

Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“ ____ ” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої

освіти

на тему

**Проведення енергетичних обстежень та розроблення наукових
рекомендацій щодо енергозаощадження в спортивному басейні**

**Conducting energy surveys and developing scientific
recommendations for energy saving in a sports pool**

Виконав здобувачка вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕНМ-23Мз
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Олена БАЙДА
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи
к.т.н., доцент
_____Іван САВЕЛЕНКО
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Центр заочної та дистанційної освіти

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плешков П.Г.

«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Байда Олени Олександрівни

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Проведення енергетичних обстежень та розроблення наукових рекомендацій щодо енергозаощадження в спортивному басейні
Conducting energy surveys and developing scientific recommendations for energy saving in a sports pool

2. Керівник роботи (проекту) Савеленко Іван Валодимирович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 10.12.2024 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Метою роботи є проведення комплексного енергетичного обстеження спортивного басейну для виявлення нераціонального споживання енергії та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо впровадження заходів енергозаощадження, які забезпечать підвищення енергоефективності об'єкта та зменшення витрат на енергоресурси; охорона праці.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н, доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ.</i>	<i>10.10.24</i>	
2	<i>Аналіз стану енергозаощадження в спортивних об'єктах</i>	<i>17.10.24</i>	
3	<i>Проведення енергетичного обстеження спортивного басейну</i>	<i>22.10.24</i>	
4	<i>Наукові рекомендації щодо енергозаощадження</i>	<i>28.11.24</i>	
5	<i>Оцінка ефективності запропонованих рішень</i>	<i>30.11.24</i>	
6	<i>Охорона праці</i>	<i>3.12.24</i>	
7	<i>Оформлення пояснювальної записки та презентації роботи</i>	<i>10.12.24</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2024 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2024 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Байда О. Проведення енергетичних обстежень та розроблення наукових рекомендацій щодо енергозаощадження в спортивному басейні

Conducting energy surveys and developing scientific recommendations for energy saving in a sports pool

Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - ОПП «Енергетичний менеджмент». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м. Кропивницький, 2024 р.

Магістерська робота присвячена проведенню енергетичних обстежень спортивного басейну та розробленню наукових рекомендацій щодо підвищення енергоефективності його роботи. Основна увага приділяється визначенню ключових енергоємних компонентів, таких як системи опалення, вентиляції, підігріву води, освітлення та допоміжне обладнання, з метою оптимізації їх експлуатації.

У рамках дослідження виконано аналіз сучасного стану енергоспоживання спортивних об'єктів, зокрема басейнів, які демонструють значні втрати енергії через недостатню теплоізоляцію, відсутність рекупераційних систем у вентиляції та застаріле обладнання. Виявлено, що системи опалення та вентиляції складають близько 50–60% загальних витрат енергії, а застосування рекуператорів із ККД до 85% може скоротити ці втрати на 30–40%. Підігрів води є другим за значущістю компонентом енергоспоживання, що займає до 40% загального балансу

Отримані результати мають практичне значення для оптимізації роботи басейнів різних типів. Запропоновані науково обґрунтовані рекомендації дозволяють значно зменшити витрати енергії, забезпечити економічну ефективність та екологічну сталість спортивних об'єктів.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ, МОНІТОРИНГ, ЕНЕРГООЩАДНІ ЗАХОДИ.

ABSTRACT

BAYDA O. Conducting energy surveys and developing scientific recommendations for energy saving in a sports pool

Проведення енергетичних обстежень та розроблення наукових рекомендацій щодо енергозаощадження в спортивному басейні

Specialty 141 - "Electric Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics" - Educational Program "Energy Management" - Central Ukrainian National Technical University - Kropyvnytskyi, 2024.

The master's thesis is dedicated to conducting energy audits of a sports swimming pool and developing scientific recommendations to improve its energy efficiency. The main focus is on identifying key energy-intensive components, such as heating systems, ventilation, water heating, lighting, and auxiliary equipment, to optimize their operation.

The study includes an analysis of the current state of energy consumption in sports facilities, particularly swimming pools, which exhibit significant energy losses due to insufficient thermal insulation, the absence of heat recovery systems in ventilation, and outdated equipment. It was found that heating and ventilation systems account for approximately 50–60% of total energy consumption, and the use of heat recovery systems with an efficiency of up to 85% can reduce these losses by 30–40%. Water heating is the second most significant component, accounting for up to 40% of the overall energy balance.

The results obtained have practical significance for optimizing the operation of swimming pools of various types. The proposed scientifically substantiated recommendations enable a significant reduction in energy consumption, ensuring economic efficiency and environmental sustainability for sports facilities.

ENERGY EFFICIENCY, ENERGY AUDIT, MONITORING, ENERGY-SAVING MEASURES.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1. АНАЛІЗ СТАНУ ЕНЕРГОЗАОЩАДЖЕННЯ В СПОРТИВНИХ ОБ'ЄКТАХ.....	12
1.1. Енергоспоживання в спортивних басейнах.....	13
1.2. Основні технологічні процеси, що впливають на енергоспоживання	15
1.3. Огляд сучасних технологій енергозаощадження в басейнах	17
1.4. Проблеми та виклики у впровадженні енергоефективних заходів.....	18
Висновки до розділу	21
2. ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ СПОРТИВНОГО БАСЕЙНУ	22
2.1. Характеристика спортивного басейну	22
2.2. Аналіз енергоспоживання басейну за основними напрямками	23
2.3. Загальний опис будівлі Спортивний басейн	26
2.4. Конструктивні особливості будівлі.....	29
2.4.1. Зовнішні стіни	29
2.4.2. Характеристика світлопрозорих конструкцій.....	31
2.4.5. Вхідні двері	34
2.4.6. Дах	37
2.4.5. Підлога	40
2.4.6. Цокольний поверх.....	41
2.5. Характеристика інженерних систем.....	43
2.5.1. Опалення	43
2.5.2. Постачання гарячої води	46
2.5.3. Система вентиляції	47
2.5.4. Електроспоживання	52
Висновки до розділу	55
3. НАУКОВІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЕНЕРГОЗАОЩАДЖЕННЯ	56
3.1. Утеплення суміщеного перекриття даху	56
3.2. Заміна віконних склопакетів на енергоефективні з більшим опором теплопередачі.....	59
3.3. Утеплення зовнішніх стін.....	61
3.4. Гідроізолювання зовнішніх стін приміщення плавального басейну зсередини пенетруючою сумішшю	65

3.3. Встановлення осушувачів-рекуператорів для утилізації вологи та теплової енергії з відпрацьованого повітря в приміщенні басейну.....	67
3.6. Гідроізолювання поверхні басейну пароізолюючою плівкою для зменшення випаровування з поверхні басейну та охолодження води	71
3.7. Реконструкція переливної системи басейну	75
3.8. Встановлення теплової завіси на входному тамбурі.....	78
3.9. Встановлення систем сонячних колекторів для первинного підігріву води для ГВП	83
3.10. Встановлення теплонасосних установок для утилізації теплової енергії каналізаційних стоків.....	85
Висновки до розділу	88
4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ	89
4.1. Економічний аналіз впровадження енергоефективних технологій	89
4.2. Розрахунок зменшення викидів CO ₂ та екологічних переваг	91
Висновки до розділу	94
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	96
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	98
ДОДАТКИ.....	100
Додаток А.....	101
ОХОРОНА ПРАЦІ	101
А.1 Заходи по охороні праці та техніки безпеки	101
А.2. Розрахунок заземлення	104

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АСКОЕ – автоматизована система контролю і обліку електроенергії

AIBC - автоматизована інформаційно-вимірювальна система

ЕСКО – енергозберігаюча компанія, яка проводить інвестицію під ключ, повністю організовуючи всю схему руху грошових коштів

НКРЕ – Національна комісія регулювання електроенергетики

ПЕР – паливо-енергетичні ресурси

ПІ – початкові інвестиції

СЕМ – системи енергетичного менеджменту

ЧПВ - чиста поточна вартість

ВСТУП

В умовах сучасної енергетичної кризи та постійного зростання вартості енергоресурсів питання енергозаощадження стає одним із пріоритетних напрямів розвитку для всіх галузей економіки, зокрема у сфері спортивних об'єктів. Спортивні басейни, як об'єкти з високою інтенсивністю споживання енергії, особливо потребують комплексного підходу до оптимізації енергетичних процесів.

Експлуатація басейнів вимагає значних витрат на підігрів і очищення води, вентиляцію, освітлення та підтримання комфортних кліматичних умов. Водночас, через застарілі технології, неефективні системи теплопостачання і вентиляції, а також недостатній контроль за енергоспоживанням, у більшості спортивних об'єктів спостерігаються значні втрати енергії.

Застосування сучасних методів енергетичних обстежень дозволяє виявити основні проблемні ділянки, які спричиняють перевитрати енергії, та розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо їх усунення. Це сприятиме підвищенню енергоефективності басейнів, зменшенню витрат на їх утримання та зниженню екологічного навантаження завдяки скороченню викидів парникових газів.

Особливого значення набуває впровадження сучасних енергозберігаючих технологій та відновлюваних джерел енергії. Такі рішення, як використання сонячних колекторів, теплових насосів, високоефективних систем вентиляції та рекуперації, дозволяють не лише економити енергію, але й забезпечують довготривалий позитивний ефект для експлуатації об'єкта.

Метою роботи є проведення комплексного енергетичного обстеження спортивного басейну для виявлення нераціонального споживання енергії та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо впровадження

заходів енергозаощадження, які забезпечать підвищення енергоефективності об'єкта та зменшення витрат на енергоресурси.

1. Провести аналіз сучасних підходів до енергетичних обстежень спортивних об'єктів, зокрема басейнів, та визначити основні джерела енергетичних втрат.

2. Здійснити оцінку існуючих систем теплопостачання, вентиляції, освітлення та інших енергоспоживаючих систем басейну.

3. Виявити основні проблеми та вузькі місця у роботі систем енергопостачання басейну, що спричиняють надмірне споживання енергії.

4. Провести енергетичний аудит басейну із застосуванням сучасних методів інструментальних вимірювань і програмного моделювання.

5. Розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо впровадження енергоефективних заходів, зокрема використання відновлюваних джерел енергії та сучасних технологій енергозаощадження.

6. Оцінити економічну ефективність впровадження запропонованих заходів енергозаощадження для спортивного басейну.

7. Надати практичні рекомендації щодо впровадження результатів дослідження у діяльність спортивних об'єктів.

Об'єктом дослідження виступає система енергоспоживання спортивного басейну, яка включає теплопостачання, водопостачання, вентиляцію, освітлення, обладнання для підігріву та циркуляції води, а також інші елементи.

Предмет дослідження - процеси енергоспоживання, енергетичні втрати та можливості підвищення енергоефективності шляхом впровадження заходів енергозаощадження в спортивному басейні.

Методи дослідження: аналіз енергоспоживання з використанням методів статистичної обробки даних для оцінки витрат енергії у системах теплопостачання, вентиляції, водопостачання та освітлення; застосування інструментальних методів вимірювання температури, витрат енергії,

вологості повітря, ефективності роботи обладнання; побудова моделей теплових і енергетичних процесів для оцінки можливих шляхів оптимізації; вивчення альтернативних енергоефективних технологій та обладнання.

Наукова новизна роботи:

Розроблено методологію оцінки енергетичних втрат у спортивних басейнах з урахуванням їхньої специфіки (розмір, температурний режим, рівень вологості).

Запропоновано науково обґрунтовані рекомендації для зниження енергоспоживання шляхом інтеграції сучасних технологій енергозбереження, таких як рекуперація тепла, використання енергоефективного обладнання та систем автоматизації.

Розроблено модель оптимізації роботи систем теплопостачання, вентиляції та водопостачання для спортивних басейнів, що враховує сезонні коливання та режими експлуатації.

Практичне значення роботи

Впровадження розроблених рекомендацій дозволить значно знизити енергетичні витрати спортивного басейну, що зменшить експлуатаційні витрати та підвищить економічну ефективність його функціонування.

Отримані результати можуть бути використані для модернізації енергоспоживчих систем у спортивних басейнах, а також при проектуванні нових енергоефективних об'єктів.

Запропоновані підходи до енергозаощадження сприятимуть зниженню негативного впливу на довкілля шляхом зменшення споживання енергоресурсів і викидів парникових газів.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ЕНЕРГОЗАОЩАДЖЕННЯ В СПОРТИВНИХ ОБ'ЄКТАХ

Енергозаощадження в спортивних об'єктах, зокрема у басейнах, є ключовим завданням для забезпечення їх економічної ефективності та екологічної сталості. Басейни є енергоємними об'єктами, оскільки вони потребують значних ресурсів для підігріву води, підтримання температури повітря, освітлення та роботи допоміжного обладнання. Аналіз енергоспоживання таких об'єктів виявляє низку системних проблем, які потребують технічного вирішення.

Системи опалення й вентиляції у спортивних басейнах споживають до 50–60% загальної енергії об'єкта. Часто використовуються застарілі котли з низьким ККД (70–80%), що значно збільшує витрати на опалення. Відсутність систем рекуперації тепла в вентиляційних установках призводить до втрат теплової енергії, які можуть сягати 30–40%.

Для зменшення цих втрат доцільно використовувати сучасні вентиляційні установки з рекуперацією тепла, які забезпечують ефективність рекуперації до 85%. Іншим важливим заходом є застосування теплових насосів з коефіцієнтом перетворення (COP) у межах 3,5–5, що дозволяє знизити енергоспоживання систем опалення.

Освітлення займає близько 10–15% від загального енергоспоживання басейну. У більшості об'єктів ще використовуються традиційні лампи розжарювання або люмінесцентні світильники з ефективністю 50–70 лм/Вт. Заміна таких систем на світлодіодні (LED) лампи з ефективністю понад 130 лм/Вт дозволяє зменшити витрати на освітлення до 60%. Додатково впровадження систем автоматичного управління освітленням (датчики руху, димери) може знизити споживання електроенергії ще на 20–30%.

Підігрів води є найбільш енергоємним процесом, що становить до 40% витрат енергії. Застарілі бойлери мають ККД не більше 70%, що значно підвищує витрати. Впровадження сонячних колекторів для нагріву води дозволяє покривати до 50% потреб у теплі влітку. Додатково застосування теплоізоляції трубопроводів знижує втрати тепла на 10–15%.

Температура води в басейнах зазвичай підтримується на рівні 26–28°C, що вимагає енергії у кількості 30–35 кВт·год на кожний м³ води. Встановлення енергоефективних циркуляційних насосів з інверторним управлінням може зменшити енергоспоживання на 15–20%.

Недостатня теплоізоляція огорожувальних конструкцій спричиняє втрати тепла, які становлять 25–30% загального енергоспоживання. Використання сучасних матеріалів для ізоляції з теплопровідністю менше 0,04 Вт/(м·К), таких як пінополістирол або мінеральна вата, дозволяє зменшити ці втрати до 10–15%.

Багато спортивних об'єктів не мають систем моніторингу енергоспоживання. Встановлення систем енергоменеджменту дозволяє в реальному часі аналізувати енергоспоживання та виявляти неефективні ділянки. Наприклад, сучасні SCADA-системи з функцією аналізу енергетичних потоків дозволяють знизити витрати на енергію до 10%.

1.1. Енергоспоживання в спортивних басейнах

Спортивні басейни є енергоємними об'єктами, які характеризуються високим рівнем споживання енергії для підтримання стабільного мікроклімату, підігріву води, освітлення та забезпечення роботи допоміжних систем. Аналіз структури енергоспоживання цих об'єктів дозволяє виділити

основні компоненти: системи опалення та вентиляції, підігрів води, освітлення та електричні системи.

Опалення і вентиляція є найбільшими споживачами енергії у спортивних басейнах, їхній внесок у загальне енергоспоживання становить близько 50–60%. Температурні режими води і повітря мають суттєвий вплив на комфорт відвідувачів, тому для стандартних басейнів температура води підтримується в діапазоні 26–28°C, а температура повітря – на 1–2°C вища, ніж температура води. Для забезпечення цих умов використовуються теплогенератори, середній ККД яких для застарілих моделей становить 70–80%.

Високі тепловтрати відбуваються через неефективну вентиляцію. У типових системах вентиляції без рекуперації тепла втрати можуть досягати 40%. Використання систем із рекуператорами, які забезпечують ефективність теплообміну до 85%, дозволяє суттєво зменшити витрати енергії. Наприклад, у басейні площею 500 м² система рекуперації може знизити споживання тепла на 100–120 МВт·год на рік.

Підігрів води займає до 40% загальних витрат енергії у басейні. Для стандартного басейну з об'ємом води 1000 м³ підігрів до температури 26–28°C вимагає близько 35 кВт·год на кожний м³ води. Втрати тепла від випаровування значні, особливо за відсутності покриттів на поверхні води. Встановлення теплових насосів з коефіцієнтом перетворення (COP) 4,5 може знизити витрати на підігрів на 20–25%.

Сонячні колектори є ефективним рішенням для нагріву води. У літній період вони можуть забезпечувати до 50% потреб у тепловій енергії. Наприклад, для басейну з площею водного дзеркала 400 м² застосування сонячних колекторів з продуктивністю 0,6 кВт·год/м² дозволяє генерувати до 240 кВт·год тепла на день.

Освітлення складає 10–15% від загального енергоспоживання. Типові освітлювальні системи на основі люмінесцентних ламп мають ефективність

50–70 лм/Вт. Заміна їх на світлодіодні лампи, які забезпечують 130–150 лм/Вт, дозволяє знизити енергоспоживання на 60%. Для басейну площею 500 м² така модернізація може зменшити витрати на електроенергію на 15–20 МВт·год на рік. Додатково автоматизація систем освітлення (використання датчиків руху та освітленості) дозволяє знизити витрати ще на 10–15%.

Допоміжні електричні системи, включаючи циркуляційні насоси, системи автоматизації та інше обладнання, споживають близько 10–15% від загального обсягу енергії. Сучасні насоси з інверторним управлінням споживають на 15–20% менше енергії порівняно зі стандартними моделями. Для об'єктів із щоденним обсягом циркуляції води 500 м³ це дозволяє заощадити до 10–12 МВт·год на рік.

Огороджувальні конструкції басейну часто мають недостатню теплоізоляцію, що спричиняє втрати тепла до 25–30%. Використання сучасних ізоляційних матеріалів, таких як пінополіуретан або мінеральна вата, дозволяє знизити ці втрати до 10%. Утеплення стін, покрівлі та підлоги може забезпечити економію енергії до 15–20%.

1.2. Основні технологічні процеси, що впливають на енергоспоживання

У контексті енергетичного менеджменту спортивних басейнів варто розглянути комплекс взаємопов'язаних технологічних процесів, що формують загальне енергоспоживання об'єкту.

Основним споживачем енергії є система підігріву води басейну. Для підтримки комфортної температури води (26–28°C) використовуються теплообмінники потужністю 200–400 кВт для олімпійського басейну (50х25 м). Тепловтрати через поверхню води становлять 120–200 Вт/м², що для стандартного басейну складає близько 150–300 кВт·год на добу.

Система вентиляції та осушення повітря є другим за значимістю споживачем. При температурі повітря 27-29°C та відносній вологості 50-60% система потребує 250-350 кВт·год електроенергії на добу для басейну олімпійського розміру. Важливим аспектом є підтримка перепаду температур між водою та повітрям не більше 1-2°C для запобігання надмірному випаровуванню.

Система водопідготовки та фільтрації споживає 80-120 кВт·год на добу, забезпечуючи 4-6 кратний обмін води протягом доби. Циркуляційні насоси потужністю 15-25 кВт працюють цілодобово для підтримки належної якості води.

