експлуатаційні витрати, знизити вплив на довкілля та забезпечити комфортні умови перебування.

Результати досліджень створюють основу для масштабування подібних проєктів на інших об'єктах університету та інших освітніх закладах України, враховуючи що понад 70% будівель освітніх закладів було побудовано до 1980 року за застарілими нормами енергоефективності.

Проєкт демонструє високий рівень енергетичної автономії, рентабельності та потенціал інтеграції відновлюваних джерел енергії в інфраструктуру освітніх закладів, створюючи передумови для сталого розвитку та енергетичної безпеки в умовах сучасних викликів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Pearce A. Sustainable Buildings and Infrastructure: Paths to the Future. Routledge, 2013.
2. Лисенко, Л. І., Козлова, І. Ю. Підвищення ефективності теплопостачання спортивного комплексу НТУ ХПІ. «Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність». 2013. №59. с. 92-100.
3. Atalay, A., Demir, S. Sports, Environment and Climate Change: the Carbon Footprint of Sports Facilities Based on Energy Consumption in Turkey. *Baltic Journal of Sport and Health Sciences*. 2024. № 2(133). <https://doi.org/10.33607/bjshs.v2i133.1545>
4. Katsaprakakis, D.A.; Papadakis, N.; Giannopoulou, E.; Yiannakoudakis, Y.; Zidianakis, G.; Katzagiannakis, G.; Dakanali, E.; Stavrakakis, G.M.; Kartalidis, A. Rational Use of Energy in Sport Centers to Achieving Net Zero—The SAVE Project (Part B: Indoor Sports Hall). *Energies*. 2023. № 16 (7308). <https://doi.org/10.3390/en16217308>
5. Karapidakis, E., Apostolakis, S., Vidakis, N. An approach of energy self-sufficiency at sports facilities. *Journal of Physics: Conference Series*. 2022. № 2339(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2339/1/012022>
6. Orynycz, O., & Tucki, K. Technology Management Leading to a Smart System Solution Assuring a Decrease of Energy Consumption in Recreational Facilities. *Energies*. 2020. № 13. <https://doi.org/10.3390/EN13133425>
7. Antypov, I., Kaplun, V., Mischenko, A., Shelimanova, O., Tarasenko, S., Tkachenko, V., & Borychenko, O. Assessment of the Impact of the Location of the Insulation Layer on the Humidity Regime and Heat Transfer Resistance of the External Building Envelope. *Systems, Decision and Control in Energy VI*. 2024. P. 279-318. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-67091-6\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-67091-6_13).

8. EPBD Recast: New provisions need sharpening to hit climate targets URL: <https://www.bpie.eu/publication/epbd-recast-new-provisions-need-sharpening-to-hit-climate-targets/>
9. Геннадій Зубко: Підписані енергоефективні закони дадуть мультиплікативний ефект для економіки URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/250154736>
10. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель»
11. СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ ВИЩОЇ ОСВІТИ В УКРАЇНІ на 2021–2031 роки / Міністерство освіти і науки України. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/rizne/2020/09/25/rozvitku-vishchoi-osviti-v-ukraini-02-10-2020.pdf>.
12. В.І. Дешко, О.М. Шевченко. Структурний аналіз енергоспоживання й енергозбереження в галузі освіти. «Наукові вісті». 2011. №6. с. 139-147
13. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. Гама-Принт, 2009. 217
14. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.
15. ДБН В.2.2-13-2003 "Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди"
16. ДСТУ ISO 50001:2020 "Системи енергетичного менеджменту"
17. Нове будівництво спорткомплексу. Національний університет біоресурсів і природокористування України: веб-сайт. URL: <https://nubip.edu.ua/node/95943> (дата звернення: 1.05.2025).
18. Будівництво нового спорткомплексу: роботи тривають за планом. Національний університет біоресурсів і природокористування України: веб-сайт. URL: <https://nubip.edu.ua/node/103895> (дата звернення: 1.05.2025).
19. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
20. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва
21. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення
22. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування
23. ДБН В.2.6-220~2017 Покриття будівель і споруд

24. ДБН В.2.6-33:2018 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією
25. ДБН В.1.2-11:2021 Енергозбереження та Енергоефективність
26. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячому водопостачанні
27. ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015 Енергетична ефективність будівель. Настанова з проведення енергетичної оцінки будівель
28. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожеж. Будівельна кліматологія
29. ДСТУ Б В.2.2-19:2007 Будинки і споруди. Метод визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій в натурних умовах
30. ДСТУ Н Б В.2.2-27:2010 Будинки і споруди. Настанова з розрахунку інсоляції об'єктів цивільного призначення
31. ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Будинки і споруди. Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель
32. ДСТУ Б В.2.6-17-2000 (ГОСТ 26602.1-99) Конструкції будинків і споруд. Блоки віконні та дверні. Методи визначення опору теплопередачі
33. ДСТУ Б В.2.6-34-2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні вимоги
34. ДСТУ Б В.2.6-35-2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустриальними елементами з вентиляльованим прошарком. Загальні технічні умови
35. ДСТУ- Н Б В.2.6-190:2013 Настанова з розрахункової оцінки показників теплостійкості та тепло засвоєння огорожувальних конструкцій
36. ДСТУ- Н Б В.2.6-191:2013 Настанова з розрахункової оцінки повітропроникності огорожувальних конструкцій
37. ДСТУ- Н Б В.2.6-192:2013 Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій

38. ДСТУ Б В.2.7-182-2009 Будівельні матеріали Методи визначення терміну ефективної експлуатації та теплопровідності будівельних ізоляційних матеріалів у розрахункових та стандартних умовах
39. ДСТУ Б В.2.7-276-2011 Матеріали полімерні рулонні і плиткові для підлог. Метод визначення показника тепло засвоєння (ГОСТ 25609-83, MOD)
40. ДСТУ Б EN 15217:2013 Енергетична ефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та енергетичної сертифікації будівель (EN 15217:2007, IDT)
41. ДСТУ Б EN 15459:2014 Енергетична ефективність будівель. Процедура енергетичної оцінки систем будівель (EN 15459:2007, IDT)
42. ДСТУ Б EN 15603:2013 Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2007, IDT)
43. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження (EN ISO 13790:2008, IDT)
44. Каталог фасадних виробів ISOVER
45. ДСТУ Б EN 15459:2014 Енергетична ефективність будівель. Процедура енергетичної оцінки систем будівель (EN 15459:2007, IDT)
46. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 27 жовтня 2020 року № 260 «Про затвердження мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель», зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 18 грудня 2020 р. за № 1257/35540
47. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 27 жовтня 2020 року № 261 «Про затвердження Змін до Методики визначення енергетичної ефективності будівель», зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 17 грудня 2020 р. за № 1254/35537