Система освітлення басейну, залежно від типу світильників, споживає 30-50 кВт·год при використанні LED-технологій та до 100-150 кВт·год при використанні традиційних джерел світла. Нормативна освітленість поверхні води має становити 300-500 лк.

Допоміжні системи, включаючи автоматику, системи дозування реагентів та контрольно-вимірювальні прилади, споживають додатково 20-30 кВт·год на добу.

Загальне енергоспоживання типового спортивного басейну олімпійського розміру складає 500-800 кВт·год на добу, з яких близько 45% припадає на підігрів води, 30% на вентиляцію та осушення, 15% на водопідготовку, та 10% на освітлення та допоміжні системи. Питоме енергоспоживання становить 0,8-1,2 кВт·год на кубічний метр води басейну на добу.

Впровадження теплових насосів, рекуператорів теплоти, частотних перетворювачів для насосів та автоматизованих систем управління, дозволяють знизити енергоспоживання на 30-40% порівняно з традиційними рішеннями. Використання покриттів басейну в неробочі години зменшує тепловтрати через випаровування на 50-70%.

1.3. Огляд сучасних технологій енергозаощадження в басейнах

Сучасні технології енергозаощадження в спортивних басейнах представляють комплексний підхід до оптимізації енергоспоживання через впровадження інноваційних рішень у різних технологічних системах об'єкту.

Теплові насоси типу "вода-вода" з високим коефіцієнтом перетворення (COP 4,5-6,0) забезпечують ефективний підігрів води басейну. При встановленні теплового насоса потужністю 300 кВт можна отримати до 1500 кВт теплової енергії, витрачаючи лише 250-300 кВт·год електроенергії на добу. Інтеграція з геотермальними зондами збільшує COP системи до 6,5-7,0 у оптимальних умовах.

Системи рекуперації теплоти вентиляційних викидів з ефективністю 85-92% дозволяють повертати до 200-250 кВт·год теплової енергії на добу. Застосування роторних рекуператорів з вологообміном додатково зменшує навантаження на систему осушення повітря на 30-40%. Мембранні осушувачі повітря з питомим енергоспоживанням 0,3-0,4 кВт·год на літр конденсату забезпечують енергоефективне видалення надлишкової вологи.

Впровадження частотного регулювання циркуляційних насосів знижує їх енергоспоживання на 40-50%. При зменшенні частоти обертання на 20% споживана потужність знижується на 50-60%, що особливо ефективно в періоди низького завантаження басейну. Інтелектуальні системи керування насосами оптимізують їх роботу залежно від реального водообміну, забезпечуючи економію 30-40 кВт·год на добу.

Автоматизована система управління мікрокліматом з предиктивними алгоритмами забезпечує оптимальний режим роботи обладнання. Використання датчиків CO₂, температури та вологості у поєднанні з погодозалежною автоматикою дозволяє знизити енергоспоживання системи вентиляції на 25-35%.

LED-освітлення з світловою віддачею 120-150 лм/Вт та системою динамічного керування забезпечує економію 60-70% електроенергії порівняно з металогалогенними лампами. Додаткове використання датчиків присутності та природного освітлення знижує споживання енергії системою освітлення ще на 15-20%.

Ізотермічні покриття басейну з коефіцієнтом теплопровідності 0,04-0,06 Вт/(м·К) знижують тепловтрати через випаровування на 50-70% у неробочі години. При площі дзеркала води 1250 м² це дозволяє заощадити 100-150 кВт·год теплової енергії на добу.

Системи утилізації теплоти стічних вод з пластинчатими теплообмінниками дозволяють повернути 30-40% теплової енергії, що втрачається при спуску води. При добовому водообміні 250-300 м³ це забезпечує економію 50-70 кВт·год теплової енергії.

Впровадження комплексу енергоощадних технологій дозволяє знизити загальне енергоспоживання спортивного басейну на 40-50%. Термін окупності таких заходів, залежно від тарифів на енергоносії, становить 3-5 років. Найбільший потенціал економії демонструють теплові насоси (30-35% від загальної економії), системи рекуперації (20-25%) та автоматизовані системи управління (15-20%).

1.4. Проблеми та виклики у впровадженні енергоефективних заходів

При впровадженні енергоефективних заходів у спортивних басейнах виникає комплекс технічних, економічних та організаційних викликів, що потребують системного підходу до їх вирішення.

Технічні обмеження існуючих будівель часто ускладнюють модернізацію інженерних систем. Встановлення сучасного вентиляційного обладнання з рекуперацією потребує значного простору для повітроводів (площею перерізу 0,8-1,2 м²), що часто відсутній у старих будівлях. Монтаж теплових насосів вимагає додаткової площі 40-60 м² для розміщення обладнання та накопичувальних баків.

Проблема гідравлічного балансування системи водопідготовки виникає при модернізації насосного обладнання. Заміна насосів на енергоефективні з частотним регулюванням може призвести до порушення режимів фільтрації через зміну гідравлічних характеристик. Перепад тиску на фільтрах має підтримуватися в межах 0,5-0,7 бар, що вимагає точного налаштування системи.

Корозійна активність хлорованої води (рН 7,2-7,6) створює підвищені вимоги до матеріалів теплообмінників та трубопроводів. Використання титанових теплообмінників збільшує капітальні витрати на 40-60% порівняно з нержавіючою сталлю, проте забезпечує термін служби 15-20 років замість 5-7 років.

Інтеграція різних систем автоматизації становить серйозний виклик. Системи керування вентиляцією, водопідготовкою та тепловими насосами часто використовують різні протоколи зв'язку, що ускладнює створення єдиної системи управління. Вартість інтеграції може складати 15-25% від загальної вартості автоматизації.

Економічні виклики пов'язані з високими початковими інвестиціями. Вартість комплексної модернізації басейну олімпійського розміру становить 800-1200 тис. євро. При цьому термін окупності окремих заходів може значно відрізнятись: 2-3 роки для LED-освітлення, 4-5 років для теплових насосів, 6-8 років для систем рекуперації теплоти.

Експлуатаційні виклики включають необхідність підвищення кваліфікації персоналу. Сучасні системи автоматизації вимагають

спеціальних знань з програмування та налаштування обладнання. Витрати на навчання персоналу можуть складати 3-5% від вартості обладнання.

Проблема надійності енергопостачання стає критичною при використанні теплових насосів. Необхідність резервного джерела теплової енергії збільшує капітальні витрати на 20-30%. Оптимальним рішенням є збереження існуючих газових котлів як резервного джерела з потужністю 50-60% від розрахункової.

Сезонні коливання навантаження створюють проблему ефективного використання обладнання. Влітку потужність систем вентиляції та осушення має бути на 40-50% вище, ніж взимку, що призводить до неоптимальних режимів роботи в міжсезоння.

Екологічні виклики пов'язані з використанням холодоагентів у теплових насосах. Перехід на нові типи холодоагентів з низьким потенціалом глобального потепління ($GWP < 150$) може знизити ефективність системи на 5-10% та збільшити її вартість на 15-20%.

Вирішення цих проблем вимагає комплексного підходу, включаючи детальне проектування, економічне обґрунтування, підготовку персоналу та впровадження сучасних систем моніторингу та верифікації досягнутої економії енергоресурсів.

Висновки до розділу

Аналіз стану енергозаощадження в спортивних об'єктах, зокрема в басейнах, показав, що основними джерелами енергоспоживання є системи обігріву води, вентиляції, освітлення та допоміжне обладнання.

Визначено, що значні енергетичні витрати пов'язані з недосконалою теплоізоляцією та відсутністю ефективних систем рекуперації тепла. Водночас, існує значний потенціал для зниження витрат енергії шляхом впровадження сучасних технологій енергозаощадження, таких як інноваційні системи теплоізоляції, енергозберігаючі освітлювальні технології та автоматизовані системи керування енергоспоживанням.

Основними проблемами є високі витрати на модернізацію та недостатня нормативно-правова база для впровадження енергоефективних заходів. Однак, з урахуванням значного економічного та екологічного потенціалу таких заходів, впровадження енергоефективних технологій у спортивних об'єктах є важливим кроком до зниження енергоспоживання та підвищення економічної ефективності їх функціонування.

2. ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ СПОРТИВНОГО БАСЕЙНУ

2.1. Характеристика спортивного басейну

Об'єкт перебуває на балансі Кіровоградської обласної ради.

Спортивний басейн побудована в 1975 році і займає територію у 8,4 га (102 м x 82 м). Графік роботи закладу – сім днів на тиждень з 6.00 до 20.00 год, у неділю – до 12.100.

Фрагменти фасаду будівлі спортивний басейн зображено на рис. 2.1.



а



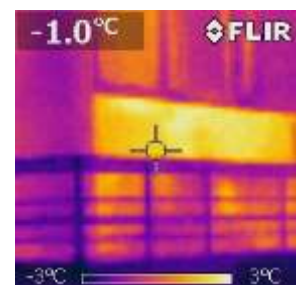
б



в



г



д

Рисунок 2.1. Фрагменти фасаду спортивний басейн: а – з північного сходу (центральный вхід); б - з південного заходу; в – зі сходу, г – з півдня; д - термограма мокрої стіни з боку басейну

2.2. Аналіз енергоспоживання басейну за основними напрямками

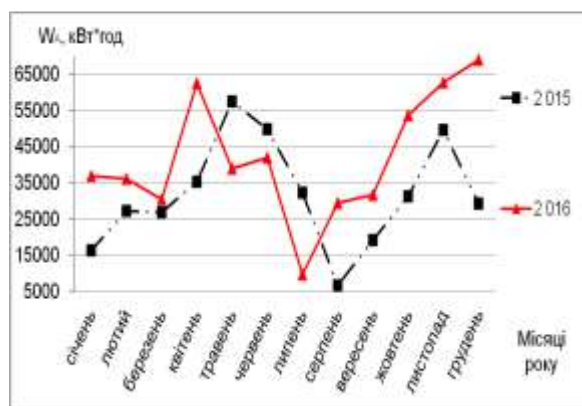
Основними енергетичними ресурсами, які споживають, є: вода, електрична та теплова енергія (для опалення приміщень та ГВП).

В табл. 2.1 наведено перелік організацій, які надають послуги з енергопостачання Спортивний басейн.

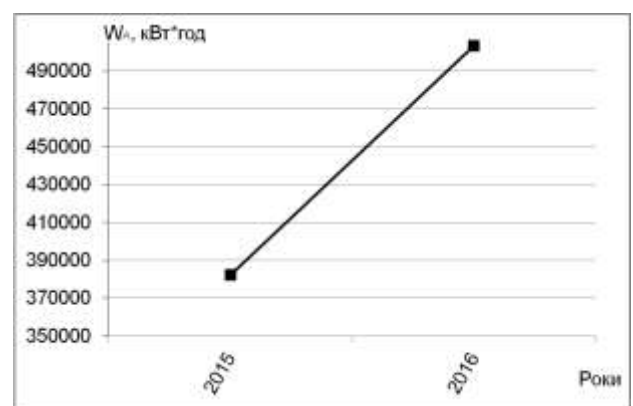
Таблиця 2.1. Найменування організацій, які надають послуги з енергопостачання

<i>Сервісні контракти з експлуатації і обслуговування</i>	<i>Відповідальна компанія/особа</i>
Теплова енергія	КП "Теплоенергетик" Кіровоградська ТЕЦ
Електроенергія	ПрАТ «Кіровоградобленерго»
Водопостачання та водовідведення	ОКВП «Дніпро-Кіровоград»

На рис. 2.2.1- 2.2.4 наведена динаміка споживання електроенергії, води та теплової енергії впродовж останніх років.



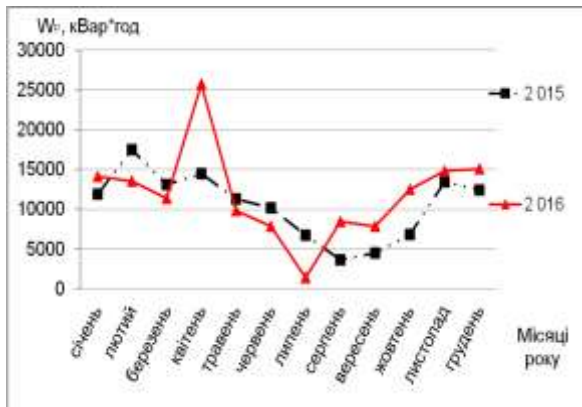
а



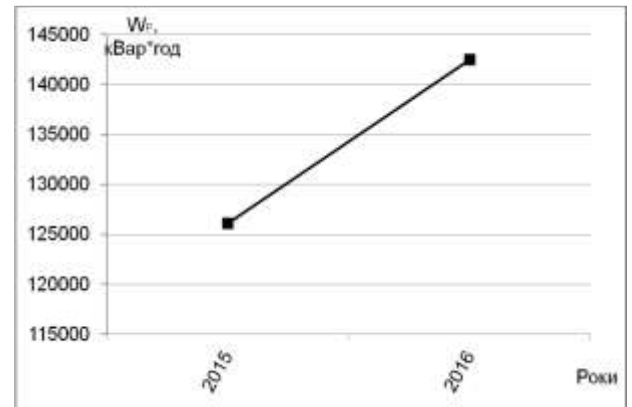
б

Рисунок 2.2.1. Динаміка споживання активної електричної енергії:

а – за місяцями; б – за роками



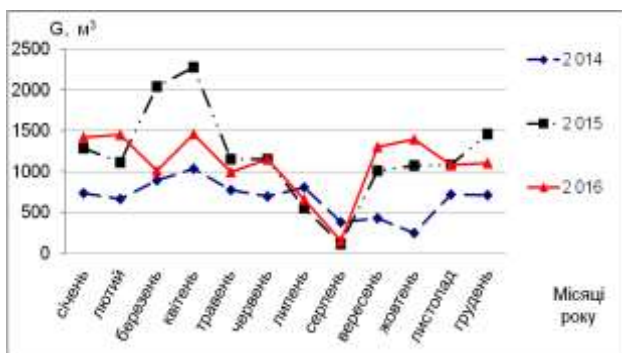
а



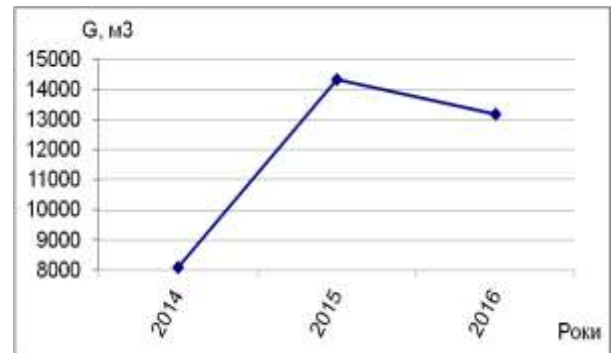
б

Рисунок 2.2.2. Динаміка споживання реактивної електричної енергії:

а – за місяцями; б – за роками



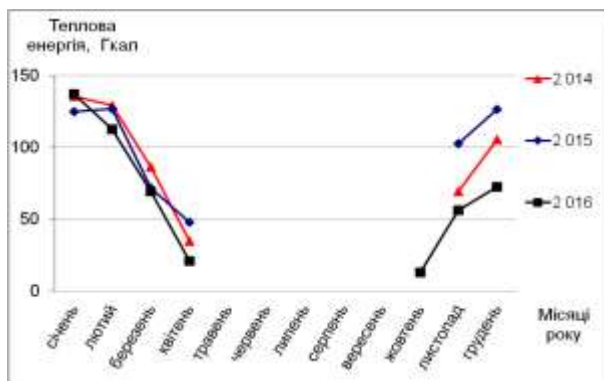
а



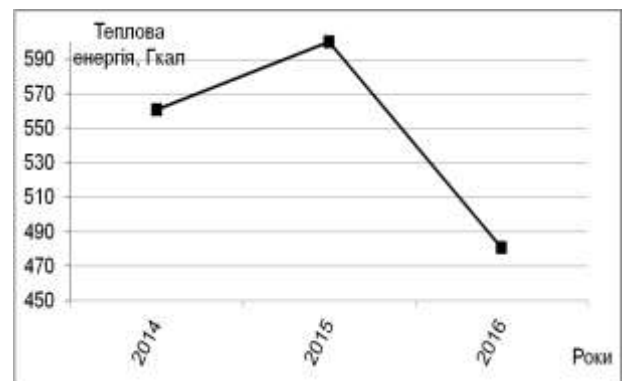
б

Рисунок 2.2.3 Динаміка споживання води:

а – за місяцями; б – за роками



а)



б)

Рисунок 2.2.4. Динаміка споживання теплової енергії:

а – за місяцями; б – за роками

На рис 2.2.5 наведено співвідношення вартості спожитих енергоресурсів.

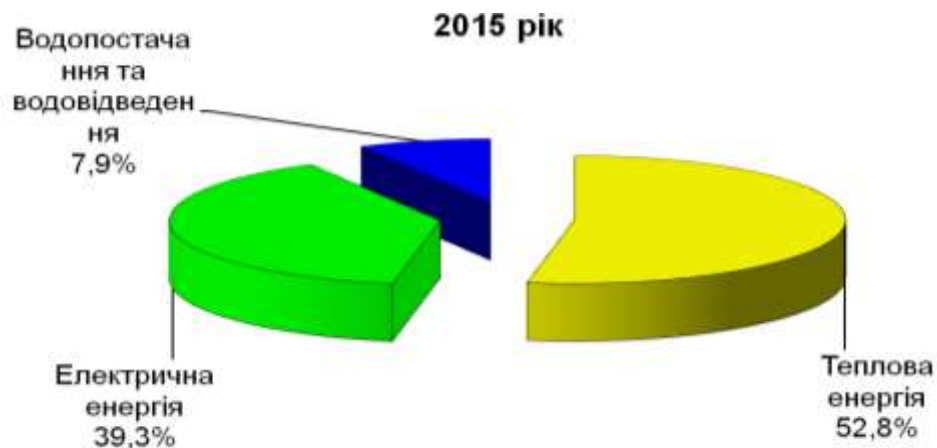


Рисунок 2.2.5. Співвідношення вартості спожитих енергоресурсів спортивним басейном: теплової енергії – 915821 грн (52,8 %), електричної енергії – 680982 грн (39,3%) та водопостачання та водовідведення – 137470 грн (7,9 %)

Як видно із діаграми, найбільше коштів (понад 50 %) витрачають на закупівлю теплової енергії, тому з фінансової точки зору, основний потенціал заощадження – у сфері використання теплової енергії. Отже, насамперед необхідно зосередити увагу на заходах, що зменшують споживання теплової енергії.

2.3. Загальний опис будівлі Спортивний басейн

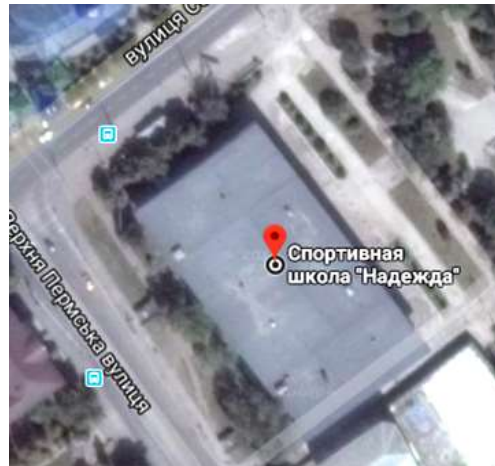
Корпус Спортивний басейн побудований у 1975 році. На час проведення енергетичного аудиту середня кількість відвідувачів басейну становить 325 осіб на добу. Кількість обслуговуючого персоналу – 110,5 осіб.

Загальні дані щодо будівлі Спортивний басейн наведено в табл. 2.3.1.

Таблиця 2.3.1. Загальні дані щодо будівлі корпусу

Рік забудови	1975 р.	Кількість поверхів	2 та цокольний поверх
Площа забудови (основи), $S_{\text{заб}}, \text{м}^2$	3672	Площа опалювальна $S_{\text{опал}}, \text{м}^2$	5339
Площа приміщень (корисна) $S_{\text{прим}}, \text{м}^2$	4787	Об'єм опалювальний, $V_{\text{опал}}, \text{м}^3$	32114
Розрахункова площа, $S_{\text{розр}}, \text{м}^2$	4575	Чиста висота приміщень $h_{\text{прим}}, \text{м}$	від 2,5 м у холі 1-го поверху до (6,8 -7) м у спортивних залах та басейні
Загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку, м^2	9736		

На рис. 2.3.1 зображено план забудови корпусу Спортивний басейн.



Пн
↑
Пд

Рисунок 2.3.1. План забудови корпусу Спортивний басейн – фотознімок із супутника (вид згори)

Спортивний басейн містить приміщення: басейну (рис. 2.3.2 а), 4-х спортзалів – великий (рис. 2.3.2 б), малий (рис. 2.3.2 в), сухого плавання (рис. 2.3.2 г), тренувальний (рис. 2.3.2 д), холи на трьох поверхах (рис. 2.3.2 е-з), технічні приміщення цокольного поверху (рис. 2.3.2 і, к).



а



б



В



Г



Д



е



Ж



З



і



к

Рисунок 2.3.2. Зовнішній вигляд приміщень: басейну (а), 4-х спортзалів – великого (б), малого (в), сухого плавання (г), тренувального (д), холів на трьох поверхах (е, ж, з), технічні приміщення цокольного поверху (і, к).

2.4. Конструктивні особливості будівлі

Основними конструктивними елементами зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі є: стіни, вікна, двері, дах, підлога. З метою визначення теплоізолюючих властивостей конструктивних елементів виконують розрахунковий аналіз фактичного опору теплопередачі та теплових втрат через огорожуючі конструкції відповідно ДБН В 2.6-31:2006 «Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель».

2.4.1. Зовнішні стіни

На рисунку 2.4.1 представлено фото фрагменту фасаду будівлі.

Стіни будівлі на час проведення енергетичного аудиту перебувають у незадовільному стані - виявлено значну зволоженість цегли та руйнування фасаду з боку басейну (див. рис. 2.4.1 в).

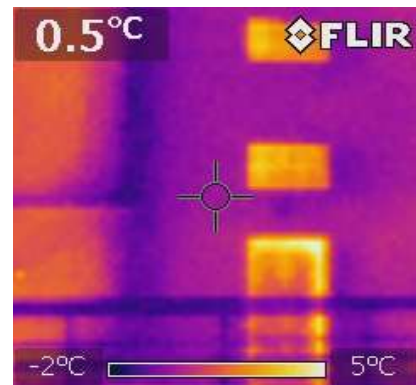
Площа стін та їхня характеристика наведені в таблиці 2.4.1.

Таблиця 2.4.1. Характеристики зовнішніх стін

Загальна площа зовнішніх стін, м ²	2946
Площа зовнішніх стін за винятком площ вікон та дверей	1278
Опір теплопередачі стін ($R_{\text{стін}}$, м ² ·К/Вт)	0,78
Конструкція стіни	Червона глиняна цегла завтовшки 420 мм, зсередини – цементно-піщана штукатурка (10 мм), ззовні - цементна стяжка (шуба) (20 мм)
Додаткова теплоізоляція	Декоративні плити з природного каменю (граніту) на цокольному поверсі (25 см)



а



б



в



г

Рисунок 2.4.1. Фрагменти фасаду будівлі (а, в, г) та термограма (б) для стіни (а)

Значення опору теплопередачі стін $R_{\text{стін}} = 0,78 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ (див. дод. Г) є значно меншим за мінімально допустиме $R_{\text{стін min}} = 2,64 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, встановлене ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель та енергоефективність будівель».

Підвищені теплові втрати обумовлені значною зволоженістю огорожуючих конструкцій та високою адсорбційною здатністю червоної цегли (див. рис. 2.4.1).

2.4.2. Характеристика світлопрозорих конструкцій

Загальна площа вікон будівлі складає $S_{\text{вік}} = 1608 \text{ м}^2$ (з них однокамерних пластикових $S_{\text{в пвх(1)}} = 261,98 \text{ м}^2$, двокамерних пластикових $S_{\text{в пвх(2)}} = 1344,8 \text{ м}^2$, склоблоків $S_{\text{в скл б}} = 0,92 \text{ м}^2$), що становить 55% від загальної площі фасаду (див. дод. Г). Отже будівля має великий коефіцієнт скління фасаду:

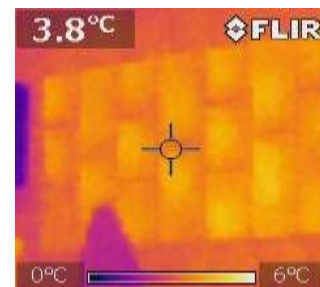
$$k_C = S_{\text{вік}} / S_{\Sigma} = 1698 / 2922 = 0,55,$$

тобто, на 1 м^2 площі огорожувальних конструкцій припадає близько $0,55 \text{ м}^2$ вікон.

Оскільки, зазвичай, великий k_C призводить до підвищених теплових втрат, їх зменшення можна досягти за рахунок збільшення опору теплопередачі.



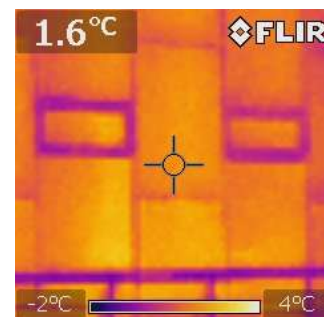
а



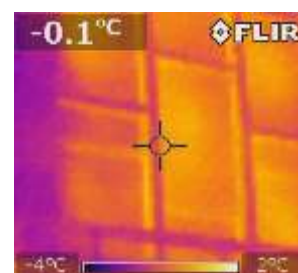
б



в



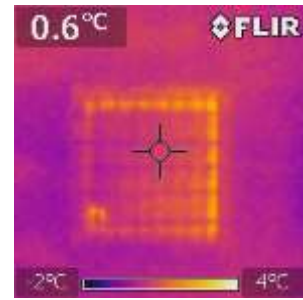
г



Д



е



Ж



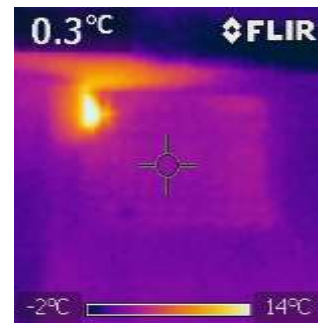
З



И



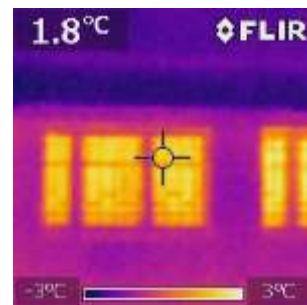
К



Л



М

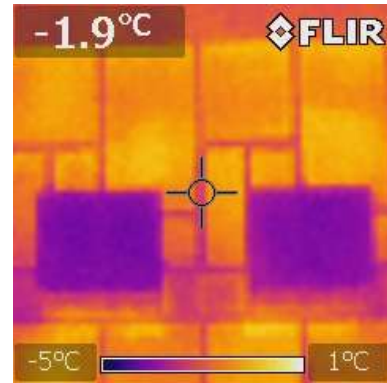


Н

О



п



р

Рисунок 2.4.2. Зовнішній вигляд металопластикових вікон (а, в, д, ж, і, л, н, п) будівлі та їх термограми (б, г, е, з, о, м, р)

На тепер у будівлі всі вікна замінено на металопластикові. Проте, встановлені металопластикові 1- й 2-камерні вікна (рис. 2.4.5 а, б) не є достатньо енергоефективними, оскільки їх опір теплопередачі становить: для однокамерних ПВХ вікон $R_{в\text{ ПВХ}1} = 0,32 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, для двокамерних ПВХ вікон $R_{в\text{ ПВХ}2} = 0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, для склоблоків $R_{в\text{ скл } б} = 0,53 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Зведений опір теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій будівлю $R_{\Sigma\text{ прВ}} = 0,42 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ (розрахунок див. у дод. Г), що майже вдвічі менший за мінімально допустимий $R_{\text{вікон min}} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ і не відповідає вимогам ДБН 2.6-31.



а



б

Рисунок 2.4.5. Металопластикові склопакети вікон будівлі: а – вікно 1-

камерне; б – вікно 2-камерне

Термограми на рис. 2.4.2 виявляють підвищені понаднормативні теплові втрати через енергонеефективні вікна; виявлено також підвищені теплові втрати через нещільності вікон рис. 2.4.2 з.

Отже, через склопакети втрачається значна кількість теплової енергії, тому необхідно покращити теплоізолюючі властивості склопакетів.

2.4.5. Вхідні двері

На рис. 2.4.5 показано зовнішній вигляд дверей будівлі, загальною площею $S_{\text{д}} = 36 \text{ м}^2$. У будівлі встановлено металопластикові двері на головному вході (рис. 2.4.5 а) з тамбуром (рис. 2.4.5 б) та металеві (рис. 2.4.5 г-ж) й дерев'яні (з) вхідні двері без додаткової теплоізоляції. Опір теплопередачі ПВХ дверей становив $R_{\text{дв пвх}} = 0,61 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, дерев'яних $R_{\text{дв д}} = 0,381 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, металевих $R_{\text{дв м}} = 0,158 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$



а



б



В



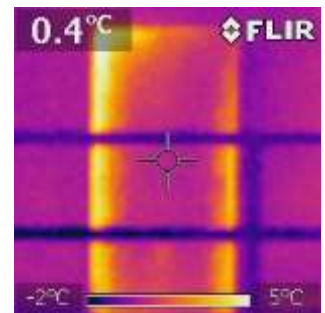
Г



Д



Е



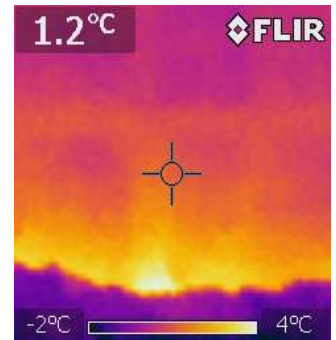
Ж



З



І



К

Рисунок 2.4.2. Зовнішній вигляд входних дверей будівлі: а, б - тамбуровані металопластикові двері головного входу; в – двері на 2-му поверсі; г, д, е, з – металеві двері запасного виходу; і – дерев'яні двері аварійного виходу та їх термограми (ж, к)



Рисунок 2.4.5. Двостулкові двері аварійного виходу:

а, б, в – у великій спортзалі, г, д, е, ж – у залі сухого плавання (е – щілини, задуті піною, в, ж - термограми підтверджують підвищені теплові втрати)

Термограми на рис. 2.4.5 – 2.4.5 підтверджують наявність понаднормативних теплових втрат через енергонеефективні металопластикові двері, які обумовлені значною зволоженістю повітря в приміщенні; виявлено також підвищені теплові втрати через нещільності, які зсередини задуті піною (рис. 2.4.5 е).

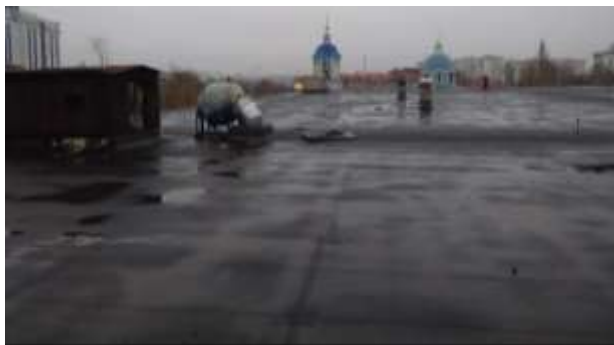
Існуючі входні металопластикові, металеві та дерев'яні двері не відповідають вимогам ДБН 2.6-31, оскільки зведений опір теплопередачі таких дверей становить $R_{\text{вх.дверейД}} = 0,28 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, що є меншим за мінімально допустиме $R_{\text{вх. дверей min}} = 0,48 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Опір теплопередачі металевих дверей

становить $0,158 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, що істотно менше допустимого $R_{\text{вх. дверей min}} = 0,52 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

2.4.6. Дах

Дахове суміщене покриття будівлі Спортивний басейн пласке (рис.2.4.7). Крівля виконана із залізобетонного перекриття, утеплювача (керамзиту) з цементною стяжкою та вкрита шаром руберойду. Передбачена під час будівництва будівлі теплова ізоляція крівлі не поновлювалась, утеплювач з часом втратив свої номінальні параметри.

Загальна площа перекриття холодного горища $F_{\text{ПК}} = 3407 \text{ м}^2$.



а



б

Рисунок 2.4.7. Зовнішній вигляд даху Спортивний басейн:

а – дах вкритий шаром руберойду; б – виходи системи вентиляції на даху



а



б



в

Рисунок 2.4.8. Вихід на дах: а – вигляд виходу ззовні; б, в – вихід зсередини горища

За проектом будівлі над басейном та спортзалами зроблено негерметичну фальш-стелю з вмонтованими світильниками (рис. 2.4.9 а) та містками (рис. 2.4.9 б) для пересування обслуговуючого персоналу.

Горище над спортивною залом частково вкрите шаром мінеральної вати завтовшки 50 мм (рис. 2.4.9 б). Проте, утеплюючий шар мінівати не захищений знизу пароізоляцією, а гідроізоляція зверху порушена під час обслуговування світильників (рис. 2.4.9 а); це призводить до замокання вати від конденсованої під дахом води (рис. 2.4.10), появи плісняви й грибка.



а



б



в



г



д

Рисунок 2.4.9. Горище з містками та фальш-стелею, утепленою мінеральною ватою

Горищне перекриття має шари: залізобетонна П-подібна плита 35 мм, цементно-піщана стяжка - 50 мм, гравійна посипка (керамзиту) – 100 мм,

руберойд – 20 мм.

Горищне перекриття має низку суттєвих недоліків. Зокрема, тепле повітря, насичене вологою на рівні 95% через недостатню герметичність фальш-стелі, піднімається на горище й конденсується на внутрішніх поверхнях холодних стін, перекритті та інших конструктивних елементах горища (рис. 2.4.9 б). Конденсат, що утворюється, стікає по стінах, проникаючи через щілини в капітальні стіни та перекриття, що сприяє зволоженню стін і стель. Це призводить до значних теплових втрат і сприяє утворенню плісняви, цвілі, грибка та корозії (рис. 2.4.10 а, б), що з часом може викликати руйнування конструкцій.

Отже, стан горища на час проведення енергетичного аудиту є незадовільним.



а



б



в



г



д



е

Рисунок 2.4.10. Конденсована під дахом волога, іржа, руйнування конструкцій

2.4.5. Підлога

У більшості приміщень структура підлоги складається із залізобетонної плити, шару щебню – 100 мм та стяжки 100 мм. Підлога вкрита цементом (рис. 2.4.11а), ПВХ плиткою (рис. 2.4.11б), дошкою (рис. 2.4.11в), керамічною плиткою (рис. 2.4.11г).



а



б



в



г

Рисунок 2.4.11. Покриття підлоги: а – цемент, б – ПВХ плитка, в - дошки, г - керамічна плитка

2.4.6. Цокольний поверх

Тепломагістраль до закладу прокладена в каналах (рис. 2.4.12) під асфальтним покриттям на глибині 1 - 1,5 м. Візуальний огляд проводився в місцях розташування теплових каналів, колодязів, в місцях введів рис. 2.4.13 та в підвальних приміщеннях цокольного поверху (рис. 2.3.2 і, к).



а



б

Рисунок 2.4.12. Трубопровід теплової мережі: а - лоток з трубами прокладений у каналах, б - труби уражені іржею

В технічному підвалі цокольного поверху розміщено тепловий пункт та інженерні системи, а саме – розведення трубопроводів системи опалення, гарячого та холодного водопостачання, а також системи водовідведення.

Трубопровід теплової мережі внаслідок тривалої експлуатації (понад 40 років) є зношеним (рис. 2.4.13).





Рисунок 2.4.13. Трубопроводи систем опалення,
гарячого та холодного водопостачання

Підвальне перекриття складають: залізобетонна плита 220 мм, цементно-піщана стяжка - 80 мм, плити з природного каменю (граніт) - 25 мм.

Існуюче значення опору теплопередачі перекриття над корпусом $R_{\text{підлоги}} = 0,37 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ є на порядок меншим за мінімально допустиме значення опору теплопередачі покриття неопалювального підвалу $R_{\text{підлоги min}} = 3,96 \times 0,8 \times (20 - 5) \times (20 - (-22)) = 1,07 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ відповідно до ДБН В.2.6-31:2021.

Теплоізоляція системи опалення пошкоджена, місцями труби зовсім не ізольовані (рис. 2.4.13).

Наявність відкритих ділянок трубопроводу призводить до підвищених теплових втрат в системі опалення. За рахунок тепловиділення з поверхні трубопроводів системи опалення і баків ГВП, середня температура в техпідпіллі за опалювальний період становить $+22 \dots +26^\circ\text{C}$ (натомість у холі 1-го поверху – $16-17^\circ\text{C}$).

Тому, необхідно зазначити, що стан теплової ізоляції труб не відповідає нормам.

2.5. Характеристика інженерних систем

2.5.1. Опалення

Експериментально-приладна перевірка підтвердила, що в тепловому пункті на подачі з котельні температура теплоносія становила 67°C , а на виході з теплообмінника 39°C , на зворотному трубопроводі – 46°C . Теплообмінник встановлено в 2016 р. без магістральних фільтрів, тому протягом 1 опалювального сезону теплообмінник забруднився. Тепловізійна зйомка дозволила виявити ділянки забруднення в теплообміннику (рис. 2.5.1 в). та повітряні корки в системі опалення (рис. 2.5.2 і, к, м), які утворюються внаслідок інтенсивних витоків теплоносія в прихованій частині трубопроводу теплової мережі.

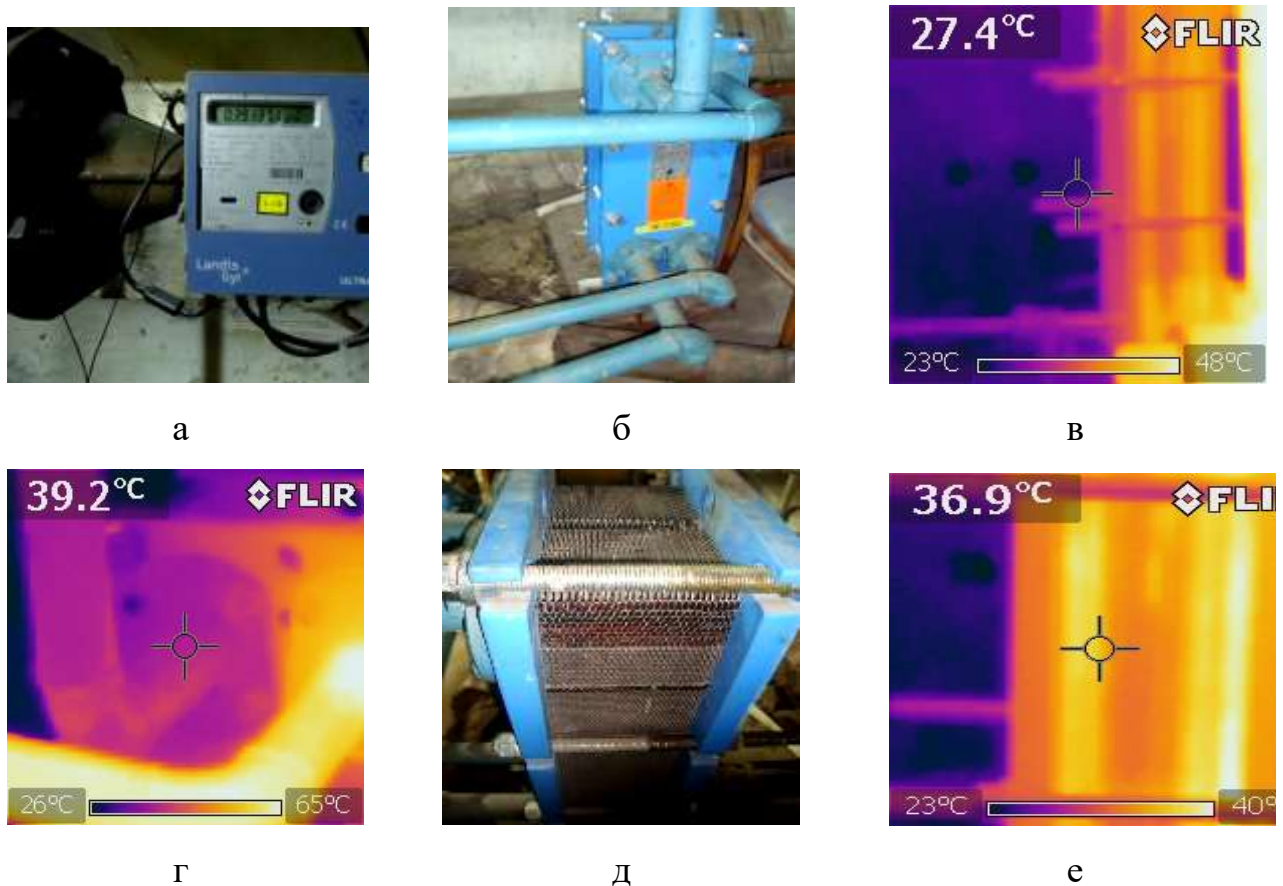


Рисунок 2.5.1. Трубопроводи опалення:

а – лічильник теплової енергії; б, д – теплообмінник системи опалення;
в, г, е - тепловізійна зйомка забруднення в теплообміннику

За даними власника та вимірювань температура каналізаційних стоків становить 25°C, швидкість руху стоків – 0,04 м/с, діаметр труби 100 мм, що дозволяє використовувати тепловий насос.

Проект опалення виконаний на розрахункову температуру зовнішнього повітря $t_{z.o.} = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Система опалення прийнята двотрубна, трубопроводи змонтовано зі сталевих труб, прокладка стояків – частково закрыта, частково відкрита вздовж стін будівлі. Заходи з балансування розподільчої системи не здійснювались.



а



б



в



г



д



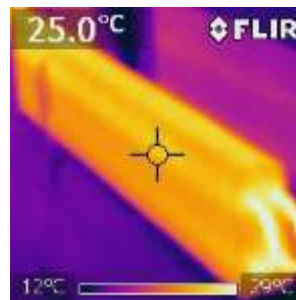
е



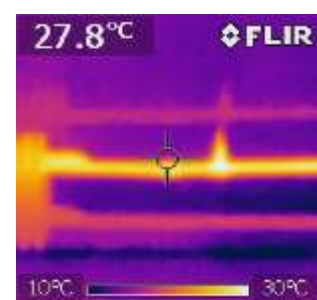
ж



з



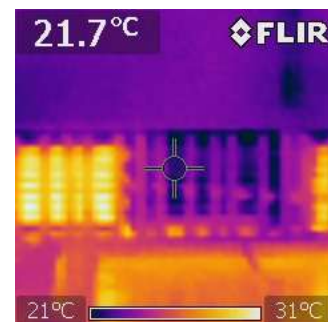
і



к



л



м

Рисунок 2.5.2. Прилади опалення будівлі (а, б); в, г, д – в коробах; е – в нішах, ж – калорифер; з, л – непрацюючі прилади опалення та їх термограми (і, к, м)

Переважна частина опалювальних приладів, що встановлені в будівлі – сталеві (рис. 2.5.2 е) та чавунні радіатори (рис. 2.5.2 з).

Тепловізійна зйомка дозволила виявити певні ділянки забруднення та повітряні корки в системі опалення (рис. 2.5.2 к), виявити ділянки забруднення (рис. 2.5.2 м), які утворюються внаслідок інтенсивних витоків

теплоносія в прихованій частині трубопроводу теплової мережі.

Проблеми в системі опалення обумовлюють наступні чинники:

- 1) ускладнена циркуляції теплоносія внаслідок забруднення елементів системи опалення та повітряних корків;
- 2) розташування радіаторів в нішах перешкоджає конвекційному теплообміну;
- 3) відсутність можливості регулювання тепловіддачі нагрівальних приладів.

Термограми системи опалення будівлі (забруднення в батареї перешкоджає циркуляції теплоносія)

Отже, система опалення перебуває в аварійному стані через засмічення теплообмінника опалення та наявності витоків теплоносія в прихованій частині трубопроводу теплової мережі.

2.5.2. Постачання гарячої води

Передбачено приготування гарячої води в тепловому пункті спортивного басейну з використанням теплообмінника, де холодну воду з водогону ОКВП „Дніпро-Кіровоград” нагрівають від температури $+11^{\circ}\text{C}$ до $+35...40^{\circ}\text{C}$. За необхідності воду догрівають у 4-х електробойлерах об'ємом по 500 л кожен (рис. 2.5.3 в) та баку 5 м^3 (рис. 2.5.3 г, д) до 70°C . Теплообмінник ГВП (рис. 2.5.3 а, б) встановлено без магістральних фільтрів.

Водні процедури здійснюють з 6.00 до 20.00 год у душових і басейні. Обсяг споживання гарячої води залежить від кількості відвідувачів і сягає 50 м^3 на добу.



а



б



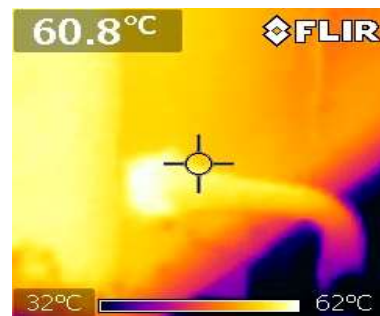
в



г



д



е

Рисунок 2.5.3. Зовнішній вигляд теплообмінника ГВП (а, б), 4 електробойлерів (в), баку (г, д) та термограма виходу баку (е)

2.5.3. Система вентиляції

Притік свіжого повітря забезпечується через інфільтрацію повітря

через щілини в елементах огорожувальних конструкцій (вікна, двері, зовнішні стіни) та за допомогою природної вентиляції, зокрема, через відкриття фрамуг та стулок вікон і дверей для провітрювання приміщень.

Витяжні вентиляційні системи з механічним спонуканням перебувають у робочому стані, але не мають автоматизованого управління. Витяжні канали, прокладені в стінах (рис. 2.5.4), виведені через труби без утеплення, які з'єднані з витяжними колодязями з оцинкованого заліза, що також не утеплені, і виведені на дах (рис. 2.4.5 а). Це призводить до конденсації вологи на внутрішніх поверхнях неізованих повітроводів, що спричиняє зволоження стін і стель, збільшуючи теплові втрати та викликаючи появу плісняви, цвілі, грибка та поступове руйнування конструкцій.

У зв'язку з цим, ділянки витяжних каналів, що проходять над покрівлею, на горищі або біля охолоджуваних поверхонь зовнішніх стін, повинні бути спроектовані з тепловою ізоляцією, щоб уникнути конденсації при відносній вологості витяжного повітря 85%.

Система припливної вентиляції з механічним спонуканням у приміщенні басейну перебуває в робочому стані (рис. 2.5.4 а, б), однак не має автоматизованого управління — увімкнення та температура припливного повітря визначаються черговим персоналом.

Витяжна вентиляція (рис. 2.5.4 в) була вимкнена через надмірну конденсацію вологи, що виникає через високу зволоженість повітря та необхідність мінімізувати втрати тепла.



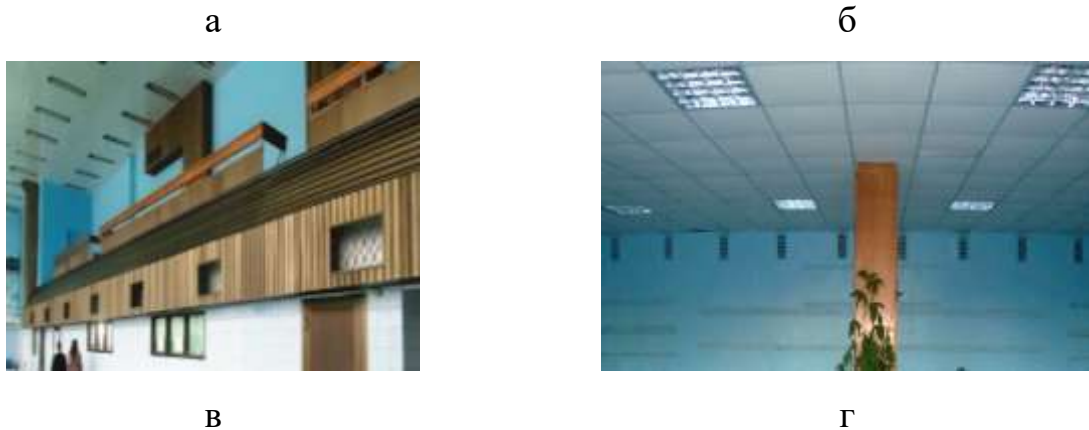


Рисунок 2.5.2. Повітроводи системи вентиляції:
а, б, в - із механічним спонуканням, г – з природним

На цей час вентиляція приміщень здійснюється природним шляхом через вікна та двері. Оскільки проектом не передбачено систему припливної вентиляції для загального повітрообміну (окрім басейну), в зимовий період відбуваються значні теплові втрати через природне провітрювання.

Згідно додатку Д ДБН В.2.4-10-2001 «Заклади охорони здоров'я», для приміщення басейну необхідно забезпечити температуру води 28°C , температуру повітря $\text{ТП} = (\text{ТВ} + 1 \dots 2)^{\circ}\text{C}$, вологість повітря до 65%, а також забезпечити кратність повітрообміну при механічній вентиляції: для припливної системи – 3, для витяжної – 5. Природне провітрювання не є допустимим, тому необхідно відновити систему вентиляції з механічним спонуканням.

Через недостатнє провітрювання та високий рівень вологості (95%) на холодних поверхнях вікон (рис. 2.5.5 а) і дверей (рис. 2.5.5 б) утворюється конденсат, що сприяє розвитку плісняви та грибка.



а



б

Рисунок 2.5.5. Конденсована волога на склі: а – вікон, б - дверей

На рис. 2.5.6 зображено зовнішній вигляд не утеплених вентиляційних труб та витяжних колодязів.



а



б



в



г



Д



е



Ж



З

Рисунок 2.5.6. Зовнішній вигляд вентиляційних каналів та повітроводів

Під час проведення енергетичного аудиту температура води в басейні становила 28°C , температура повітря – 23°C , вологість – 93 %, а концентрація діоксиду вуглецю (CO_2) – 905 ppm. Отже, виявлені параметри температури повітря і вологості не відповідають установленим нормативам.

Оскільки потік теплого повітря та його температура регулюються вручну черговим персоналом, рекомендується автоматизувати роботу існуючої централізованої вентиляційної системи (див. рис. 2.5.4) з додатковою хімічною чисткою та впровадженням енергозберігаючої автоматизації для регулювання потужності електричного калорифера ($4 \times 13,5$ кВт), що забезпечує подачу припливного повітря в залежності від температури та вологості в приміщенні басейну.

Відновлення роботи припливної вентиляції збільшить розрахункове теплове навантаження на об'єкт, але забезпечить відповідність санітарним вимогам до мікроклімату приміщення завдяки належній механічній вентиляції.

Основними параметрами, які визначають рівень теплового комфорту, є температура повітря, його вологість та концентрація CO₂. Рекомендовані умови для приміщення басейну включають температуру 24-32°C, вологість 50-60 % та швидкість теплового потоку менш як 0,3 м/с. Нормальний рівень CO₂ не повинен перевищувати 450 ppm, а допустима концентрація – 1000 ppm.

Отже, виявлені значення CO₂, кратність повітрообміну та рівень вологості вказують на суттєві проблеми в системі вентиляції. Для покращення ситуації необхідно відновити роботу механічної вентиляції з встановленням необхідної кратності обміну повітря: для припливної – 3, для витяжної – 5.

2.5.4. Електроспоживання

Електропостачання будівлі виконано лінією напругою 0,4 кВ від 1-трансформаторної підстанції. За рівнем надійності електропостачання електроприймачі закладу відносять до II категорії.

Електроустаткування. Основними споживачами електроенергії є: електробойлери – 4×9 кВт (рис. 2.5.7 а), бак з електротенами 3×15 кВт (рис. 2.5.7 б), електросушилки (рис. 2.5.7 в), електрокалорифери 4×13,5 кВт, насоси й вентилятори 7,5-15 кВт (рис. 2.5.7 б), кулери, оргтехніка, телевізори тощо.



а



б



в

Рисунок 2.5.7. Нагрівачі: електробойлери – 4×9 кВт (а), бак з електротенами 3×15 кВт (б), електрокалорифери $4 \times 13,5$ кВт, електросушилки (в)



Рисунок 2.5.8. Зовнішній вигляд насосного устаткування

Сумарна потужність силового електрообладнання становить близько 100 кВт. Оскільки основні споживачі електроенергії (електробойлери, електротени, насоси фільтрів) працюють цілодобово.

Освітлення. Енергоефективною вважається система освітлення, яка забезпечує високу якість світла при мінімальних витратах електроенергії. Заощадження електроенергії на освітлення не повинно досягатися шляхом вимкнення частини світильників або відмови від використання штучного освітлення, коли природного світла недостатньо (оскільки зниження рівня освітленості значно перевищує економію на електроенергії).

Згідно з даними замовника, в об'єкті встановлено 208 світильників. В ході обстеження системи освітлення було визначено, що рівень освітленості в борцівському залі становить 75 лк, в малій спортзалі – 92 лк, а в великій спортзалі – 50 лк, що не відповідає вимогам ДБН В.2.5-28-2016 "Природне і штучне освітлення", згідно з якими нормативний рівень освітленості має бути в межах 150-200 лк, залежно від типу приміщення.

Тому необхідно реконструювати існуючу систему освітлення спортзалів (рис. 2.5.9) та басейну (рис. 2.5.10).

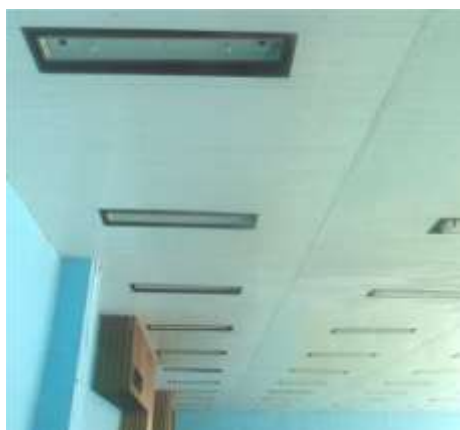


а



б

Рисунок 2.5.9. Система зовнішнього освітлення у спортзалах



а



б

Рисунок 2.5.10. Система зовнішнього освітлення у басейні

Висновки до розділу

В результаті проведеного енергетичного обстеження будівлі спортивного басейну виявлено низку значних проблем, що потребують негайного вирішення для покращення енергоефективності та експлуатаційних характеристик.

Серед основних проблем: значні тепловтрати через неякісне скління та низьку ефективність огорожувальних конструкцій, аварійний стан системи опалення, пошкодження фасаду та зволоження конструкцій, а також низький рівень температури та вологості в приміщеннях. Відключення вентиляційної системи, застаріла електромережа та недостатня освітленість також сприяють погіршенню умов.

Для поліпшення ситуації необхідна модернізація опалення, утеплення конструкцій, впровадження автоматизованого регулювання вентиляції, заміна освітлення на енергоефективне та комплексна реконструкція електричної мережі.

3. НАУКОВІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЕНЕРГОЗАОЩАДЖЕННЯ

3.1. Утеплення суміщеного перекриття даху

Опис можливості енергозбереження. Середній коефіцієнт теплопередачі суміщеного перекриття даху $0,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ перевищує розрахунковий нормативний коефіцієнт теплопередачі – $0,23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Додаткова теплова ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через суміщене перекриття. В якості утеплювача пропонується використання плит з базальтової мінеральної вати (MONROCK MAX E, Rockwool густина $200 \text{ кг}/\text{м}^3$), згідно вимог ДСТУ Б В.2.6-189.

Для отримання нормативного показника термічного опору стіни $R_{\text{пр_пк}} = 4,28 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, визначимо товщину ізолюючого утеплюючого шару.

Необхідний додатковий термічний опір огорожуючої конструкції(ізолюючого утеплюючого шару):

$$R_{\text{із. шар}} = R_{\text{пр_пк}} - R_{\Sigma \text{пр_пк}} = 4,28 - 1,11 = 3,13 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Розрахунок товщини теплової ізоляції, в нашому випадку для теплоізоляційних плит MONROCK MAX E на базальто-волокнистій основі:

$$\delta_{\text{із. шар}} = R_{\text{із. шар}} \cdot \lambda_{\text{із. матеріал}} = 3,13 \cdot 0,043 \approx 0,14 \text{ м}.$$

Пропонуємо встановити теплоізоляційні плит MONROCK MAX E завтовшки $0,15 \text{ м}$.

Теплоізоляція може бути закріплена до основи покрівлі за допомогою клеючої суміші або механічним способом. Кріплення може здійснюється поліуретановим клеєм, бітумними мастиками або спеціалізованим телескопічним покрівельним кріпленням.

Загальна площа, що потребує утеплення – 3407 м^2 .

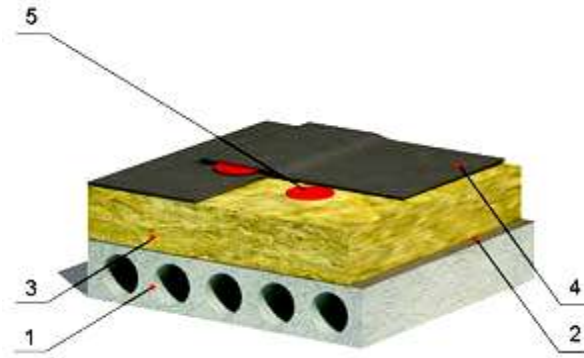


Рис. 3.1. Структура утеплення суміщеного перекриття

1 - плита суміщеного перекриття даху; 2 - пароізоляція перекриття; 3 - утеплювач для перекриття; 4 - гідроізоляція перекриття; 5 – телескопічне покрівельне кріплення

Термічний опір теплопередачі суміщеного перекриття даху, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$:

$$R_{\text{ПК1}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1\text{р}}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2\text{р}}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3\text{р}}} + \frac{\delta_4}{\lambda_{4\text{р}}} + \frac{\delta_5}{\lambda_{5\text{р}}} + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,035}{2,04} + \frac{0,05}{0,81} + \frac{0,1}{0,14} + \frac{0,02}{0,17} + \frac{1}{12} = 1,11$$

де δ_1 – товщина залізобетонної П-подібної плити, $\delta_1 = 0,035$ м; $\lambda_{1\text{р}}$ – теплопровідність залізобетонної плити, $\lambda_{1\text{р}} = 2,04$ Вт/(м·К); δ_2 – товщина шару цементно-піщаної стяжки, $\delta_2 = 0,05$ м; λ_2 – теплопровідність цементно-піщаної стяжки, $\lambda_2 = 0,81$ Вт/(м·К); δ_3 – товщина шару гравійної посипки (керамзиту), $\delta_3 = 0,1$ м; λ_3 – теплопровідність шару керамзиту, $\lambda_3 = 0,14$ Вт/(м·К); δ_4 – товщина шару рубероїду, $\delta_4 = 0,02$ м; λ_4 – теплопровідність шару рубероїду, $\lambda_4 = 0,17$ Вт/(м·К); $\alpha_{\text{в}} = 8,7$ Вт/(м²·К), $\alpha_3 = 12$ Вт/(м²·К) – коефіцієнти тепловіддачі з внутрішньої то зовнішньої сторін даху.

Термічний опір суміщеного перекриття після встановлення теплоізоляції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$:

$$R_{пк2} = \frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2p}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3p}} + \frac{\delta_4}{\lambda_{4p}} + \frac{\delta_5}{\lambda_{5p}} + \frac{\delta_6}{\lambda_{6p}} + \frac{1}{\alpha_3} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{0,035}{2,04} + \frac{0,05}{0,81} + \frac{0,1}{0,14} + \frac{0,02}{0,17} + \frac{0,015}{0,043} + \frac{1}{12} = 4,6$$

де δ_5 – товщина шару теплоізоляційних плит, $\delta_5 = 0,15$ м; λ_5 – теплопровідність теплоізоляційних плит, $\lambda_5 = 0,043$ Вт/(м·К);

Річний ефект від впровадження заходу втрати тепла через перекриття після модернізації:

$$\Delta E_p = \chi_1 \cdot (K_{пк1} - K_{пк2}) \cdot D_d \cdot F_\Sigma = 0,024 \cdot (0,9 - 0,22) \cdot 3501 \cdot 3407 = 194663 \text{ кВт·год.}$$

де $K_{пк1} = 0,9$ Вт/м²·К – коефіцієнт теплопередачі через перекриття до впровадження заходу; $K_{пк2} = 1/4,6 = 0,22$ Вт/м²·К – коефіцієнт теплопередачі через перекриття після впровадження заходу.

Капіталовкладення (орієнтовно) при впровадженні заходу складуть:

Орієнтовні витрати при впровадженні заходу:

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Орієнтовна вартість, грн
1	Вартість 1 м ² плит з базальтової мінеральної вати MONROCK MAX E завтовшки 150 мм.(100+50 мм)	367
2	Вартість суміші для приклеювання плит Ceresit™ СТ-83, грн/м ² ;	26,5
3	Вартість мастіки бітумної Aqua Mast, грн/м ²	64,8
4	Гідроізоляційний матеріал Полибуд ЭПП-2.0, грн/м ² .	29,3
5	Вартість монтажних робіт, грн/м ² .	150
	Всього, К _Σ	637,6

Загальні витрати при впровадженні заходу:

$$K = F_c \cdot K_\Sigma = 3407 \cdot 637,6 = 2172303,2 \text{ грн.}$$

Річна економія у споживанні теплової енергії становить:

$$\Delta E_p = 0,00086 \cdot 164663 = 167 \text{ Гкал}$$

При вартості 1 Гкал з ПДВ = 2173,34 грн (Рішення виконавчого комітету Кіровоградської міської ради від 25 жовтня 2017 року №511) річні заощадження складуть:

$$C_{m.e} = 2173,34 \cdot 167 = 363840 \text{ грн.}$$

Термін повернення ЕЕЗ:

$$C_{ок} = K / C_{m.e} = 2172303,2 / 363840 = 6,8 \text{ року.}$$

Код в пакеті заходів	Річні заощадження		Інвестиції (включ. податки)	Термін повернення, рік
	теплової енергії, Гкал	$C_{m.e}$, грн		
3.1	167	363840	2172303,2	6,0

3.2. Заміна віконних склопакетів на енергоефективні з більшим опором теплопередачі

Опис можливості енергозбереження. Середній коефіцієнт теплопередачі встановлених пластикових вікон складає – 2,38 Вт/(м²·К), що більше розрахункового нормативного коефіцієнту теплопередачі – 1,33 Вт/(м²·К).

Для встановлення необхідно використовувати вікна, що мають опір теплопередачі не менший за 0,75 м² К/Вт. В таблиці 3.2.1 наведені варіанти склопакетів з допустимим нормативним коефіцієнтом теплопередачі.

Пропонуємо виконати заміну існуючих вікон на енергоефективні 3-камерні (рис.3.2.1) з енергозберігаючим склом та склопакетом заповненим інертним газом з варіантом скління 4i-10-4M₁-10-4 (рис.3.2.1). Загальна

площа вікон, що потребують заміни – 1606 м².

Опори теплопередачі склопакетів, що використовується,

- однокамерних: $R_{в\text{ пвх}(1)} = 0,32 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$;

- двокамерних: $R_{в\text{ пвх}(2)} = 0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$;



Рисунок 3.2.1 - Розріз вікна з ПВХ профілю з 3-камерними склопакетами

Зведений опір теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій будівлю – $R_{\Sigma пр в}$:

$$R_{\Sigma пр в} = \frac{F_{\Sigma в}}{\frac{F_{\Sigma в. пвх(1)}}{R_{в. пвх(1)}} + \frac{F_{\Sigma в. пвх(2)}}{R_{в. пвх(2)}}} = \frac{1606}{\frac{261,98}{0,32} + \frac{1344,8}{0,45}} = 0,42 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де $F_{\Sigma в}$ – загальна площа світлопрозорих огорожувальних конструкцій;
 $F_{\Sigma в. пвх(1)}$, $R_{в. пвх(1)}$ – відповідно площа та термічний опір однокамерних пластикових вікон; $F_{\Sigma в. пвх(2)}$, $R_{в. пвх(2)}$ – відповідно площа та термічний опір двокамерних пластикових вікон; опір теплопередачі нового склопакету 4і-10-4М₁-10-4і, $R_{впл} = 0,93 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$;

Річний ефект від впровадження заходу втрати тепла через перекриття після модернізації:

$$\Delta E_p = \chi_1 \cdot (K_{вд} - K_{впл}) \cdot D_d \cdot F_{\Sigma} = 0,024 \cdot (2,38 - 1,08) \cdot 3501 \cdot 1606 = 175425 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

де $K_{\text{вд}} = 1/0,42 = 2,38 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ – коефіцієнт теплопередачі через вікна до впровадження заходу; $K_{\text{впл}} = 1/0,93 = 1,08 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ – коефіцієнт теплопередачі через вікна після впровадження заходу; $D_0 = 3501$ – кількість градусо-днів опалювального періоду.

Орієнтовна вартість 1 м² енергозберігаючого металопластикового вікна 100x100 см типу 4i-14-4-14-4i КВЕ 88 passiv — МАСО від КВК. Склопакет: Двокамерний 2 енергозберігаючий 40 мм, профіль: КВЕ 88 passiv 6 камер шириною 88 мм, фурнітура: МАСО складає $K_1 = 1300$ грн.

Капіталовкладення (орієнтовно) при впровадженні *впровадження ЕЕЗ*:

$$K = F_c \cdot K_1 = 1606 \cdot 1300 = 2087800 \text{ грн.}$$

Річна економія у споживанні теплової енергії становить:

$$\Delta E_p = 0,00086 \cdot 175425 = 150 \text{ Гкал}$$

При вартості 1 Гкал з ПДВ = 2173,34 грн річні заощадження складуть:

$$C_{m.e} = 2173,34 \cdot 150 = 327882 \text{ грн.}$$

Строк окупності ЕЕЗ:

$$C_{\text{ок}} = K_{\Sigma} / C_{m.e} = 2087800 / 327882 = 6,4 \text{ роки.}$$

Код в пакеті заходів	Річні заощадження		Інвестиції (включ. податки)	Термін окупності, рік
	теплової енергії, Гкал	$C_{m.e}$, грн		
3.2	150	327882	2087800	6,4

3.3. Утеплення зовнішніх стін

Опис можливості енергозбереження. Середній коефіцієнт теплопередачі існуючих стін – 1,33 Вт/(м²*К) значно перевищує розрахунковий нормативний коефіцієнт теплопередачі - 0,38 Вт/(м²*К).

Нормативний коефіцієнт теплопередачі визначено відповідно ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель».

Додаткова теплова ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через стіни та покращити зовнішній вигляд будівлі. В якості утеплювача, згідно вимог ДСТУ Б В.2.6-189, пропонується використання негорючих теплоізоляційних плит WENTIROCK MAX F на базальто-волокнистій основі. Технологія виконання – скріплена ізоляція.

Зовнішні стінові конструкції, що контактують з ґрунтом, у будинках без підвалу необхідно утеплювати на глибину 0,5 м нижче поверхні ґрунту, у будинках з підвалом - на глибину 1,0 м нижче поверхні ґрунту. Огороджувальні конструкції, що контактують з ґрунтом, необхідно захищати від ґрунтової вологи шляхом розміщення на зовнішніх стінах нижче рівня підлоги підвального поверху горизонтальної гідроізоляції, а в підземній частині стін - вертикальної гідроізоляції.

Загальна площа, що потребує утеплення – 455 м².

Зовнішні стіни будівлі:

$$R_c = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2p}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3p}} + \frac{1}{\alpha_z} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,45}{0,81} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{1}{23} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

де δ_1 – товщина шару червоної цегли, $\delta_1 = 0,45$ м; λ_{1p} – теплопровідність червоної цегли на цементно-піщаному розчині, $\lambda_{1p} = 0,81$ Вт/(м·К); δ_2 – товщина шару цементно-піщаної штукатурки, $\delta_2 = 0,01$ м; λ_{2p} – теплопровідність цементно-піщаної штукатурки, $\lambda_{2p} = 0,81$ Вт/(м·К); δ_3 – товщина шару цементної стяжки ззовні (шуби), $\delta_3 = 0,02$ м; λ_{3p} – теплопровідність шару цементної шуби, $\lambda_{3p} = 0,87$ Вт/(м·К); $\alpha_v = 8,7$ Вт/(м²·К), $\alpha_z = 23$ Вт/(м²·К) – коефіцієнти тепловіддачі з внутрішньої та зовнішньої сторін будівлі.

Для отримання нормативного показника термічного опору стіни $R_{пр_нп} =$

2,64 м²·К/Вт, визначимо товщину ізолюючого утеплюючого шару.

Необхідний додатковий термічний опір огорожуючої конструкції(ізолюючого утеплюючого шару):

$$R_{\text{із. шар}} = R_{\text{пр_нп}} - R_{\Sigma\text{пр_нп}} = 2,64 - 1,33 = 1,31 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Розрахунок товщини теплової ізоляції, в нашому випадку для теплоізоляційних плит WENTIROCK MAX F на базальто-волокнистій основі:

$$\delta_{\text{із.шар}} = R_{\text{із.шар}} \cdot \lambda_{\text{із.матеріал}} = 1,31 \cdot 0,036 = 0,047 \text{ м}.$$

Для нашої географічної зони, з урахуванням вимог до товщини теплової ізоляції згідно ДСТУ-В-В.2.6-34-2008 та запобігання випадання роси пропонуємо встановити теплоізоляційні плит WENTIROCK MAX F товщиною 0,1 м.

Термічний опір при впровадженні теплової ізоляції, м²·К/Вт:

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_{1p}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2p}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3p}} + \frac{\delta_4}{\lambda_{4p}} + \frac{\delta_5}{\lambda_{5p}} + \frac{1}{\alpha_s} = \\ &= \frac{1}{8,7} + \frac{0,45}{0,81} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,1}{0,036} + \frac{0,005}{0,81} + \frac{1}{23} = 3,53 \end{aligned}$$

де δ_4 – товщина шару теплоізоляційних плит, $\delta_4 = 0,1$ м; λ_{4p} – теплопровідність теплоізоляційних плит, $\lambda_{4p} = 0,036$ Вт/(м·К); δ_5 – товщина шару цементно-піщаної штукатурки, $\delta_5 = 0,005$ м; λ_{5p} – теплопровідність цементно-піщаної штукатурки, $\lambda_{5p} = 0,81$ Вт/(м·К);

Річний ефект від впровадження заходу втрати тепла через перекриття після модернізації:

$$\Delta E_p = \chi_1 \cdot (K_{c1} - K_{c2}) \cdot D_d \cdot F_{\Sigma} = 0,024 \cdot (1,33 - 0,28) \cdot 3501 \cdot 455 = 40142,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

де $K_{c1} = 1/0,75 = 1,33$ Вт/м²·К – коефіцієнт теплопередачі через стіни до впровадження заходу; $K_{c2} = 1/3,53 = 0,28$ Вт/м²·К – коефіцієнт теплопередачі

через стіни після впровадження заходу; $D_0 = 3501$ – кількість градусо-днів опалювального періоду.

Орієнтовні витрати при впровадженні заходу:

№ п/п	Вид робіт(матеріалів)	Орієнтовна вартість, грн
1	Вартість 1 м ² негорючих теплоізоляційних базальто-волокнистих плит WENTIROCK MAX F.	240
2	Дюбелі монтажні 5 шт на 1 м ²	18,5
3	Вартість суміші для приклеювання плит Ceresit™ СТ-83, грн/м ² ;	26,5
4	Вартість суміші для штукатурки Ceresit™ СТ-85, грн/м ² ;	31,6
5	Вартість скловолокна (армована основа при штукатурних роботах, 90 г/м ² , грн/м ² ;	6,6
6	Вартість монтажних робіт з улаштування теплоізоляції, грн/м ² .	190
7	Вартість декоративних робіт, грн/м ²	100
	Всього, K_{Σ}	613,2

Капіталовкладення (орієнтовно) при впровадженні *впровадження ЕЕЗ*:

$$K = F_c \cdot K_{\Sigma} = 455 \cdot 613,2 = 279006 \text{ грн.}$$

Річна економія у споживанні теплової енергії становить:

$$\Delta E_p = 0,00086 \cdot 40142,5 = 34,5 \text{ Гкал}$$

Річні заощадження:

$$C_{m.e} = 2173,34 \cdot 34,5 = 74980 \text{ грн.}$$

Строк окупності ЕЕЗ:

$$C_{ок} = K / C_{m.e} = 279006 / 74980 = 6,8 \text{ року.}$$

Код в пакеті заходів	Річні заощадження		Інвестиції (включ. податки)	Термін окупності, рік
	теплової енергії, Гкал	$C_{т.е.}$, грн		
3.3	34,5	74980	279006	3,7

3.4. Гідроізолювання зовнішніх стін приміщення плавального басейну зсередини пенетруючою сумішшю

Незадовільні умови мікроклімату в приміщенні басейну, зокрема висока вологість повітря ($\phi = 92\%$), спричиняють конденсацію на зовнішніх стінах та підвищення вологості цегляної кладки до 20%. Це призводить до значного збільшення теплопровідності стін, що, в свою чергу, знижує їх здатність зберігати тепло. Підвищена вологість сприяє розвитку грибка, плісняви та цвілі, а замерзання конденсату призводить до руйнування цегляної кладки. Волога в матеріалах знижує їх морозостійкість, що в умовах циклічного заморожування та відтавання значно скорочує термін служби конструкцій. Наявність цвілі порушує санітарно-гігієнічні норми приміщення.

Для покращення енергозбереження та захисту стін від вологи пропонується використання гідро-, паро- та теплоізоляційних покриттів. Рекомендується покрити внутрішні стіни басейну еластичним гідроізоляційним матеріалом, який складається з спеціальних видів цементів, смол і емульсій, щоб запобігти проникненню вологи. Збільшення вологості в цегляній кладці суттєво підвищує її теплопровідність, що, в свою чергу, веде до зростання теплових втрат через огорожувальні конструкції. (табл. П1 з Леденев В.И. "Физико-технические основы эксплуатации наружных кирпичных стен гражданских зданий") $K_{02} = 1,88$, за нормальних умов, при

$$w_0 \leq 5\%, K_{dl} = 1,28.$$

Річний ефект від впровадження заходу втрати тепла через перекриття після модернізації:

$$\Delta E_p = \chi_1 \cdot (K_{c1} - K_{c2}) \cdot D_d \cdot F_\Sigma = 0,024 \cdot (1,88 - 1,28) \cdot 3501 \cdot 455 = 22939 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

де $K_{c1} = 1,88 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ – коефіцієнт теплопередачі через стіни до впровадження заходу; $K_{c2} = 1,28 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ – коефіцієнт теплопередачі через стіни після впровадження заходу; $D_0 = 3501$ – кількість градусо-днів опалювального періоду.

Орієнтовні витрати при впровадженні заходу:

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Орієнтовна вартість, грн
1	Вартість гідроізоляції «Текмадрай еласт Испания». грн/м ²	300
2	Вартість монтажних робіт з улаштування гідроізоляції, грн/м ² .	180
3	Вартість декоративних робіт, грн/м ²	150
	Всього, K_Σ	630

Капіталовкладення (орієнтовно) при впровадженні *впровадження ЕЕЗ*:

$$K = F_c \cdot K_\Sigma = 455 \cdot 630 = 286650 \text{ грн}.$$

Річна економія у споживанні теплової енергії становить:

$$\Delta E_p = 0,00086 \cdot 22939 = 19,7 \text{ Гкал}$$

Річні заощадження:

$$C_{m.e} = 2173,34 \cdot 19,7 = 42875 \text{ грн}.$$

Строк окупності ЕЕЗ:

$$C_{ок} = K / C_{т.е} = 286650 / 42875 = 6,7 \text{ року.}$$

Код в пакеті заходів	Річні заощадження		Інвестиції (включ. податки)	Термін окупності, рік
	теплової енергії, Гкал	$C_{т.е}$, грн		
3.4	19,7	42875	286650	6,7

3.3. Встановлення осушувачів-рекуператорів для утилізації вологи та теплової енергії з відпрацьованого повітря в приміщенні басейну.

У критих басейнах неможливо уникнути утворення конденсату, який сприяє розвитку грибка і цвілі, а також шкодить обладнанню і робить будівельні матеріали крихкими. Для підтримання оптимального рівня вологості та запобігання руйнуванню конструкцій необхідно використовувати осушувачі повітря.

Пропонується встановити систему осушення повітря з осушувачем, який працюватиме у зв'язці з вентиляційною системою басейну. У такій системі осушувач видаляє надлишкову вологу з приміщення, в той час як вентиляційна система забезпечує необхідний повітрообмін (розрахунок – 80 м³ на одного плавця), видаляє неприємні запахи та різноманітні домішки, що випаровуються з води, і забезпечує приплив свіжого повітря.

Для визначення необхідної продуктивності осушувача можна використовувати формули Кrumme, які дозволяють точніше розрахувати оптимальний обсяг осушення, необхідний для забезпечення належного мікроклімату в приміщенні басейну.¹ Для періоду, коли в басейні знаходяться особи, що придбали абонемент, л/год:

$$G_{відк} = (0,118 + 0,01995 \cdot a \cdot (P_{нас} - P_{уст}) / 1,333) \cdot F =$$

$$= (0,118 + 0,01995 \cdot 0,5 \cdot (37,79 - 28,08)/1,333) \cdot 250 = 46,7;$$

де F - площа водної поверхні басейну, м^2 ; $P_{\text{нас}}$ - тиск водяної пари насиченого повітря при температурі води в басейні, мбар; $P_{\text{уст}}$ - тиск водяної пари насиченого повітря при заданих температурі і вологості повітря, мбар; $a = 0,5$ - коефіцієнт зайнятості великих громадських басейнів людьми.

Тиск водяної пари насиченого повітря при температурі 23°C і вологості повітря $\varphi=92\%$.

$$P_{\text{уст}} = \frac{\varphi}{100} P_{\text{н.уст}} = \frac{92}{100} \cdot 28,08 = 25,84$$

2. Для періоду, коли в басейні відсутні відвідувачі (поверхня води зашторена), л / год:

$$G_{\text{зак}} = (-0,059 + 0,0105 \cdot (P_{\text{нас}} - P_{\text{уст}}) / 1,333) \cdot F$$

$$(-0,059 + 0,0105 \cdot (37,79 - 28,08)/1,333) \cdot 250 = 4,37.$$

Пропонуємо для встановлення припливно-витяжну установку с рекуперацією тепла типу KOMFOVENT DOMEKT P 900.

Розрахуємо кількість теплової енергії, отриманої за рахунок встановлення ПВУ з осушувачем-рекуператором.

Потужність підігрівачів повітря припливної вентиляції:

$$Q = L_{\text{п.п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot (t_{\text{з}} - t_{\text{х.п.}}) = 1784 \cdot 0,28 \cdot 1,17 \cdot (30 - (-22)) = 30390 \text{ Вт}$$

де $L_{\text{п.п}}$ – об'єм припливного повітря, $\text{м}^3/\text{год}$; $c_{\text{п}} = 0,28$ – теплоємність повітря при температурі 30°C , $\text{Вт} \cdot \text{год} / \text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$; $\rho_{\text{п}} = 1,17$ - густина повітря при температурі 30°C , $\text{кг}/\text{м}^3$; $t_{\text{п.п}} = -22$ – максимальна розрахункова температура

припливного холодного повітря, °C.

Необхідна теплова потужність для нагрівання повітря за середньою температурою холодного періоду - 0,3°C:

$$Q_{пв\gamma} = L_{п.п} \cdot c_{п} \cdot \rho_{п} \cdot (t_3 - t_{п.п.}) = 1784 \cdot 0,28 \cdot 1,17 \cdot (30 - (-0,3)) = 17708 \text{ Вт}$$

де $c_{п} = 0,28$ – теплоємність повітря при температурі 30°C, Вт·год/кг·°C; $\rho_{п} = 1,17$ - щільність повітря при температурі 26°C, кг/м³; t_3 – середня температура повітря опалювального періоду, °C; $t_{п.п.}$ – температура припливного повітря, °C.

Об'єм припливного повітря:

$$L_{п.п} = k_v \cdot A \cdot B \cdot H = 0,6 \cdot 14,3 \cdot 29,65 \cdot 7,02 = 1784 \text{ м}^3/\text{год};$$

де k_v – кратність повітрообміну для басейнів; A – довжина приміщення басейну, м; B – ширина приміщення басейну, м; H – висота приміщення басейну.

Середня ефективність пластинчастого перехресно-точного рекуператора в холодний період року становить 60%.

Необхідна теплова потужність для нагріву повітря за середньою температурою холодного періоду - 0,3°C:

$$Q_{пв\gamma_p} = L_{п.п} \cdot c_{п} \cdot \rho_{п} \cdot (t_3 - t_{п.п.}) (1 - \eta_p) = 1784 \cdot 0,28 \cdot 1,17 \cdot (30 - (-0,3)) \cdot (1 - 0,6) = 7083 \text{ Вт}$$

де η_p – коефіцієнт корисної дії рекуператора, %.

Річна економія електричної енергії за умови використання рекуператора становить:

$$\Delta Q = 24 \text{ год} \cdot 192 \text{ дні} \cdot (Q_{\text{ПВУ}} - Q_{\text{ПВУ}_P}) = 24 \cdot 192 \cdot (17708 - 7083) = 48960 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Орієнтовні витрати при впровадженні заходу:

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Вартість одиниці, грн	Кіл.	Орієнтовна вартість, грн
1	Припливно-витяжна установка с рекуперацією тепла KOMFOVENT DOMEKT P 900, шт.	118563	2	237126
2	Проектно-підготовчі роботи			75000
	Всього, K_{Σ}			312126

Капіталовкладення (орієнтовно) при впровадженні *впровадження ЕЕЗ*:

$$K_{\Sigma} = 312126 \text{ грн.}$$

Річна економія електричної енергії при впровадженні *впровадження ЕЕЗ*:

$$C_{e.e} = C_0 \cdot \Delta E_{\text{л}} = 2,478 \cdot 48960 = 121322,88 \text{ грн.}$$

де $C_0 = 2,478 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$ – тариф на електричну енергію (грудень 2017 р.).

Строк окупності ЕЕЗ:

$$C_{\text{ок}} = K_{\Sigma} / C_{e.e} = 312126 / 121322,88 = 2,6 \text{ роки.}$$

Код в пакеті заходів	Річні заощадження		Інвестиції (включ. податки)	Термін окупності, рік
	електричної енергії, кВт·год	$C_{e.e}$, грн		
3.5	48960	121322,88	312126	2,6

3.6. Гідроізолювання поверхні басейну пароізолюючою плівкою для зменшення випаровування з поверхні басейну та охолодження води

Басейн є великою ємністю з теплою водою (27-29°C), з якої постійно випаровується волога. Обсяг випаровування залежить від таких факторів:

- різниці температури між водою та навколишнім повітрям;
- площі поверхні води;
- вологості повітря в приміщенні басейну;
- швидкості повітряних потоків;
- активності людей у басейні.

З метою зниження теплових втрат через випаровування води та охолодження її температури, пропонується використовувати пароізоляційний полімерний матеріал для покриття водної поверхні басейну, коли він не використовується (наприклад, вночі або на вихідних). Рекомендується застосовувати екструдовану поліетиленову плівку з повітряними бульбашками діаметром 12 мм. Цей матеріал виробляється в Чехії та постачається у вигляді рулонів шириною від 3 до 6 метрів та товщиною 400 мікрон.

Вихідні дані: площа басейну складає $10 \times 25 \text{ м} = 250 \text{ м}^2$, температура води в басейні — 28°C, температура повітря під час аудиту — 20°C (нормативна температура — 30°C). Середня вологість повітря під час аудиту становила 90-95%, в той час як нормативний рівень вологості — не більше 65%.

Необхідно визначити кількість тепла, яке втрачається через випаровування, а також теплоту, що генерується внаслідок конвекції теплого повітря над басейном. Втрати тепла при випаровуванні з кожного 1 м^2 поверхні води за 1 год, Вт/м²:

$$Q_{\text{вип}} = m \cdot r,$$

Маса води, що випаровується з кожного 1 м² поверхні води за 1 год:

$$m = (25 + 19v) * (X'' - X'), \text{ кг/м}^2\text{год};$$

де X'' - вміст вологи в насиченому повітрі над поверхнею води в басейні при температурі води 28°C $X''=0,0273$ кг/кг, X' - вміст води в іншому повітрі при температурі 30 °C з відотною вологістю 92% $X'=0,0177*92/100= 0,0163$ кг/кг; r - тепло, що витрачається на випаровування 1 кг води за 1 год за температури води в басейні 28 °C, $r = 677$ Вт/кг - кількість тепла в об'ємі теплого повітря, що витрачається при випаровуванні води з басейну температурою 28°C (Колоша А.Н. "Бассейн от "А" до "Я").

Маса води, що випаровується з кожного 1 м² поверхні води за 1 год

$$m = (25 + 19 * 0,2) * (0,0273 - 0,0163) = 0,32 \text{ кг/м}^2\text{год}$$

Втрати тепла при випаровуванні з кожного 1 м² поверхні води за 1 год,

$$Q_{\text{вип}} = m * r = 0,32 * 677 = 211,3 \text{ Вт /м}^2 \text{ год.}$$

Втрати тепла через випромінювання з кожного м² поверхні води, згідно DIN 13110, Вт/м²:

$$Q_{\text{випр}} = C \cdot b (t_{\text{в}} - t_{\text{п}}) = 5,56 \cdot 1 \cdot (28 - 20) = 27,8$$

де C - коефіцієнт випаровування, для води – 5,56 Вт/м²К (Колоша А.Н. "Бассейн от "А" до "Я"), $b = 1$ – температурний фактор; $t_{\text{пр}} = 23$ - температура повітря в приміщенні, °C; $t_{\text{в}} = 28$ - температура води, °C.

Втрати тепла при конвекції на кожен м² поверхні води, згідно DIN 13110,:

$$Q_{\text{конв}} = \alpha (t_{\text{в}} - t_{\text{п}});$$

де α - значення переходу тепла з води в повітря - 4,07 Вт/м²°C при швидкості повітря до 1 м/с $t_{\text{п}} = 23$ - температура повітря в приміщенні, °C; $t_{\text{в}} = 28$ - температура води, °C.

$$Q_{\text{конв}} = 4,07 \cdot (28 - 23) = 20,35 \text{ Вт/м}^2$$

Втрати тепла з водяного поверхні басейну:

$$Q_1 = Q_{\text{вип}} + Q_{\text{конв}} + Q_{\text{випр}} = 211,3 + 20,35 + 27,8 = 259,53 \text{ Вт/м}^2$$

Річна потреба в тепловій енергії складає до впровадження енергозберігачого заходу складає:

$$\begin{aligned} Q_{p1} &= Q \cdot F \cdot 24 \text{ год} \cdot 275 \text{ днів} = \\ &259,53 \cdot 250 \cdot 24 \cdot 275 = 428092,5 \text{ кВт год.} \end{aligned}$$

Втрати тепла з водяного поверхні басейну при застосуванні солярної плівки:

$$Q_2 = 0,95 \cdot Q_{\text{вип}} = 0,95 \cdot 211,3 = 200,7 \text{ Вт/м}^2$$

Річна потреба в тепловій енергії складає до впровадження енергозберігачого заходу складає:

$$\begin{aligned} Q_{p2} &= (Q_1 \cdot F \cdot 14 \text{ год} + Q_2 \cdot F \cdot 10 \text{ год}) \cdot 275 \text{ днів} = \\ &(259,53 \cdot 250 \cdot 14 + 200,7 \cdot 250 \cdot 10) \cdot 275 = 387\,779 \text{ кВт год.} \end{aligned}$$

Річний ефект від впровадження заходу:

$$\Delta Q = Q_{p1} - Q_{p2} = 428092,5 - 387778,8 = 40313,7 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Орієнтовні витрати при впровадженні заходу:

№ п/п	Вид робіт(матеріалів)	Вартість одиниці, грн	Кіл.	Орієнтовна вартість, грн
1	Вартість мобільного змотуючого пристрою шириною до 4 м, шт	4940	4	19760
2	Солярна плівка, м ²	127	250	31750
3	Шнур кріплення плівки, шт	67	8	536
	Всього, К _Σ			52046

Капіталовкладення (орієнтовно) при впровадженні *впровадження ЕЕЗ*:

$$K_{\Sigma} = 52046 \text{ грн.}$$

Річна економія у споживанні теплової енергії становить:

$$\Delta E_p = 0,00086 \cdot 40313,7 = 34,7 \text{ Гкал}$$

$$C_{m.e} = 2173,34 \cdot 34,7 = 75414,9 \text{ грн.}$$

Строк окупності ЕЕЗ:

$$C_{ок} = K_{\Sigma} / C_{m.e} = 52046 / 75414,9 = 0,7 \text{ роки.}$$

Код в пакеті заходів	Річні заощадження		Інвестиції (включ. податки)	Термін окупності, рік
	теплової енергії, Гкал	C _{m.e} , грн		
3.6	34,7	75414,9	52046	0,7

3.7. Реконструкція переливної системи басейну

Аналіз роботи басейну показав, що тепла вода температурою 28 °С через систему переливів систематично зливається до системи каналізації. Загальний об'єм зливої теплої води складає 40 м³ на добу. Таким чином, протягом доби необхідно додатково підігрівати холодну воду з водопровідної системи до температури 60 °С. Така ситуація свідчить про неефективне використання електричної енергії, що споживається при нагріванні води.

Опис можливості енергозбереження. Пропонуємо перенаправити теплу переливну воду з басейну (40 м³) до баку системи накопичення та підігрівання замість каналізації. Для збільшення пропускної здатності переливної системи необхідно встановити накопичувальний пластиковий бак об'ємом 2 м³ та два крани. Схема роботи переливного басейну наведена на рис. 3.7.



Рис. 3.7.1. Схема роботи переливного басейну

Вихідні дані. Обсяг стоків теплої води температурою 28 °С становить 40 м³/добу. Максимальна кількість одночасного перебування людей в басейні - 60 осіб. Середня вага однієї людини близько 45 кг. Загальна маса витісненої води з басейну при перебуванні людей становить 45*60=2700 кг. Для того, щоб вода не затримувалася в переливних каналах та трубопроводах встановлюємо накопичувальний бак. Середня температура холодної води 10 °С.

Визначимо добову кількість теплової енергії, що необхідно витратити додатково на нагрів холодної води до температури переливної води стоків, МДж:

$$Q = cm(t_{cm} - t_{хв}) = 4200 \cdot 39998 \cdot (28 - 10) = 3024 \text{ МДж} = 840 \text{ кВт} \cdot \text{год} (0,72 \text{ Гкал}),$$

де $c = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$ – теплоємність води, $m = V \cdot \rho = 40 \text{ м}^3 \cdot 999,7 \text{ кг/м}^3 = 39998 \text{ кг}$ – маса води, що зливається до стоків, t_{cm} – температура води з переливів, що зкидується до стоків, $t_{хв}$ – середньорічна температура холодної водопровідної води.

Річний ефект від впровадження заходу дозволить зекономити електричну енергію:

$$\Delta E = Q \cdot n = 840 \cdot 275 = 231\,000 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

де $n = 275$ – кількість робочих днів басейну.

Орієнтовні витрати при впровадженні заходу:

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Вартість одиниці	Кіл.	Орієнтовна вартість, грн
1	Пластиковий бак об'ємом 2 м ³ , шт	6220	1	6220
2	Пластикові труби ø50 мм, грн/2 пог. м.	30	10	300
3	Пластикові труби ø100 мм, грн/2 пог.м.	40	5	200
4	Квадратна труба 40x40x3, грн/кг	23,31	108	2350
5	Кріплення труб, грн/шт	10	40	400
6	Фітінги, трійники, грн/шт	50	10	500
7	Запорні крани, грн/шт	8760	2	17520
8	Фільтраційний комплект FS-12A6-SW8	12074	1	12074

9	Вартість підготовчо-монтажних робіт			15800
	Всього, K_{Σ}			55364

Вартість електричної енергії, що буде спожита фільтраційним комплектом:

$$C_{ф.к.} = \frac{m}{q_{ф.к.}} \cdot P_{ф.к.} \cdot N_{роб} \cdot C_0 = \frac{40}{5} \cdot 0,18 \cdot 275 \cdot 2,478 = 982 \text{ грн.}$$

де $q_{ф.к.} = 5 \text{ м}^3$ – годинна пропускна здатність комплекту; $P_{ф.к.} = 0,18$ – встановлена потужність електрообладнання комплекту, кВт; $N_{роб} = 275$ – тривалість роботи басейну протягом року, днів; $C_0 = 2,478$ грн/кВт·год – тариф на електричну енергію (грудень 2017 р.).

Капіталовкладення (орієнтовно) при впровадженні *впровадження ЕЕЗ*:

$$K_{\Sigma} = 55364 \text{ грн.}$$

Річна економія електричної енергії при впровадженні *впровадження ЕЕЗ*:

$$C_{e.e} = (C_0 \cdot \Delta E_{л}) - C_{ф.к.} = (2,478 \cdot 231000) - 981 = 571500 \text{ грн.}$$

де.

Строк окупності ЕЕЗ:

$$C_{ок} = K_{\Sigma} / C_{e.e} = 55364 / 571500 = 0,1 \text{ року.}$$

Код в пакеті заходів	Річні заощадження		Інвестиції (включ. податки)	Термін окупності, рік
	електричної енергії, кВт·год	$C_{e.e}$, грн		
3.7	231000	571500	55364	0,1

3.8. Встановлення теплової завіси на входному тамбурі

Щоденно басейн спортивної школи відвідує близько 700 осіб, що спричиняє втрати тепла через зовнішні входні двері в холодний період. Вхід до будівлі басейну відбувається через металопластикові двері з тамбуром.

Згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27 у будівлях організацій та підприємств з кількістю робочих місць 50, що проєктуються для будівництва в районах з температурою зовнішнього повітря мінус 15 °С і нижче, у входах для відвідувачів слід передбачати повітряно-теплові завіси. Повітря для завіс слід забирати з верхньої зони вестибюля.

Згідно ДБН В.2.2-11-2002 температура повітря у вестибюлі з роздягальною повинна бути не менше 18° С. Опитування працівників показало, що при зниженні температури зовнішнього повітря нижче -5° С температурний режим у денний час в приміщенні вестибюлю не витримується.

Опис можливості енергозбереження. Для зменшення втрат тепла за рахунок інфільтрації при відкриванні входних дверей пропонуємо встановити теплову завісу змішуючого типу з електричним підігрівачем. Теплова завіса на входних дверях (див. рис 3.8) створює бар'єр між повітрям всередині приміщення і зовні.



Рис. 3.8. Схема дії теплової завіси

Вихідні дані. Нормативна внутрішня температура в приміщенні $t_{\text{вн}} = 18$ °; підпору повітря немає. Для Кропивницького за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 $t_3 = -22$ °, середня швидкість вітру для холодного періоду $v_{\text{в}} = 4.5$ м/сек. Щільність зовнішнього повітря, $\rho_3 = 1,406$ кг/м³, щільність повітря в приміщенні вестибюля, $\rho_{\text{вн}} = 1,213$ кг/м³, тип дверей: розпашні. Місце забору повітря і тип вестибюля: зверху закритого вестибюля, число людей проходять через вхід за 1 год: 127 осіб, висота сходової клітки, $h_{\text{сх_кл}} = 9$ м, висота вхідних дверей, $h_{\text{дв}} = 2$ м, площа стулки вхідних дверей: 1,98 м², висота одного поверху: 3 м. Кількість поверхів у будинку: три. Інфільтрацію через щілини зовнішніх металопластикових дверей та вікон не враховуємо.

Розрахунок завіси змішувального типу.

Витрата повітря для повітряно-теплової завіси змішувального типу визначається, кг/год:

$$G_{\text{де}} = \frac{5100 \cdot k_1 \cdot \mu_{\text{вх}} \cdot F_{\text{вх.де}} (t_{\text{см}} - t_3) \sqrt{\Delta P \cdot \rho_{\text{пов_т.з}}}}{(t_{\text{т.з}} - t_{\text{см}})}$$

$$= \frac{5100 \cdot 0,037 \cdot 0,4 \cdot 1,98 (12 - (-22)) \sqrt{14,75 \cdot 1,24}}{50 - 12} = 571$$

де $k_1 = 0,037$ - поправочний коефіцієнт для обліку числа людей, які перетинають місце забору повітря для завіси і типу вестибюля; $\mu_{\text{вх}}$ - коефіцієнт витрати, що залежить від конструкції входу (для обертових дверей $\mu_{\text{вх}} = 0,4$); $F_{\text{вх.дв}}$ - площа однієї стулки зовнішніх вхідних дверей, м²; $t_{\text{сум}} = 12$ °С - температура суміші повітря завіси.

Значення визначають в результаті розрахунку повітряного режиму будівлі з урахуванням вітрового тиску. При відсутності повних вихідних даних значення $h_{\text{розр}}$, обчислюють з урахуванням вітрового тиску залежно від поверховості будівлі:

Розрахункова висота (при закритих аераційних каналах) $h_{\text{розр}}$.

$$h_{розр} = h_{ск_кл} + 0,5h_{де} = 9 - 0,5 \cdot 2 = 8 \text{ м.}$$

Визначимо різницю тиску повітря з двох сторін зовнішнього огороження на рівні дверей, обладнаних завісою, Па:

$$\Delta P = \Delta P_m + k_2 \Delta P_n = 15,13 + 0,2 \cdot (-1,89) = 14,75$$

$$\Delta P_m = 9,8 \cdot h_{розр} (\rho_3 - \rho_{вн}) = 9,8 \cdot 8 (1,406 - 1,213) = 15,13;$$

$$\Delta P_n = \frac{C_e \cdot v_{в}^2 \cdot \rho_3}{2} = \frac{-0,6 \cdot 4,5 \cdot 1,406}{2} = -1,89$$

де $k_2=0,2$ - поправочний коефіцієнт на вітровий тиск, що враховує ступінь герметичності будівлі ("Справочник проектировщика". Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 1.); C_e - розрахунковий аеродинамічний коефіцієнт, значення якого слід визначати по ДБН В.1.2-2:2006; $v_{в}$ - розрахункова швидкість вітру, значення якої приймається для холодного періоду року по параметру Б згідно ДСТУ Н Б В.1.1-27:2010;

Знаходимо теплову потужність калориферів повітряно-теплової завіси, Вт

$$Q_3 = 0,28 \cdot G_3 \cdot (t_3 - t_{см}) = 0,28 \cdot 571 \cdot (50 - 12) = 6075 \text{ Вт} = 6,07 \text{ кВт.}$$

За даним значенням вибираємо тип і марку повітряно-теплової завіси змішуючого типу. В даному випадку пропонуємо встановити теплову завісу потужністю 6 кВт з робочою довжиною 1 м.

Для визначення кількості теплоти, що витрачається через тамбур необхідно знайти температуру змішаного повітря в тамбурі при середній температурі за опалювальний період ($t_{3_ср} = -0,3^\circ\text{C}$, згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010).

Надходження холодного повітря через зовнішні двері тамбуру:

$$G_{3д} = L_{д} n \gamma_{3,д} = 2,5 \cdot 127 \cdot 1,294 = 411 \text{ кг/год.}$$

де $L_d = 2,5$ – надходження повітря через двері з тамбуром при проходжені 1 людини, $\text{м}^3/\text{год} \cdot \text{люд}$; n – число людей, що проходять через двері за 1 годину 127 осіб; $\gamma_{з.п.} = 1,294 \text{ кг/м}^3$ – об’ємна маса повітря (Сребницький Б.Н. Примеры расчета систем кондиционирования воздуха).

Втрати теплового повітря через внутрішні двері тамбуру:

$$G_{\text{вд}} = L_d n \gamma_{з.п.} = 2,5 \cdot 127 \cdot 1,213 = 385 \text{ кг/год.}$$

Середня температура змішаного повітря в тамбурі:

$$t_{\text{см}} = (411 \cdot -0,3 + 385 \cdot 18) / (411 + 385) = 8,5^\circ\text{C.}$$

Додаткова кількість теплової енергії, що необхідна для компенсації втрат через двері тамбуру, Вт:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{тамбур}} &= 0,28 \cdot (G_{\text{вд}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{см}}) + G_{\text{зд}} \cdot (t_{\text{см}} - t_{\text{з}})) = \\ &= 0,28 \cdot [385 \cdot (18 - 8,5) + 419 \cdot (8,5 - (-0,3))] = 1702 \end{aligned}$$

Річна потреба в тепловій енергії складає до впровадження енергозберігачого заходу складає:

$$Q_p = \Delta Q_{\text{тамбур}} \cdot t_{\text{роб}} \cdot 275 \text{ днів} = 1,7 \cdot 10 \cdot 275 = 4675 \text{ кВт год.}$$

де $t_{\text{роб}} = 10$ годин, тривалість робочого дня впродовж доби.

Орієнтовні витрати при впровадженні заходу:

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Вартість одиниці, грн	Кіл.	Орієнтовна вартість, грн
1	Теплова завіса АО ЭВР-6,0/1,5 TR, ПрАТ "Винницький завод "Маяк", шт	7436	1	7436
2	Система кріплення	500	1	500
	Всього, K_{Σ}			7936

Капіталовкладення (орієнтовно) при впровадженні *впровадження ЕЕЗ*:

$$K_{\Sigma} = 7936 \text{ грн.}$$

Річна економія у споживанні теплової енергії становить:

$$\Delta E_p = 0,00086 \cdot 4675 = 4,02 \text{ Гкал}$$

При вартості 1 Гкал з ПДВ = 2173,34 грн (Рішення виконавчого комітету Кіровоградської міської ради від 25 жовтня 2017 року №511) річні заощадження складуть:

$$C_{m.e} = 2173,34 \cdot 4,02 = 8736,8 \text{ грн.}$$

Строк окупності ЕЕЗ:

$$C_{ок} = K_{\Sigma} / C_{m.e} = 7936 / 8736,8 = 0,91 \text{ року.}$$

Код в пакеті заходів	Річні заощадження		Інвестиції (включ. податки)	Термін окупності, рік
	теплової енергії, Гкал	$C_{m.e}$, грн		
3.8	4,02	8736,8	7936	0,91

3.9. Встановлення систем сонячних колекторів для первинного підігріву води для ГВП

Згідно з ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація», середні добові витрати води на одну людину в спортивних басейнах складають 75 л — гаряча вода. Температура гарячої води, що подається у змішувачі, не повинна перевищувати 55°C.

Згідно з даними замовника, за останні три роки середня потреба гарячої води для душових кабінок складає 13,8 м³ на добу. Для забезпечення цієї потреби в гарячій воді, пропонується встановити систему з 57 сонячних колекторів, кожен з яких має потужність 245 л/добу, що дозволить покрити потребу в гарячій воді.

Для цього планується встановлення сонячних вакуумних панелей на плоскій покрівлі, загальний об'єм яких буде складати $0,245 \text{ м}^3 \times 57 = 13,965 \text{ м}^3$, і орієнтованих на південь для максимальної ефективності. Для розрахунку відстані між рядами панелей (Z), необхідної для того, щоб панелі не затіняли одна одну, використовуємо відповідні формули та критерії.

$$Z = h [\sin (180^\circ - (\alpha + \beta)) / \sin \beta],$$

де h — висота колектора ($h = 1,8 \cdot \sin 45^\circ = 1,3 \text{ м}$), α — кут нахилу колектора ($\alpha = 15^\circ \dots 75^\circ$, обираємо $\alpha = 45^\circ$), β — кут висоти сонячного стояння (у найкоротший день року для України $\beta = 16,2^\circ$).

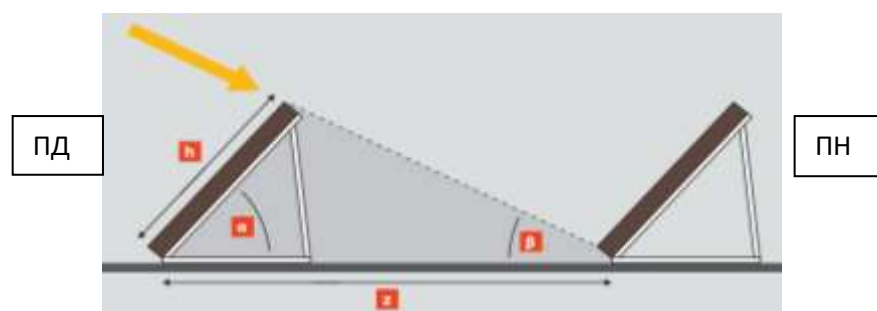


Рис. 3.9.1. Розташування панелей геліосистеми на плоскій крівлі

Тоді $Z \approx 4$ м. На плоскій крівлі розташуємо 10 ряди по 6 панелі.

Для ГВП та частково опалення (до 50% – у зимовий період, у міжсезоння – 70...80%) раціонально встановити всесезонні вакуумні колектори типу *Axioma energy AX-30HP24* – для нагрівання води об'ємом 240 л на добу до температури 60-80°C.

Вакуумний колектор Axioma Energy AX 30HP24 містить устаткування вартістю 18000 грн.

Кількість теплової енергії для нагрівання 1 м³ води:

$$W_{num} = c \cdot V \cdot (t_1 - t_2) = 4,19 \cdot 13800 \cdot (55 - 5) = 2891,1 \text{ МДж/м}^3;$$

Витрата теплової та електричної енергії на добу:

$$W_{доб} = 1,2 \text{ м}^3 \cdot 2891,1 \text{ МДж/м}^3 = 3469,3 \text{ МДж} = 964 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Річна економія електричної енергії при впровадженні *впровадження ЕЕЗ*:

$$\Delta C = C_0 \cdot \Delta E_p = 2,478 \cdot 964 \cdot 275 = 656917,8 \text{ грн.}$$

де $C_0 = 2,478$ грн/кВт·год – тариф на електричну енергію (грудень 2017 р.).

Орієнтовні витрати при впровадженні заходу:

№ п/п	Вид робіт (матеріалів)	Кількість	Вартість одиниці	Орієнтовна вартість, грн
1	Геліосистема з вакуумним колектором Axioma Energy AX 30HP24	57	58000	3306000
2	Проектно-монтажні роботи			991800
	Всього, K_{Σ}			4297800

Строк окупності ЕЕЗ:

$$C_{\text{ок}} = K / \Delta C = 4297800 / 656917,8 = 1,17 \text{ року.}$$

Код в пакеті заходів	Річні заощадження		Інвестиції (включ. податки)	Термін окупності, рік
	Електричної енергії, кВт·год	ΔC , грн		
3.9	265100	656917,8	4297800	6,5

3.10. Встановлення теплонасосних установок для утилізації теплової енергії каналізаційних стоків

Опис можливості. Скид води до каналізаційного колектора, за річним звітом закладу становить в середньому 28 м³/добу (тепла вода зливається з душових) і 10-30 м³/добу зливається з басейну до р. Інгул. На час проведення енергетичного аудиту температура води $T_{\text{в}} = 25-27^{\circ}\text{C}$; на підігрів води від температури 10°C до $60-70^{\circ}\text{C}$ витрачають –1924 кВт·год теплової енергії.

Тепловий потік від каналізаційних стоків

Попередні розрахунки показали, що питома теплова потужність стічно-гліколевого теплообмінника теплового насосу (ТН), віднесена до погонного метра його довжини, становить: $\lambda = 0,53 \dots 1,16$ кВт/м. Тоді, величина теплового потоку $Q_{\text{ст}}$ стічно-гліколевого теплообмінника довжиною (4×12) м коливається в діапазоні:

$$Q_{\text{ст}} = N \cdot L \cdot \lambda = 4 \cdot 12 (0,53 \dots 1,16) = 25,44 \dots 55,68 \text{ кВт.}$$

Тоді, теплову енергію, яку можна отримати від каналізаційних стоків ОСДЮСШОР «Надія» з 6⁰⁰ до 20⁰⁰: .

$$14 * (24,44 \dots 55,68) = 342,2 \dots 779,5 \text{ кВт·год}$$

Термін окупності ТН (без вартості робіт тощо)

Кількість теплової енергії на нагрівання 1 м³ води:

$$W = C \cdot V \cdot (t_1 - t_2) = 4,19 \cdot 1000 \cdot (70 - 10) = 247,21 \text{ МДж/м}^3 = 247,21 / 3,6 = 68,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

За допомогою теплового насосу можливо нагріти: $(342,2 \dots 779,5) \text{ кВт} \cdot \text{год} / 68,7 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3 = 5 \dots 11 \text{ м}^3$, а решту води – догрівати електроенергією, або системою сонячних колекторів (п. 3.11).

Таким чином, ТН зекономить 342,2...779,5 кВт·год електроенергії за добу, або за рік $(342,2 \dots 779,5) \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 300 \text{ діб} = 102\,660 \dots 233\,850 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$.

Вартість зекономленої електроенергії за оптимістичного прогнозу:

$$C_{ee} = 233\,850 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 2,46 \text{ грн/ кВт} \cdot \text{год} = 575\,271 \text{ грн.}$$

Вартість ТН фірми Waterkotte серії DS 6299,3 (рис. 3.13.1) становить 68985 Євро $\approx 2\,500\,000$ грн.



Рисунок 3.10.1. Тепловий насос фірми Waterkotte серії DS 6299,3, що обираємо для встановлення

Термін окупності інвестицій ЕЕЗ (без вартості робіт тощо):

$$C_{ок} = K_{\Sigma} / C_{ee} = 2\,500\,000 / 575\,271 = 4,3 \text{ роки.}$$

K_{Σ} - вартість системи, грн.; C_{ee} - економія при впровадженні, грн/рік.

З урахуванням динаміки зростання цін на електроенергію, ефективність встановлення ТН можна вважати задовільною.

Отже, за температури стічної рідини, яку зазвичай зливають в

каналізацію, яка досягає взимку 25...27°C, стічно-гліколеві теплообмінники загальною довжиною 48 м, забезпечать близько 20% потреб ГВП.

Таблиця 3.10.1 Основні показники заходу

Код в пакеті заходів	Річні заощадження		Інвестиції, грн	Термін окупності, рік
	електроенергії, кВт·год	C_z , грн		
3.13	233 850	575 271	2 500 000	4,3

Збільшити потужність ТН можливо за рахунок встановлення в загальному циркуляційному контурі повітряних (рис. 3.13.2) та ґрунтових теплообмінників (виготовлених з поліетиленових U-подібних труб (рис. 3.13.3.)).

Висновки до розділу

Під час виконання дослідження були розглянуті системи енергетичного контролю та обліку, а також аспекти маркетингу електроенергії. Проведено порівняльний аналіз різних тарифних систем.

Визначено основні фактори, які впливають на втрати електроенергії в системі електропостачання промислового району, і розроблені баланси активної та реактивної енергії.

4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

4.1. Економічний аналіз впровадження енергоефективних технологій

Економічний аналіз впровадження енергоефективних технологій базується на порівнянні витрат на реалізацію зазначених заходів та отриманих енергетичних заощаджень. Для кожного заходу була визначена економія енергоресурсів, виражена в кВт·год, що дозволяє оцінити потенційні вигоди від зниження споживання енергії та, відповідно, зменшення витрат на енергопостачання.

Утеплення суміщеного перекриття даху дозволяє заощаджувати 194 663 кВт·год енергії, що значно знижує теплові втрати через дах і покращує температурний режим в будівлі. Це веде до скорочення витрат на опалення.

Заміна неякісних віконних склопакетів на 3-камерні газонаповнені з і-склом з більшою ефективністю теплопередачі дозволяє заощаджувати 175 425 кВт·год. Це не тільки зменшує теплові втрати через вікна, а й підвищує рівень комфорту у приміщеннях. Утеплення зовнішніх стін призводить до економії 40 142,5 кВт·год енергії. Це значно покращує теплоізоляційні характеристики будівлі, знижуючи потребу в енергії для обігріву.

Гідроізолювання зовнішніх стін приміщення плавального басейну зсередини пенетруючою сумішшю дозволяє зекономити 22 938 кВт·год, запобігаючи вологим проникненням, що може впливати на ефективність обігріву та енергоспоживання. Встановлення осушувачів-рекуператорів для утилізації вологи та теплової енергії з відпрацьованого повітря в приміщенні басейну дає змогу заощаджувати 48 960 кВт·год. Це знижує потребу в додатковому охолодженні та вентиляції, а також забезпечує збереження теплової енергії.

Гідроізолювання поверхні басейну пароізолюючою плівкою призводить до зменшення випаровування з поверхні води і охолодження води на 40 313 кВт·год, що значно знижує теплові втрати та потребу в енергії для нагріву води. Реконструкція переливної системи басейну дозволяє заощаджувати 231 000 кВт·год, оскільки покращення системи обігріву води та її циркуляції призводить до більш ефективного використання енергоресурсів.

Встановлення і теплової завіси на входному тамбурі дає змогу зекономити 4 675 кВт·год. Це допомагає мінімізувати тепловтрати при вході в приміщення, що важливо для підтримання оптимальних температурних умов.

Термоізолювання зовнішніх стінок баку гарячої води дозволяє заощаджувати 17 862 кВт·год. Це знижує теплові втрати від гарячої води, забезпечуючи більш ефективне її використання. Термоізолювання зовнішніх стінок баків фільтрації води з басейну** дає економію 12 960 кВт·год, покращуючи енергоефективність системи водопостачання басейну.

Встановлення систем сонячних колекторів для первинного підігріву води для ГВП** дозволяє заощаджувати 265 100 кВт·год енергії. Використання відновлюваних джерел енергії для нагріву води суттєво знижує витрати на енергопостачання. Модернізація системи внутрішнього освітлення сприяє економії 11 611,38 кВт·год. Заміна застарілих освітлювальних приладів на енергоефективні знижує споживання електроенергії. Встановлення теплонасосних установок для утилізації теплової енергії каналізаційних стоків** забезпечить економію 233 850 кВт·год. Цей захід дозволяє ефективно використовувати відходи енергії з каналізаційних стоків для обігріву приміщень.

Загалом, впровадження цих енергозберігаючих заходів дозволяє досягти значної економії енергії, що має не тільки екологічну, але й

економічну вигоду, сприяючи зниженню витрат на енергетичні ресурси та поліпшенню енергоефективності будівлі.

4.2. Розрахунок зменшення викидів CO₂ та екологічних переваг

Крім економічного та технічного ефектів, розглянутих вище, впровадження ЕЕЗ призведе до покращення мікроклімату, збільшення рівня комфорту та позитивного екологічного ефекту, а саме, – до зменшення викидів CO₂ – еквівалентів парникових газів.

Виробництво 1 кВт·год теплової енергії, при спалюванні газу в котлах супроводжується викидом до атмосфери приблизно 0,26 кг двоокису вуглецю CO₂.

Зменшення викиду двоокису вуглецю за рік M_{CO_2} визначаємо на підставі РД 153-34.0-02.318-2001 «Методичні вказівки з розрахунку валового викиду двоокису вуглецю в атмосферу» за формулою:

$$M_{CO_2} = B_{nat} \rho_{CO_2} V_{CO_2}$$

де M_{CO_2} - валовий викид двоокису вуглецю, т; B_{nat} – економія натурального газоподібного палива; $\rho_{CO_2} = 1,9768$ – щільність двоокису вуглецю, кг/м³. V_{CO_2} – об'єм двоокису вуглецю в продуктах згоряння, м³/м³

$$V_{CO_2} = 0,01(CO_2 + CO + \sum(m \cdot C_m H_n)) = 1,068 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

де CO₂, CO, C_m, H_n, - (% по об'єму) хімічний склад газоподібного палива.

Ґрунтуючись на цих даних, у таблиці 4.1 представлено результати щодо зменшення викидів парникових газів.

Таблиця 4.1. Обсяги скорочення викидів CO₂ - еквівалентів парникових газів*

№ п/п	Заходи	Економія	
		Енергія, кВт·год	CO ₂ , тон
1	Утеплення суміщеного перекриття даху	194663	53,9
2	Заміна неякісних віконних склопакетів на 3-камерні газонаповнені з і-склом з більшим опором теплопередачі	175425	48,6
3	Утеплення зовнішніх стін	40142,5	11,12
4	Гідроізолювання зовнішніх стін приміщення плавального басейну зсередини пенетруючою сумішшю	22938	6,4
5	Встановлення осушувачів-рекуператорів для утилізації вологи та теплової енергії з відпрацьованого повітря в приміщенні басейну	48960	13,6
6	Гідроізолювання поверхні басейну пароізолюючою плівкою для зменшення випаровування з поверхні басейну та охолодження води	40313	11,2
7	Реконструкція переливної системи басейну	231000	143
8	Встановлення і теплової завіси на входному тамбурі	4675	3
9	Термоізолювання зовнішніх стінок баку гарячої води	17862	11
10	Термоізолювання зовнішніх стінок баків фільтрації води з басейну	12960	8
11	Встановлення систем сонячних колекторів для первинного підігріву води для ГВП	265100	164
12	Модернізація системи внутрішнього освітлення	11611,38	7
13	Впровадження двозонного обліку електричної енергії	-	-
14	Встановлення теплонасосних установок для утилізації теплової енергії каналізаційних стоків	233850	65
Всього			239,7

Таблиця 4.2. Основні показники по пакетах

Пакет и ЕЕЗ	Річні заощадженн я енергії, кВт·год	Річна економія в оплаті, грн	Інвестиції , грн	Термі н окупн о сті, рік.	Чиста приведен а вартість NVP**, тис.грн	Скоро чення емісії CO ₂ , т/рік
Пакет №1	430659	867319	4638392	5,3	882703	142
Пакет №2	742115	1612314	5029808	3,1	5022048	307
Пакет №3	1268678	2896114	9949891	3,4	5619561	491

Висновки до розділу

Проведений економічний аналіз впровадження енергоефективних технологій для спортивних басейнів підтверджує доцільність реалізації запропонованих заходів. В результаті впровадження енергозберігаючих технологій, таких як утеплення суміщеного перекриття даху, заміна старих вікон на 3-камерні газонаповнені склопакети, утеплення зовнішніх стін, гідроізоляція та встановлення осушувачів повітря, можна досягти значної економії енергії та зниження експлуатаційних витрат.

Системи вентиляції та опалення. Зокрема, утеплення суміщеного перекриття даху дозволяє зменшити тепловтрати на 194,66 МВт·год, а заміна неякісних віконних склопакетів на енергоефективні з опором теплопередачі в 3-камерних газонаповнених склопакетах дасть економію енергії 175,43 МВт·год. Утеплення зовнішніх стін також значно підвищить тепловий опір будівлі та зменшить витрати енергії на опалення, зекономивши до 40,14 МВт·год.

Технології очищення та підігріву води. Впровадження систем осушення повітря, що працюють разом з вентиляційними системами басейну, дозволить знизити енергоспоживання на 48,96 МВт·год завдяки зниженню вологості в приміщеннях та збереженню тепла. Гідроізолювання зовнішніх стін басейну, а також покриття поверхні басейну пароізолюючою плівкою допоможуть зменшити втрати тепла, пов'язані з випаровуванням води, що дозволить заощадити 40,31 МВт·год енергії.

Застосування відновлюваних джерел енергії в спортивних басейнах. Встановлення сонячних колекторів для попереднього підігріву води для гарячого водопостачання дозволить зменшити споживання енергії на 265,10 МВт·год, що є значною економією. Це також знизить використання

традиційних джерел енергії та допоможе зменшити викиди CO₂. Застосування теплонасосних установок для утилізації теплової енергії каналізаційних стоків сприяє зниженню споживання енергії на 233,85 МВт·год, що дозволяє зменшити навантаження на основну енергосистему об'єкта та додатково оптимізує використання енергоресурсів.

Ці заходи з енергозбереження значно знизять викиди CO₂, що має позитивний екологічний ефект. Зменшення споживання енергії зменшує потребу в генерації енергії з викопних джерел, що позитивно впливає на загальний стан навколишнього середовища та сприяє досягненню цілей сталого розвитку.

Прогнозування окупності інвестицій в енергоефективні технології показує, що термін окупності запропонованих заходів становить середньострокову перспективу. Завдяки значній економії енергоресурсів та зменшенню витрат на опалення та вентиляцію, ці інвестиції виявляються економічно обґрунтованими та вигідними.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи було проведено комплексну оцінку енергетичної ефективності спортивного басейну з метою зниження споживання енергії та зменшення екологічного навантаження. На основі енергетичного обстеження та аналізу існуючих систем, були запропоновані і обґрунтовані енергозберігаючі заходи, що дозволяють значно покращити енергоефективність об'єкта та знизити експлуатаційні витрати.

Проведений економічний аналіз показав, що впровадження енергоефективних технологій, таких як утеплення дахових перекриттів, заміна вікон на енергоефективні склопакети, утеплення стін та застосування осушувачів для підтримки оптимальної вологості повітря в приміщенні басейну, забезпечить значну економію енергії. Пропоновані заходи дозволяють зменшити тепловтрати на 15-25% і знизити витрати на опалення, вентиляцію та водопостачання.

Впровадження енергозберігаючих заходів має великий потенціал для зменшення викидів CO₂, що сприяє покращенню екологічної ситуації. Використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних колекторів для підігріву води та теплових насосних установок для утилізації теплової енергії від стоків, дозволяє значно знизити викиди парникових газів та покращити екологічний баланс.

У результаті впровадження таких заходів, як утеплення зовнішніх стін, гідроізоляція басейну, а також встановлення теплових завіс та систем осушення, підвищується тепловий комфорт в приміщеннях, що позитивно впливає на умови для користувачів басейну та продовжує термін служби будівельних конструкцій. Застосування технологій для зменшення вологісного навантаження дозволяє уникнути негативних наслідків, таких як

утворення грибка та цвілі, що є важливим для підтримання здорового мікроклімату.

Проведені розрахунки показують, що окупність інвестицій у енергозберігаючі заходи становить від 3 до 6 років, що свідчить про високий економічний потенціал запропонованих рішень. Це підтверджує доцільність вкладень у підвищення енергоефективності будівлі, адже економія енергії та зниження витрат на комунальні послуги значно перевищують витрати на реалізацію заходів.

Рекомендації щодо подальших досліджень**. Для досягнення максимальних результатів у зниженні енергоспоживання та покращенні екологічного стану, рекомендується продовжити впровадження відновлюваних джерел енергії, удосконалити системи вентиляції та опалення, а також здійснити додаткові дослідження щодо оптимізації теплоізоляційних матеріалів та вентиляційних технологій для спортивних басейнів.

Загалом, реалізація запропонованих заходів дозволить значно покращити енергоефективність спортивного басейну, знизити витрати на енергоресурси та сприяти досягненню екологічних цілей, що є важливим кроком у напрямку сталого розвитку енергетичної інфраструктури.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Праховник А.В., Трапп Г.Р. Контроль і нормалізація енергоспоживання // Управління енерговикористанням: Збірка доповідей. – Альянс за збереження енергії. – 2001.– С. 387–397.
2. Редченко К. Традиционное и современное понимание управленческого контроля // Менеджмент сегодня. – 2003. – №4(16). – С. 2–10.
3. Мельничук Л. Методологія обліку втрат електричної енергії // Тези доповідей VIII Міжнародної конференції КУСС – Вінниця – 2005.– С. 150.
4. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок. - Міненерговугілля України, видання офіційне: Київ, 2014. 736с.
5. Мельничук Л.М. Методологія обліку втрат електричної енергії // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – №1. С. 31–34.
6. Рогальський Б., Свірідов М., Мельничук Л. Контроль втрат електричної енергії в мережах промислових підприємств // Тези доповідей VII Міжнародної конференції КУСС. – Вінниця – 2003.– С. 163.
7. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель та енергоефективність будівель»;
8. ДСТУ 9191:2022 «Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель»;
9. ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячому водопостачання»;
10. ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво»;
11. ДСТУ Б А.2.2-8:2010 «Розділ «Енергоефективність» у складі проектної документації об'єктів»;
12. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія»;

13. ДСТУ Б В.2.6-17-2000 «Блоки віконні та дверні. Методи визначення опору теплопередачі»;
14. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 «Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій»;
15. ДСТУ-Н Б В.2.6-190:2013 «Настанова з розрахункової оцінки показників теплостійкості та теплозасвоєння огорожувальних конструкцій»;
16. ДСТУ-Н Б В.2.6-191:2013 «Настанова з розрахункової оцінки повітропроникності огорожувальних конструкцій»;
17. ДСТУ EN ISO 9972:2022 «Теплотехнічні характеристики будівель. Визначення повітропроникності будівель. Метод випробувального тиску»;
18. 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;
19. 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.

ДОДАТКИ

Додаток А

ОХОРОНА ПРАЦІ

А.1 Заходи по охороні праці та техніки безпеки

Всі правові питання охорони праці у нашій країні вирішуються на основі Конституції. Законодавство по правовій охороні праці регламентує режим робочого часу і відпочинку робочих та службовців. Нормальна тривалість робочого часу для всіх працюючих не повинна перевищувати 41 год за неділю як при п'ятиденному та і шестиденному робочому тижню. Робочим і працівникам у віці від 16 до 18 років встановлюється 36-годинний робочий тиждень. Така ж тривалість робочого тижня для робітників, зайнятих на роботах з шкідливими умовами праці. При роботі у нічний час з 22 по 6 год тривалість зміни зменшується на 1 год, за виключенням робочих та працівників для яких вже передбачено скорочений робочий час. Застосування надурочних робіт допускається тільки у виключних випадках і з дозволу місцевого профсоюзного комітету. Для кожного працюючого загальна кількість надурочних робіт не повинна перевищувати 120 год на протязі року. На роботах у тяжких та шкідливих умовах і на об'єктах робіт, які відносяться до категорії підвищеної небезпеки забороняється використовувати осіб молодших 18 років.

Серед заходів, направлених на створення раціональних умов трудового процесу важливу роль відіграє режим праці і відпочинку.

Організаційні заходи по небезпечній експлуатації електроустановок включають: оперативне обслуговування діючих електроустановок, що в свою чергу передбачає періодичні і позачергові огляди системи електропостачання і електроприймачів; контроль та облік електроенергії; оперативні перемикання у електричних мережах,

забезпечуючі безперебійне живлення електроенергією. Оперативне обслуговування електроустановок проводиться інженерно-технічним, черговим і оперативно-ремонтним електротехнічним персоналом

Обов'язки закріплені за даною електроустановкою чергового персоналу визначаються місцевими інструкціями, у яких повинні бути викладені також основні конкретні міри по електробезпеці і пожежній небезпеці стосовно до експлуатуючого електрообладнання.

Оперативне обслуговування електроустановок може здійснюватися як однією особою так і декількома. Чисельність персоналу для кожного цеху, ділянки, підстанції визначається головним енергетиком підприємства.

При обслуговуванні електроустановок напругою вище 1000 В старший у зміні (бригадир) або черговий повинні мати кваліфікаційну групу не нижче, IV, а у електроустановках до 1000 В - не нижче групи III.

У електроустановках підприємства застосовуються такі технічні захисні міри:

1. Малі напруги. Якщо номінальна напруга електроустановки не перевищує тривалодопустимої напруги дотику, то даже одночасний дотик людини з стумоведучими частинами різних фаз чи полюсів буде безпечним. Однофазний дотик до струмоведучих частин, а також, дотик до опинившогося під напругою корпусу, навіть не заземленному буде безпечним, так як струм через людину при дотику до фази визначається опором ізоляції та малою напругою. Однак у сирих приміщеннях де опір людини може бути значно знижений, струм протікаючий через людину, при дотику до двох виводів чи фаз буде невідпускаючим. Тому приймаються інші міри захисту.

2. Електричний розділ мереж. Розгалужена мережа великої довжини має значну ємність і малий активний опір ізоляції відносно

землі, а отже струм замикання у такій мережі може бути значним. Тому однофазний дотик у мережі навіть з ізолюованою нейтраллю являється, безумовно, небезпечним. Якщо єдину сильно розгалужену мережу з великою ємністю і малим опором ізоляції розділити на ряд невеликих мереж такої ж напруги, які будуть мати незначну ємність і високим опором ізоляції, небезпека різко знизиться. Так, струм через людину, що доторкнулася до однієї фази буде визначатися високим опором фаз відносно землі, якщо у мережах напругою 380 В $|Z| > 63$ кОм, а опір кола людини $R_{ch} = 1.0$ кОм, струм через людину не перевище 10 мА.

Звичайно електричне розділення мереж виконується шляхом під'єднання окремих електроприймачів через роздільний трансформатор, живлячийся від основної мережі.

Велику небезпеку представляє можливість продовження роботи електроустановки при глухому замиканні на землю, так як людина, що доторкнулася до справної фази, попадає під лінійну напругу. Щоб уникнути небезпеки необхідно постійно проводити контроль ізоляції.

3. Контроль і профілактика ушкоджень ізоляції. Приймально-здаточні випробування проводяться при вводі у експлуатацію нових та вийшовших із ремонту електроустановок.

. Захисне заземлення. Застосовання захисного заземлення у мережі з заземленою нейтраллю напругою до 1000 В неефективно, так як навіть при глухому замиканні на землю струм не залеже від опору заземлення і зменшенням останнього зростає. Тому захисне заземлення застосовується у внутрішньоцеховій мережі 10 кВ з ізолюованою нейтраллю. Захисне заземлення на проектуємому підприємстві виконується у вигляді замкнутого контуру навколо ГЗП.

6. Занулення. Застосовується у чотирипроводних мережах до 1000 В з заземленою нейтраллю. Для зменшення тривалості режиму замикання на корпус прокладається нульовий провід, що з'єднується з

заземленою нейтраллю джерела та повторними заземлювачами. При зануленні корпуси електрообладнання з'єднуються не з заземлювачами а з нульовим проводом. Занулення перетворює замикання на корпус електроприймача у однофазне коротке замикання, у результаті чого спрацьовує МТЗ і селективно відмикає ушкоджену ділянку мережі.

А.2. Розрахунок заземлення

У відповідності з ПУЕ, всі металеві частини електроустановок, які в процесі роботи не мають з'єднання з струмопровідними частинами, але можуть потрапити під напругу, повинні бути заземлені

Трансформаторні підстанції напругою 10/0,4 кВ на стороні 0,4 кВ мають глухозаземлену нейтраль. З'єднання обмоток цехових трансформаторів - Δ/Y з нулем. Струм замикання на землю 27 А. Для цехового обладнання використовується заземлення. Цехові підстанції отримують живлення від 2 кабелів, що прокладені в одній траншеї.

Грунт – чорнозем, другий кліматичний район.

Розрахунок зводиться до визначення вертикальних заземлювачів і довжини з'єднувальної полоси з розміщенням на плані.

Визначаєм норму на опір заземлення R_z^H .

Якщо заземлюючий пристрій використовується одночасно для електроустановок напругою до 1000 В та вище:

$$R_z \leq \frac{125}{I_z} = \frac{125}{27} = 4,63 \text{ Ом};$$

Згідно ПУЕ , так як сумарна потужність токоприймачів більш 100 кВА то R_z повинен бути не більше 4 Ом. Приймаємо $R_z = 4 \text{ Ом}$.

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_p = \rho_{\text{табл}} \cdot \psi = 220 \cdot 1,3 = 286 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

де $\rho_{\text{табл}}$ - табличне значення, для чорнозему $\rho_{\text{табл}} = 220 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ табл. 7.14 [21]; ψ - підвищуючий коефіцієнт, для України, для стержньових заземлювачів $\psi = 1,2 \dots 1,4$.

Опір одинарного вертикального заземлювача:

$$\begin{aligned} R_o &= 0,366 \frac{\rho_{\text{розр}}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) = \\ &= 0,366 \frac{286}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{2,5} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 3 + 5}{4 \cdot 3 - 5} \right) = 15,4 \text{ Ом}; \end{aligned}$$

де l – довжина заземлювача, приймаємо 5 м; d – діаметр заземлювача (приймаємо стержні діаметром 2,5 см).

$$t = h + \frac{l}{2} = 0,5 + \frac{5}{2} = 3 \text{ м};$$

де h – глибина прокладки полос (згідно ПУЕ – 0,5...0,8 м).

Приймаємо електроди прокладені по замкнутому контуру згідно плану і знаходимо орієнтовну кількість заземлювачів:

$$n_o = \frac{R_e}{R_3^H \cdot \eta_o} = \frac{15,4}{4,054} = 6,9 \approx 7 \text{ шт.}$$

Де η_o – коефіцієнт використання ряду заземлювачів, для $a/l = 4/5 = 0,8$, $\eta_o = 0,54$ по рис. 7.5[21].

Де $a = 4 \text{ м}$ – відстань між електродами згідно ПУЕ.

Довжина горизонтальної з'єднувальної полоси:

$$l_n = 1.05a \cdot n = 1.05 \cdot 4 \cdot 7 = 29.4 \text{ м.}$$

Опір полоси з урахуванням екранування:

$$R_n = 0.366 \frac{\rho_{\text{розр}}}{l_n \cdot \eta_n} \lg \frac{2l_n}{b \cdot n} = 0.366 \frac{286}{29.4 \cdot 0.51} \lg \frac{2 \cdot 29.5^2}{0.01 \cdot 7} = 28,38 \text{ Ом;}$$

де η_n – коефіцієнт використання з'єднувальної полоси шириною $b = 10$ мм та товщиною 5 мм.

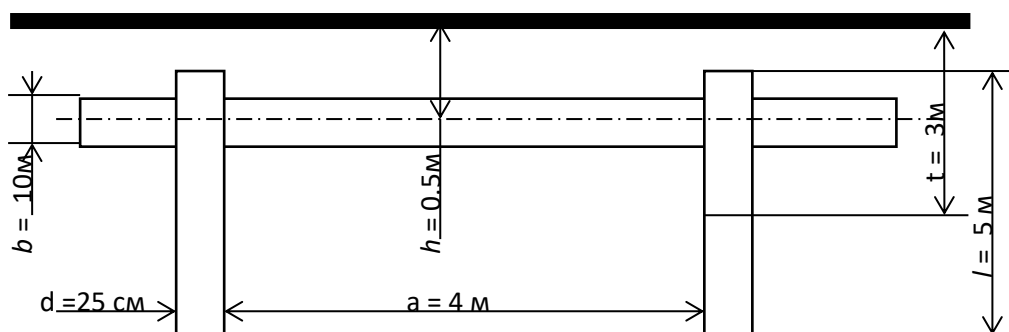


Рис. А.1. Схема прокладки заземлення

Необхідний опір вертикальних заземлювачів з урахуванням опору з'єднувальної полоси:

$$R_{mp} = \frac{R_n \cdot R_3^H}{R_n \cdot R_3^H} = \frac{28,38 \cdot 4}{28,38 - 4} = 7,94 \text{ Ом.}$$

Остаточна кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_o}{R_{mp} \cdot \eta_o} = \frac{15,4}{7,94 \cdot 0,59} = 3,6 \approx 4 \text{ штук.}$$

Проводимо перевірку опору зземлювача і порівнюємо отримане значення з нормуємим:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_{mp}} + \frac{1}{R_n}} = \frac{1}{\frac{1}{7,94} + \frac{1}{28,38}} = 3,98 \text{ Ом.}$$

$$3,98 < 4 \text{ Ом}$$

Розрахункове значення заземлювача R_3 не перевищує його нормативне значення 4 Ом. Спроектований контур заземлення відповідає вимогам ПУЕ.